

# AORT KAPAK VE SOL VENTRİKÜL ÇIKIM YOLUNUN MORFOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİNDE MATEMATİKSEL ÇÖZÜMLEMENİN KULLANIMI

## THE USE OF MATHEMATICAL SOLUTION IN ANALYSIS OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF AORTIC VALVE AND LEFT VENTRICULAR OUTFLOW TRACT

Dr. Nilgün BOZBUĞA, \*Dr. Adnan ÖZTÜRK, Dr. Feza NURÖZLER, Dr. Bengi YAYMACI,  
\*Dr. Kayıhan ŞAHİNOĞLU, \*Dr. Zafer ARI, \*\*Yük. Müh. Lale AKARUN, Dr. Esat AKINCI, Dr. Gökhan İPEK,  
\*\*\*Dr. Ömer IŞIK, Dr. Cevat YAKUT

Koşuyolu Kalp Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kardiyovasküler Cerrahi Kliniği, İSTANBUL

\* İ. Ü. İstanbul Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı, İSTANBUL

\*\* Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL

\*\*\* Maltepe Üniversitesi Kardiyovasküler Cerrahi Bölümü, İSTANBUL

Adres: Dr. Nilgün BOZBUĞA, Koşuyolu Kalp Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyovasküler Cerrahi Kliniği / İSTANBUL

### Özet

Valva semilunaris sinistra ve aort kökü morfolojik olarak sol ventrikül ile bütünlük gösterir ve fizyolojik olarak sol ventrikül çıkım yolunu oluşturur. Bu çalışma, insanda aort kapak ve aort kökünün statik konumda boyutları arasındaki matematiksel ilişki ile geometrisinin araştırması amacı ile tasarlanmıştır.

Aort kapak ve aort kökünün geometrisi ve boyutlarının morfolojik özellikleri, formolle fikse edilmiş, kalp hastalığı dışında nedenler ile ölen 18 erişkin erkek kadavra kalbinde araştırılmıştır. Çalışmaya alınan kadavra kalplerinin manyetik rezonans (MR) görüntüleme yöntemi ile alınan tomografik kesitlerinden yapılan aort kapak ölçümleri, yaprakçıkların serbest kenarlarından ve annulusa bileşme bölgelerinden yapılmıştır. Aort kökünün morfometrik incelemesi, dört ayrı düzlemin: ventriküloarteriyel bileşke (annulus), sinus Valsalva, sinotübüler bileşke ve sinotübüler bileşkenin 1 cm üzerinden MR yöntemi ile alınan ardışık kesitlerden elde edilen ölçümlerinin, implisit polinomlar kullanılarak modellenmesi ile yapılmıştır.

Dört farklı düzlemden saptanan değerler arasındaki matematiksel ilişki ve kıyaslama, bilgisayar ortamında 3-boyutlu Öklid uzantıları kullanılarak düzey seti oluşturulması ve morfometrik analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Annulus ve sinus seviyesinin çapları bir birim olarak kabul edildiğinde, diğer çap ölçümleri, bu çapların yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Dört düzlemin çaplar arasında dağılımının istatistiksel analizi ANOVA testi (tek yönlü dağılım analizi) kullanılarak yapılmıştır.

Sağ koroner, sol koroner ve posterior yaprakçıkların boyutları kıyaslandığında, sol yaprakçık serbest kenar uzunluğu istatistiksel olarak anlamlı ölçüde kısa bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Matematik modellemeye elde ettiğimiz veriler, aort kökünün en dar bölümünün sinotübüler bileşke, en geniş bölümünün sinus Valsalva olduğu gösterilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ortalama aort duvarı kalınlığı, MR kesitlerinde değişkenlik göstermiş, komissürler düzeyinde sinus düzeyinden daha kalın bulunmuştur.

Elde edilen matematiksel verilerin irdelenmesi doğrultusunda, 3-boyutlu geometrik çözümlemenin desteğinde aort kökünün anatomi ve geometrisine uyumlu model oluşturmanın, cerrahi anatomiye yansıtacağı ve aort kökü replasmanı ameliyatları ile aort kapak korunması girişimlerine başarıyla uyarlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Aort kapak, sol ventrikül çıkım yolu, morfometrik inceleme, matematik modelleme

### Summary

Valva semilunaris sinistra and the aortic root complete to left ventricle morphologically and form to left ventricular outflow tract physiologically. This study was designed to investigate the relationship of diameters and geometric features of human aortic valve and root in static state.

The morphological effects of geometry and dimensions of the aortic valve and root were examined using of 18 adult hearts from fixed male cadavers who had expired due to noncardiac causes. The aortic valve measurements were performed on the free edge of the leaflets and the annular edge from tomographic cross-sectional views obtained from magnetic resonance imaging (MRI). Morphological assessment of the aortic root was done with cross-sectioned sequentially for measurements at four levels: at the ventriculoarterial junction (annulus), at the sinuses of Valsalva (sinus), at the sinotubular junction, and at 1 cm above the sinotubular junction.

Mathematical relationship and comparisons were made by level setting using Euclidean radiation and a computerized morphometric analysis programming among the values from four different aortic root levels. The diameters of the annulus and the sinus level were represented by a value of one, and all other values were represented by a fraction (percentage) of these values. Statistical analysis among the variation of the diameters at the four levels of aortic root was achieved using ANOVA test (one-way analysis of variance).

The free edge of left coronary cusp was the shortest among three leaflets ( $p < 0.05$ ). Our data obtained from mathematical modelling showed that the aortic root was the narrowest at the sinotubular junctional level, and the widest at the sinus level ( $p < 0.05$ ). The mean thickness of the aortic root wall was variable within each MRI cross-section. The aortic wall was thicker at the commissural level than at the sinus level.

The analysis of our mathematical data implied that the production of the design to aortic root anatomy and geometry by 3-dimensional geometrical solution could resemble the surgical anatomy and could be adapted to the aortic root replacement and the procedures of the aortic valve preservation.

Keywords: Aortic valve, left ventricular outflow tract, morphometric analysis, mathematical modelling

## Giriş

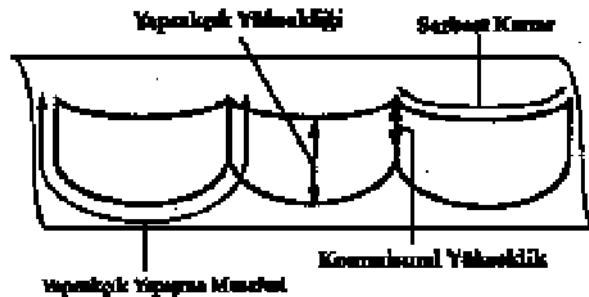
Aort kapağa yönelik cerrahi girişimlerde, gerek aort kapak koruma ve tamir ameliyatlarında, gerekse stentsiz otogreft (Ross prosedürü), allogreft ve stentsiz ksenogreft implantasyonlarında cerrahi annulusun anatomik annulusa uygunluğu büyük önem taşır. Assandan aort anevrizmalarında ve Stanford A tipi disseksiyonlarda, annuler dilatasyondan kaynaklanan, Sinüs Valsalva anatomisinin ve aort kapak kapanma mekanizmasının bozulmadığı aort yetmezliklerinde uygulanan, aort kapak "remodelling" veya "reimplantasyon" ameliyatlarının başarısı, aort kökü geometrisinin korunmasına bağlıdır [1].

Aort kapak tek bir plan üzerinde yer almaz ve kompleks bir yapı oluşturur [2]. Aort kapak ve sol ventrikül çıkım yolunun anatomik özelliklerin matematik modelleme yöntemi kullanılarak incelenmesi ve geometrik yapısını çözülmesi, klinik araştırmalara yardımcı bir yöntem olarak geliştirilmektedir.

Bu çalışmada amaç, aort kökü geometrik anatomisini belirleyen oransal kriterlerin, temel matematiksel polinomlardan yola çıkarak çözülmesi ve cerrahi anatomiye uyarlanabilecek matematiksel modellemenin yapılabilmesidir.

## Gereç ve Yöntem

Koşuyolu Kalp Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyovasküler Cerrahi Kliniği, Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Fakültesi ve İstanbul Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı tarafından yürütülen çalışmamızda, insan aort kapak ve kökünün statik konumda boyutları ve standart formunun incelenmesinde, matematiksel çözümlemenin yeri araştırılmıştır. Aort kapak ve aort kökünün şekli ve çaplarının morfolojik etkileşimi, formolle fikse edilmiş, kalp hastalığı dışında nedenler ile ölen 18 erişkin erkek kadavra kalbinde araştırılmıştır. Çalışma, fikse edilmiş kadavra kalbi üzerinde manyetik rezonans (MR) görüntüleme yöntemi ile alınan kesitlerden elde edilen ölçümlerin, implisit polinomlar kullanılarak modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın metodolojisi aort kapağın morfolojik özelliklerin matematiksel çözümlemesi ile aort kökü bileşenlerinin, morfometrik ve matematiksel ilişkisinin belirlenmesi olarak planlanmıştır. Çalışmaya alınan kadavra kalplerinin manyetik rezonans (MR) görüntüleme yöntemi ile alınan tomografik kesitlerinden yapılan aort kapak ölçümleri, yaprakçıkların serbest kenarlarından ve annulusa bileşme bölgelerinden yapılmıştır



Şeki 1: Aort kapak yaprakçık ölçümleri

(Şekil 1).

Aort kapak yaprakçık ölçümleri:

- Serbest kenar uzunluğu (SK)
- Yaprakçık yüksekliği (YY)

- Yaprakçık yapışma mesafesi (YYM)

Aort kapak yaprakçıklarının serbest kenar uzunlukları, yaprakçık yapışma yükseklikleri ve yaprakçık yapışma mesafeleri ölçülerek, ortalama değerleri ve standart sapmaları hesaplanmış ve dijital planimetrik yöntemle yaprakçık yüzey

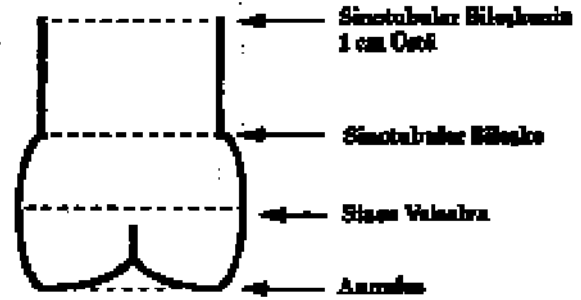
	Sağ	Sol	Posterior	Ortalama
SK (cm)	3.2 ± 0.4	3.0 ± 0.4	3.2 ± 0.3	3.2 ± 0.4
YY (cm)	1.2 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2
YYM (cm)	4.5 ± 0.3	4.7 ± 0.3	4.8 ± 0.3	4.6 ± 0.3
Alan (cm <sup>2</sup> )	2.9 ± 0.2	3.2 ± 0.3	3.2 ± 0.2	3.0 ± 0.2

Tablo 1: Aort kapak yaprakçıklarının serbest kenar uzunlukları, yaprakçık yapışma yükseklikleri, yapışma mesafeleri ve yaprakçık yüzey ölçümleri

SK= serbest kenar; YY= yaprakçık yüksekliği; YYM= yaprakçık yapışma mesafesi

ölçümleri yapılmıştır (Tablo 1).

Aort kökünün morfolojik incelemesi, dört ayrı düzlemin, ventriküloarteriyel bileşke (annulus), sinus Valsalva, sinotübüler bileşke ve sinotübüler bileşkenin 1 cm üzerinden MR görüntüleme yöntemi ile alınan ardışık kesitlerden elde edilen ölçümlerle yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: Aort kapak ölçümlerinin yapıldığı düzlemler

Aort kökü bileşenlerinin ölçümleri:

- Annulus (A)
- Sinüs Valsalva (SV)
- Sinotübüler Bileşke (STB)
- Sinotübüler bileşkenin 1 cm üstü (STB-1)

Dört farklı düzlemden saptanan değerler arasındaki matematiksel ilişki ve kıyaslama, bilgisayar ortamında 3 boyutlu Öklid uzantıları kullanılarak düzey seti oluşturulması ve morfometrik analiz programı ile gerçekleştirilmiştir.

Matematik modelleme yöntemi olarak, kapalı cisimleri tek parça olarak modelleyebilme üstünlüklerinden ötürü implisit polinom dizesi kullanılmıştır. Örtük çok terimlilerle görüntüleme modülleri yazılarak geometrik model tasarımı yazılmıştır. (Ek 1'de 3 boyutta n'inci dereceden implisit polinom ifadesi yer almaktadır)

Ventriküloarteriyel ve sinotübüler bileşkenin boyutları ölçülerek, aorta çapı ile oransal kriterleri araştırılmıştır. Sol ventrikül çıkım yolu morfolojisi, 4 ayrı düzlemden yapılan ölçümlerin ortalamaları ile değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Annulus düzeyinin çapı bir birim olarak kabul edilerek, diğer bölümlerin çapları oranlanmıştır (Tablo 3a). Aort kökünün en geniş bölümü olan sinüs düzeyinin çapı bir birim olarak kabul edildiğinde, diğer çap ölçümleri, sinüs çapının yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Tablo 3b).

$$f_n(x, y, z) = \sum_{i+j+k=n} a_{ijk} x^i y^j z^k$$

$$= \frac{a_{000}}{H_0} + \frac{a_{100}x + a_{010}y + a_{001}z}{H_1} + \frac{a_{200}x^2 + a_{110}xy + a_{020}xz + a_{101}y^2 + a_{011}yz + a_{002}z^2}{H_2} + \dots + \frac{a_{n00}x^n + \dots + a_{00n}z^n}{H_n}$$

$$= \sum_{i=0}^n H_i(x, y, z) = 0$$

Ek 1: 3 boyutta n'inci dereceden implisit polinom ifadesi

	Çap (cm)	Orifis (cm <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)
Annulus	2.25 ± 0.1	4.1 ± 0.5	0.9 ± 0.2
Sinus	2.35 ± 0.2	4.4 ± 0.6	1.4 ± 0.2
STB	1.85 ± 0.1	3.0 ± 0.8	1.9 ± 0.3
STB1	2.05 ± 0.1	3.3 ± 0.8	2.0 ± 0.3

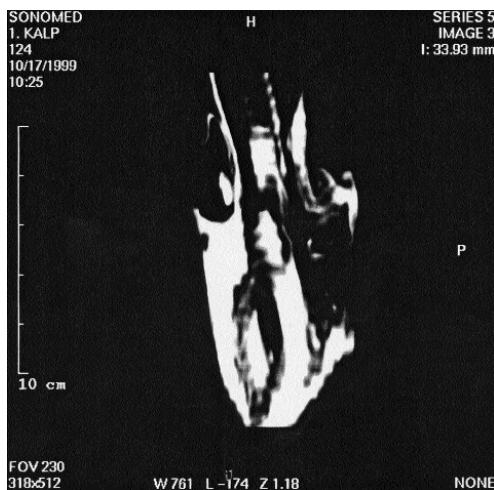
Tablo 2: Sol ventrikül çıkım yolunun 4 ayrı düzlemde yapılan

	Çap	Orifis	Kalınlık
Annulus	%100	%100	%100
Sinus	%104	%107	%156
STB	%82	%73	%211
STB1	%91	%80	%222

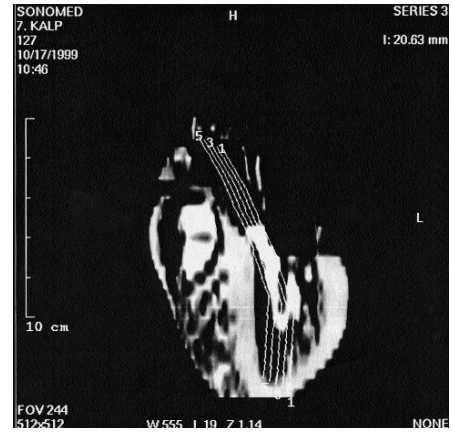
Tablo 3a: Annulus düzeyinin çapı bir birim olarak alındığında, çap oranları

	Çap	Orifis	Kalınlık
Annulus	%96	%93	%64
Sinus	%100	%100	%100
STB	%79	%68	%136
STB1	%87	%75	%143

Tablo 3b: Aort kökünün en geniş bölümü olan sinus düzeyinin çapı bir birim olarak alındığında, çap oranları



Şekil 3: MR görüntüleme yöntemi ile alınan ardışık aort kökü kesit örneği (1. kalp)



Şekil 4: MR görüntüleme yöntemi ile alınan ardışık aort kökü kesit örneği (7. kalp)

## Sonuçlar

Saptanan değerler arasındaki matematiksel ilişki ve kıyaslama, bilgisayar ortamında morfometrik analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Yaprakçıkların boyut ve yüzeyleri ile aort kökünün 4 farklı düzlemdeki çapları arasında dağılımının istatistiksel analizi, ANOVA testi (tek yönlü dağılım analizi) kullanılarak yapılmıştır.

Sağ koroner, sol koroner ve posterior yaprakçıkların boyutları kıyaslandığında, sol yaprakçık serbest kenar uzunluğu istatistiksel olarak anlamlı ölçüde kısa bulunmuştur (p < 0.05). Buna karşın sağ koroner yaprakçığının kapak alanı diğerlerinden istatistiksel anlamlılığı olmayan ölçüde küçük bulunmuştur.

Dört farklı düzlemde alınan kesitlerden yapılan ölçümlerde, aort kökünün konik geometrik yapısına bağlı, düzlemsel olarak aort çaplarında farklılık gözlenmektedir. Elde ettiğimiz verilerden, aort kökünün en dar bölümünün sinotübüler bileşke, en geniş bölümünün sinus düzeyi olduğu gösterilmiştir (p < 0.05). Ortalama aort duvarı kalınlığı, MR kesitlerinde değişiklik göstermiş, komissürler düzeyinde sinus düzeyinden daha kalın bulunmuştur (p < 0.05).

## Tartışma

Aort kapak ile sol ventrikül çıkım yolunun yapısal özellikleri ve kapanma mekanizması, ilk kez Leonardo Da Vinci tarafından 1506-1519 yılları arasında yaptığı disseksiyon çalışmaları sonucunda tanımlanmıştır [3-4]. 1832 yılında, İrlandalı hekim Corrigan [5] aort yetmezliği patolojisini irdelerken, aort kapak patolojisi olmaksızın, aort çapı genişlemesinin yaprakçıkların merkezde buluşamamasına, koaptasyon kusuruna yol açtığına dikkat çekmiştir.

Aort kapak anatomisi, üç yaprakçıktan oluşan yapısı ile posterior, sağ ve sol yaprakçıklar olarak (British Terminology Anatomical System) veya anterior, sağ posterior ve sol posterior yaprakçıklar olarak (International Nomenclatura Anatomica) adlandırılmıştır. Aort kapak nominasyonu, aort cerrahisinin başlaması ile birlikte, cerrahi girişimlerde oryantasyona daha uygun olduğu için, koroner arter ostiumları referans alınarak nonkoroner, sağ koroner ve sol koroner küspis olarak adlandırılmıştır [6]. Sinotübüler bileşkenin tanımı ise, aort kökü ameliyatlarından edinilen bilgi ve öneminin daha iyi anlaşılması ile bağlantılı olarak çok sonraları yapılmıştır [7-9]. Aort kapak anatomisi ve fizyolojisine ilişkin

bilgi birikimi arttıkça, aort kapağın basit anlamda üç yaprakçıkdan oluşmadığı, sinüsler, yaprakçıklar, yaprakçıklar arası üçgenler, sinotübüler bileşke ve sağ-sol koroner arter ostiumları ile bir kompleks olarak işlev gördüğü anlaşılmıştır [10-13]. Aortik annulus her iki fibröz trigon aracılığı ile kalbin iskeletinin bir parçasını oluşturur.

Sanıldığı gibi aksine aort kapak bileşenleri simetrik ve eşit üç parçadan oluşmamaktadır. Aort cerrahisinin başlangıç yıllarında, nonkoroner küspisin daha küçük olacağı fikri hakim iken [14], son yıllarda yapılan çalışma sonuçlarının metodolojisi ve aort kökü ölçüm yöntemlerinin hassasiyeti, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesinin sağlamıştır. Ölçüm yapıldığı sırada aort kökünün maruz kaldığı basınç ve fiksasyon yöntemlerinin farklılığı komissürler arası mesafenin değişimine yol açmaktadır. Silver ve Roberts'in [15] nekropsi çalışmasında, yaprakçıkların birbirinden farklı olması %30, nonkoroner küspisin daha büyük olması şansı %20 oranında bildirilmiştir. Duran ve arkadaşlarının [6] 10 allogreft (cryopreserved homograft) üzerinde, bilgisayarlı tomografi kullanarak yaptıkları çalışmada serbest kenar, yükseklik, yüzey ve sinüs hacim ölçümlerinde sırasıyla nonkoroner küspisin sağdan, sağ koroner küspisin de soldan büyük olduğunu saptamışlardır.

Bizim çalışmamızda da MR görüntüleme yöntemi ile sol yaprakçık serbest kenarı diğerlerinden istatistiksel olarak anlamlı ölçüde küçük, fakat yaprakçık alanı ise sağ yaprakçıktan büyük bulunmuştur. Literatür bulgularının değerlendirilmesinde en çarpıcı nokta, bioprotez olarak hazırlanan aort kapaklarında (xenograft) nonkoroner küspisin en küçük küspis olmasıdır [16].

Aort kapak yapısı, sistol-diyastol periyodlarında sol ventrikül çıkım yolunun uyumunu sağlar niteliktedir. Yaprakçıkların ve Valsalva sinüslerinin geometrik düzenleniş biçimi, sistol ve diyastol fazlarında basınç değişimlerinin en uygun biçimde dağılımını sağlayarak, aort kapağa yansıyan mekanik stresi en aza indirmektedir [1,17]. Aort kökünün oldukça gerilebilir ve yaylanabilir bir yapıda olduğu gösterilmiştir. Diyastol fazında aort kapak yaprakçıkları üzerindeki stresin, Valsalva sinüslerinin maruz kaldığı stresin dört katı olduğu ölçülmüştür [18]. Eğer yaprakçıklara olan stress sinüslere de yansımazsa yaprakçıklar arası üçgenlerde yer alan aort duvarı bölümleri diastol sırasında aşağı doğru çekilebilir [19]. Aort kapağının fonksiyonu aort kökünün ekspansiyonu ile ilişkilidir ve genişleme yeteneği olmayan stentler kapak performansını etkiler [20,21]. Aort kök replasmanlarında ideal yaklaşım, Valsalva sinüslerinin dinamik yapısına uygunluk olmalıdır [2]. Aort kapak ile aort kökünün devamlılığını gerektiren cerrahi girişimlerde (aortik kök replasmanı), kanama ve koroner ostiumlarında torsiyon riskinin daha yüksek olması nedeniyle, aort kapak ve kökü geometrisi çok daha büyük önem taşır [22]. Başarılı aortik kök replasmanlarında en önemli nokta; özellikle annuler ve koroner ostial anastomozlarda olmak üzere anastomaz hatlarında gerilmenin ve kanama riskinin ortadan kaldırılmasıdır [23].

Kliniğimizde Aralık 1996'dan bu yana, aort kökü ve assandan aortayı kapsayan patolojilerde Bentall-DeBono prosedürü modifiye edilerek, aort köküne daha uygun bir geometrik konfigürasyon sağlanması ve daha anatomofizyolojik bir yaklaşım olması nedeniyle özgün bir yöntem olarak etekli kompozit greft replasmanı yapılmaktadır [24]. Bu yöntemin klasik kök replasmanlarına üstünlüğü, aort kapağın geometrik özelliklerine daha uygun olmasının yanı sıra daha elastik olması nedeniyle gerilme, torsiyon ve kanama komplikasyonlarını anlamlı ölçüde azaltmasıdır.

Son yirmi yıllık geçmişi gözönüne alındığında, çok hızlı bir gelişim çizgisi sergileyen kalp damar cerrahisinde, özellikle de açık kalp cerrahisi uygulamalarında matematiksel modelleme yönergeleri kullanılmaya başlanmıştır [25,26]. Kuramsal açıdan akım dinamiklerinin denetlenmesine dayanan açık kalp cerrahisinde, normal fizyolojik yapı, normalden sapma ve hastalık oluşturma dereceleri ile var olan bozukluğun cerrahi olarak düzeltilmesi aşamalarında matematiksel kalıplara dönüştürülmesi ve bilgisayar destekli modellerden yararlanılması giderek yaygınlık kazanmaktadır [27,28].

Elde edilen matematiksel verilerin irdelenmesi doğrultusunda, 3-boyutlu geometrik çözümlemenin desteğinde aort kökünün anatomi ve geometrisine uyumlu model oluşturmanın, cerrahi anatomiye yansıtacağı ve aort kökü replasmanı ameliyatları ile aort kapak korunması girişimlerine başarıyla uyarlanabileceği sonucuna varılmıştır.

## Açıklama

Kadavra kalpleri üzerinde manyetik rezonans (MR) görüntüleme işlemi 1.5T SIEMENS (Symphony) MR cihazı, SPGR (Flash T1) sekans ile 5 mm kalınlığında kesitler alınarak yapılmış, görüntüler SILICON GRAPHICS (Virtioza) bilgisayar donanımı ile IRIX 6.0 yazılımı kullanılarak işlenmiştir.

Kadavra kalplerinin MR görüntüleme işlemi değerli katkılarından ötürü Sonomed Tabbi Görüntüleme Merkezi ve Laboratuvarı'na teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

1. Redaelli A, Di Martino E, Gamba A, et al. Assessment of the influence of the compliant aortic root on aortic valve mechanics by means of a geometrical model. *Med Eng Phys* 1997;19:696-710.
2. Yacoub MH, Kilner PJ, Birks EJ, et al. The aortic outflow and root: A tale of dynamism and crosstalk. *Ann Thorac Surg* 1999;68:37-43.
3. Da Vinci L. "Folio B" I manuscritti di Leonardo da Vinci della Reale Biblioteca di Windsor Dell'Anatomia fogli B. pubblicati da Teodoro Sabachnikoff, trascritto ed annotate da Giovanni Piumati, Milan, 1901.
4. Belt E. Leonardo the anatomist. Greenwood Press, New York, 1969.
5. Corrigan DJ. Permanent patency of the mouth of the aorta. *Edinburgh Med Sur* 1832;37:111.
6. Choo SJ, McRae G, Olomon JP, et al. Aortic root geometry: Pattern of differences between leaflets and sinuses of Valsalva. *J Heart Valve Dis* 1999;8:407-15.
7. Reid K. The anatomy of the sinus of Valsalva. *Thorax* 1970;25:79-85.
8. Bhatnagar G, Christakis GT, Murphy PM, et al. Technique for reconstruction of the sinotubular junction. *Ann Thorac Surg* 1997;63:1197-1200.
9. Furukawa K, Ohteki H, Cao ZL, et al. Does dilatation of the sinotubular junction cause aortic regurgitation. *Ann Thorac Surg* 1999;68:949-52.
10. David TE, Feindel CM. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992;103:617-22.
11. Sarsam MAI, Yacoub M. Remodelling of the aortic valve annulus. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993;105:435-8.
12. Itoh T, Ohtsubo S, Furukawa K, et al. Aortic root

- endoscopy in valve sparing operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997;114:141-2.
13. Ergin MA, Spielvogel D, Apaydın A, et al. Surgical treatment of the dilated ascending aorta: When and how? *Ann Thorac Surg* 1999;67:1834-9.
  14. Swanson WM, Clark RE. Dimensions and geometric relationships of the human aortic valve as a function of pressure. *Circ Res* 1974;35:871-88.
  15. Silver MA, Roberts WC. Detailed anatomy of the normally functioning aortic valve in hearts of normal and increased weight. *Am J Cardiol* 1985;55:454-61.
  16. Hansen B, Menkis AH, Vesely I. Longitudinal and radial distensibility of the porcine aortic root. *Ann Thorac Surg* 1995;60:384-90.
  17. Grande KJ, Cochran RP, Reinhall PG, et al. Stress variations in the human aortic root and valve: the role of anatomic asymmetry. *Ann Biomed Eng* 1998;26:534-45.
  18. Thubrikar MJ, Nolan SP, Aouad J, et al. Stress sharing between the sinuses and the leaflets of canine aortic valves. *Ann Thorac Surg* 1986;42:434-40.
  19. Sutton JP, Ho SY, Anderson RH. The forgotten interleaflet triangles. *Ann Thorac Surg* 1995;59:419-27.
  20. Choudhary SK, Mathur A, Chander H, et al. Aortic valve replacement with biological substitute. *J Card Surg* 1998;13:1-8.
  21. Duran CMG, Gometza B, Kumar R, et al. Aortic valve replacement with free-hand autologous pericardium. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995;110:511-6.
  22. Yun KL, Miller DC. Ascending aortic aneurysm and aortic valve disease: what is the most optimal surgical technique? *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1997;9:233.
  23. Lytle BW, Manfood SS, Cosgrove DM, et al. Replacement of ascending aorta-early and late results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;99:651-
  24. Yakut C. The flanged technique: A new modified procedure for the reconstructed continuity of the aortic valve and the ascending aorta. *Koşuyolu Heart Journal* 1999;3:73-6.
  25. Bozbuğa N, Şahinoğlu K, Öztürk A, ve ark. Sol ventrikül fonksiyonel anatomisi ile geometrisinin ilişkilendirilmesi. *Morfoloji Dergisi* 1999;6:40-3.
  26. De Leval MR, Dubini G, Migliavacca F, et al. Use of computational fluid dynamics in the design of surgical procedures: Application to the study of competitive flows in cavopulmonary connections. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996;111:502-13.
  27. Taubin G, Cuikerman S, Sullivan J, et al. Parametrized families of polynomials for bounded algebraic curve and surface fitting. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1994;16:287-303.
  28. Lei Z, Cooper DB. Linear programming fitting of implicit polynomials. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 1996;20:212-7.