



Kalp Atışı & Kan Akışı
Banu Pluie



Kalp Atışı Kan Akışı

Banu Pluie

Kalp Akışı & Kalp Atışı

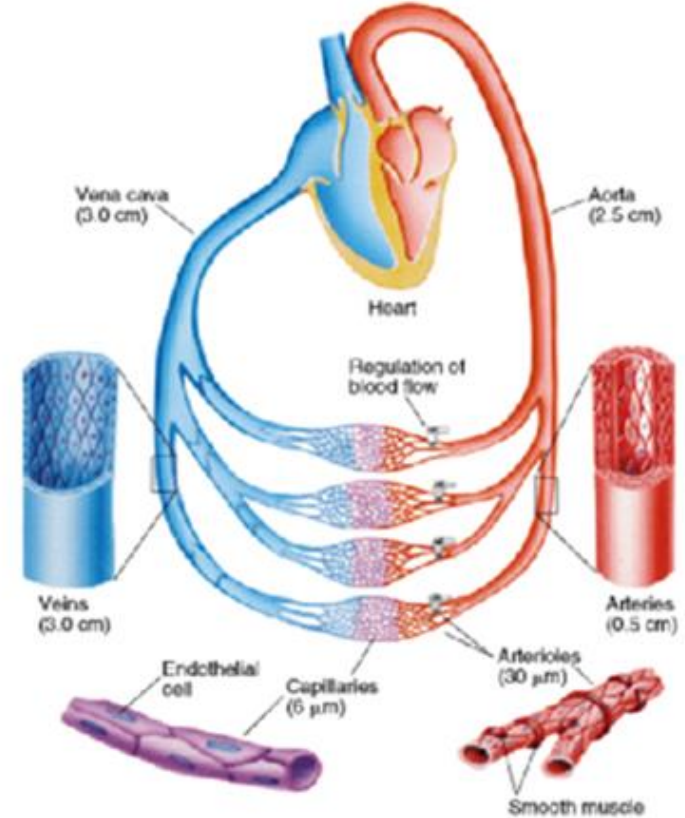
- ▶ **Kardiyovasküler Sistem**
 - ▶ - Tarihçesi
 - ▶ - Anatomisi, Fizyolojisi, Hastalıklar
- ▶ **Modelleme**
 - ▶ - Amacı
 - ▶ - İzlenen Yöntem
- ▶ **Biyoakışkan Mekaniği**
 - ▶ - Fizik Arka Planı
 - ▶ - Uygulama
 - ▶ - Sonuçlar ve Medikal Faydası



Dolaşım Sistemi (Kardiyovasküler Sistem)

- ▶ Kalp, atardamarlar(arterler),
- ▶ toplar damarlar (venler) ve
- ▶ kılcal damarlardan(kapilerlerden)
- ▶ oluşan ,kanın kapalı bir döngü içinde
- ▶ dolaştığı sistemdir.

- ▶ Görevleri özetle besin, oksijen, atık
- ▶ ve hormonları taşıma, vücut ısısının
- ▶ kontrolü, mikroorganizmalara karşı
- ▶ koruma olarak tanımlanabilir.

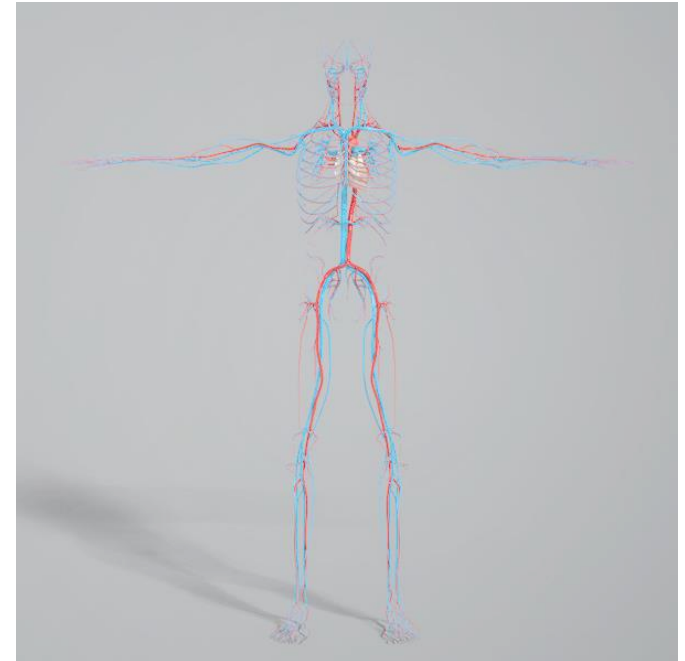


Dolaşım Sistemi

- ▶ Kanın kapalı bir döngüde dolaştığına dair bildiğimiz en eski metin M.Ö 2650'ye ait (Nei Ching-- Canon of Medicine).
- ▶ Ibn an-Nafis onüçüncü yüzyılda sağ ventrikülden çıkan damarın akciğere gittiğini havayı karıştırıp sol ventriküle döndüğünü söyledi.
- ▶ Aristotle, MS 4. yüzyılda kalp ve kan damarlarını konu alan bir kitap yazdı.
- ▶ Praxagoros atar damar ve toplar damarların farkını ilk açıklayan oldu.Havadan alınan gazların da bu dolaşım sistmiyle taşındığı iddiasını ilk o söyledi.
- ▶ Galen atar damarların duvarının toplar damarlardan farklı olduğunu ilk keşfeden bilim adamıdır.
- ▶ Servetus onaltıncı yüzyılda Galen'in teorisini geliştirerek kanın dolaşımını tarifledi.

Leonardo da Vinci onbeşinci yüzyılda detaylı bir vücut damarları tasviri çizdi.

Galilei onaltıncı yüzyılda "Dialogue of the Two Sciences" kitabında kan döngüsüne dair tesbitlerde bulundu.



Dolaşım Sistemi

Francis Bacon 1620'de Novum Organum'da solunum ve dolaşım sisteminin birbiriyle ilgisini etraflı bir Şekilde açıkladı.

1628 William Harvey "An anatomical study of the motion of the heart and of the blood of animals." eserini yayınladı. Kan dolaşımına dair günümüzdeki bilgiye en yakın açıklama o dönem için bu oldu.

Otto Frank "Fundamental form of the arterial pulse" ile "wave propogation" kavramını kattı. Devre anolojisiyle dolaşım sistmeini modellenmesi onun sayesinde oldu (Windkessel Theory).

1837'de Magnus kan vasıtasıyla gaz transferinin sağlandını ispatladı.

1841'de Alman anatomist Henle küçük atar damarlardaki düz kasları açıkladı.

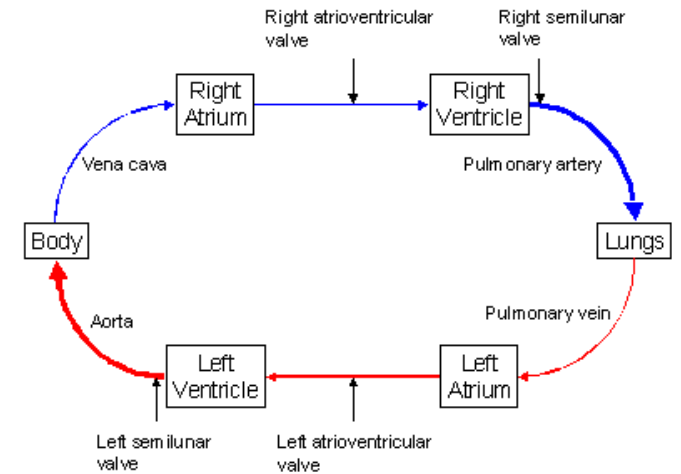
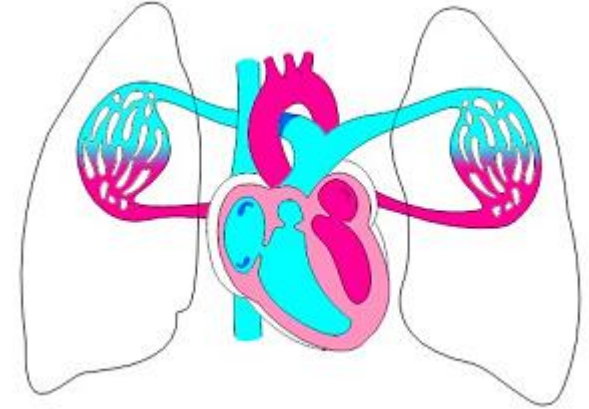
Hall kılcalların fizyolojisini aıkladı .

1896 Ernest Starling, "Frank–Starling law of the heart" ve Starling Hipotezi ile kılcal damarlardaki emilimi aıkladı.



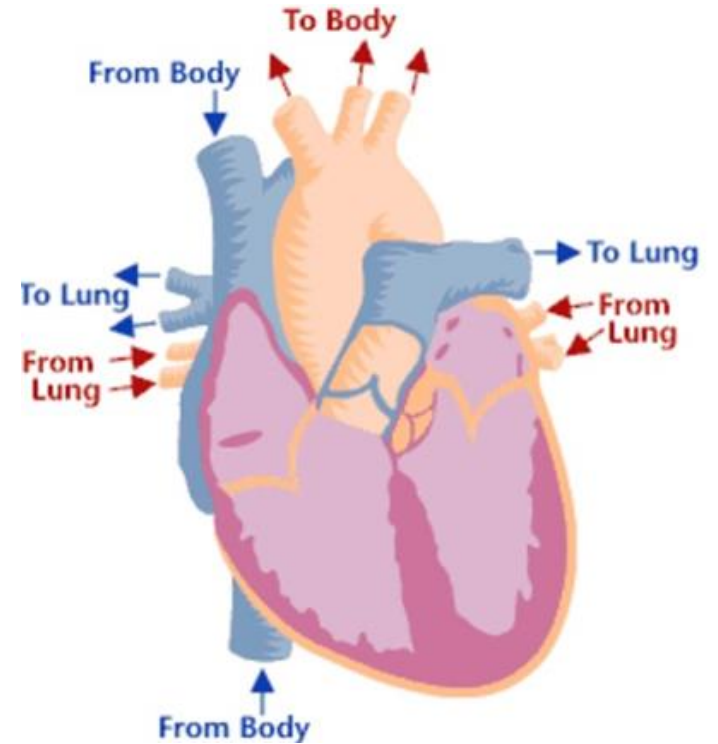
Pulmoner Dolaşım (Akciğer Dolaşımı)

- ▶ Bu dolaşımında kalpten oksijensiz kan akciğerlere taşınır, oksijenlenir ve geri kalbe döner.
- ▶ • Akciğer dolaşımı 4-8 saniye sürer.
- ▶ • Kan kalpten(sağ ventrikülden) akciğerlere iki pulmoner arter ile gelir.
- ▶ • Akciğerlerden kalbe(sol atriyuma) dört pulmoner ven ile döner.
- ▶ • Her pulmoner ven sol atriyuma ayrı bir delikten girer.

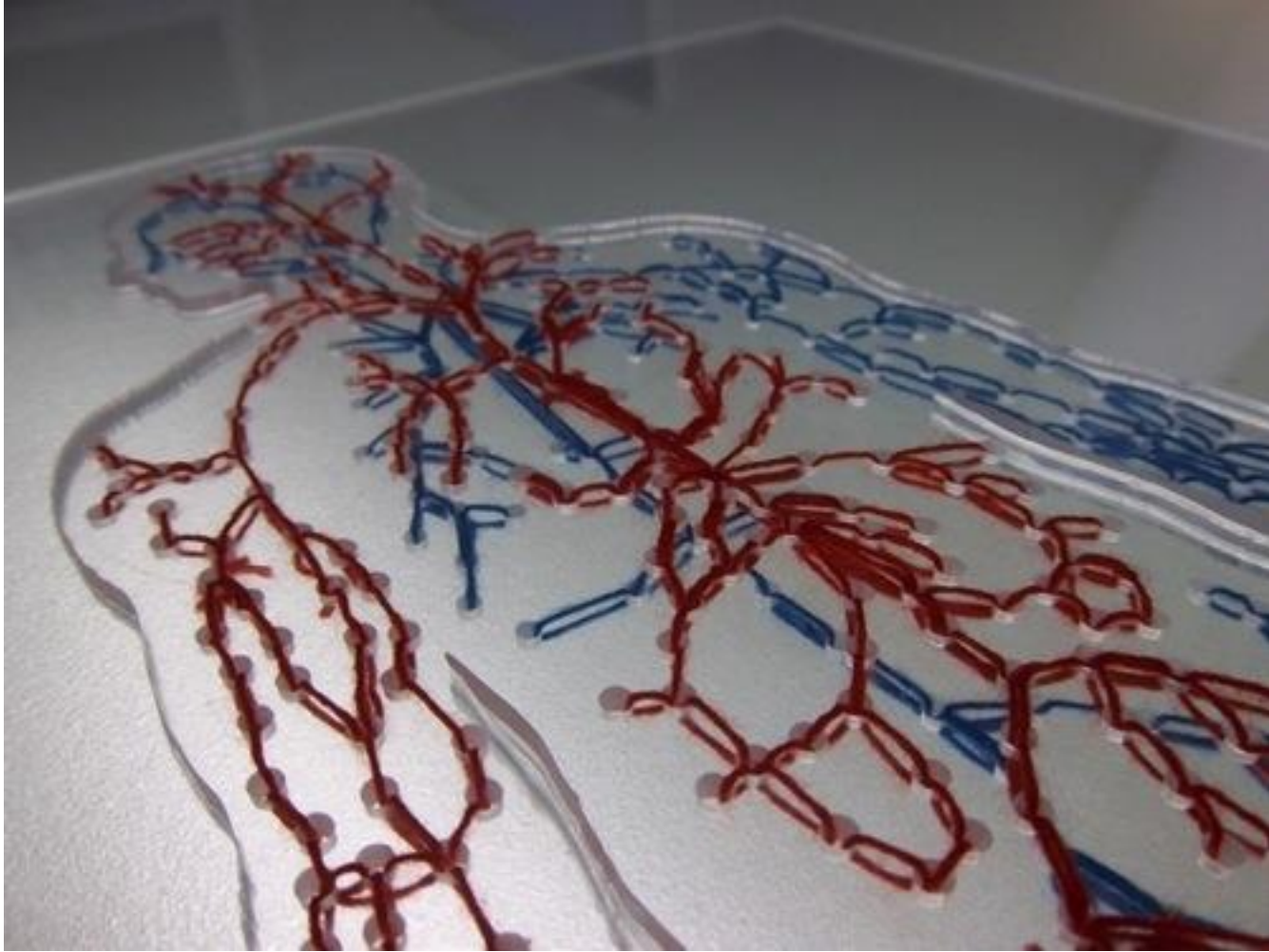


Sistemik Dolaşım (Büyük Dolaşım)

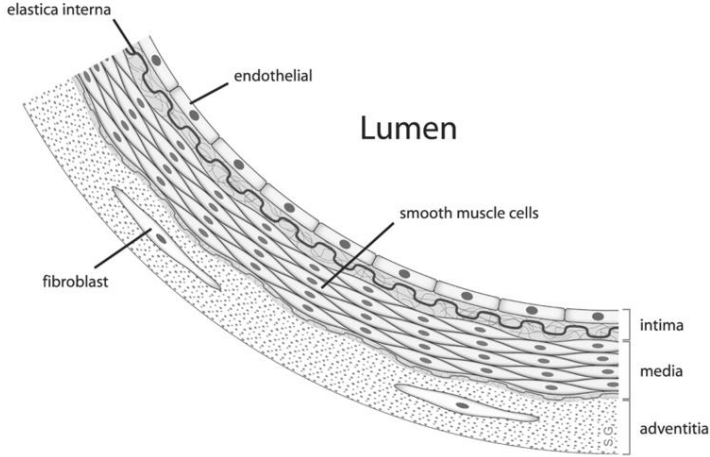
- ▶ Tüm hücelere, dokulara ve organlara
- ▶ oksijenli kanı taşır, organizmadan oksijensiz
- ▶ kanı kalbe taşır.
- ▶ • Tüm bu olay 25-30 saniye sürer.
- ▶ • Sistemik dolaşım iki bölüme ayrılır:arteriyel ve venöz bölüm.
- ▶ • Arteriyel bölümün ana damarı aortadır.
- ▶ • Sol ventrikülden assending aorta olarak çıkar,
- ▶ kalbin tepesinin üzerinde kıvrım yaparak aortik arkı oluşturur, toraks ve abdomene doğru descending aorta olarak devam eder.



Damarlar



Atar Damar (Arter)



Kan damarlarının ortalarında bulunan boşluk lümen adını alır.

- Büyük elastik bir arterde lümeni çevreleyen damar duvarı üç tabakadan oluşur.

1- Intima 2- Media 3- Adventitia

Farklı arterler duvarlarında değişen miktarlarda elastik lifler ve düz kas lifleri taşıdıkları için bir kısmı elastik bir kısımda kassal olarak isimlendirilirler.

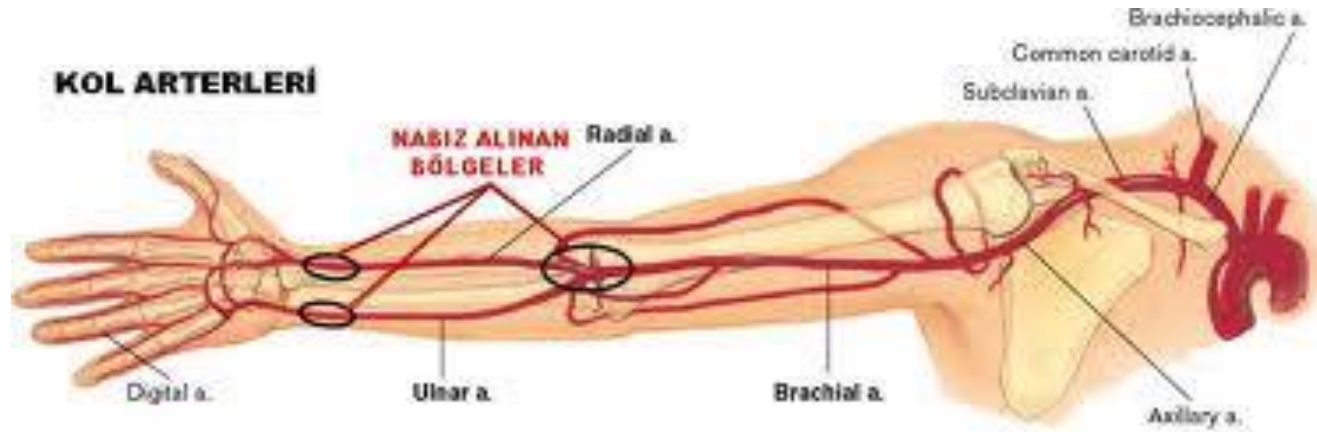
- Elastik arter duvarları her kalp atımında hafifçe genişlerler ve nabızı oluştururlar.
- Bir arter cilde yakın seyrediyorsa biz cilt üzerinde nabız hissederiz.

Average values for vessel diameter and blood flow velocity		
Structure	Diameter (cm)	Blood velocity (cm • s ⁻¹)
Ascending aorta	2.0–3.3	62
Descending aorta	1.7–2.0	28
Main arteries	0.2–0.6	20-50
Capillaries	0.0005–0.001	0.05-0.1
Main veins	0.5–1.1	15-20
Vena cava	2.0	10-16



Nabız

- ▶ Nabzın En Çok Hissedilebildiği Damarlar
- ▶ Temporal arter , Carotis communis, Brachialis, Radialis, Femoralis
- ▶ Poplitea, Dorsalis pedis, Tibialis posterior



Copyright © 2003, Elsevier Science (USA). All rights reserved.



Kapillerler (Kılcal Damarlar)

- ▶ **Kapillerler arteriyel ve venöz sistemi birbirine bağlar.**
- ▶ **Kapillerler en küçük ve en fazla sayıdaki kan damarlarıdır.**
- ▶ **Kapillerler ancak mikroskopla görülebilecek büyüklüktedir ve duvarları 1 hücre kalınlığındadır.**
- ▶ **Kapillerler cildin üzeri ve gözün lensi dışındaki tüm vücutta yaygın halde bulunurlar.**

Erişkindeki tüm kapillerler birbirine eklenecek olursa 96000 km oluştururlar.

Bu büyüklük gaz, sıvı, besin maddesi ve artık maddelerin kan ve hücreler arasında gidip gelmesi için çok geniş bir yüzey alan sağlar.

Kapillerlerin çapı orta boylu bir arterden 500 kez daha küçüktür.



Kalp



- ▶ Kalp 12 cm uzunluğunda ve 9 cm genişliğinde, piramit şeklinde ve içi boş kassal bir organdır.
- ▶ • Ağırlığı yaklaşık olarak
- ▶ erkeklerde 250-390 g,
- ▶ kadınlarda 200-275 g kadardır.
- ▶ • Kalp toraksın merkezinde yerleşmiştir.
- ▶ • Asıl gövdesinin 2/3 ü vücudun orta hattının sol tarafında olacak şekilde yan yatmış pozisyonda bulunur.



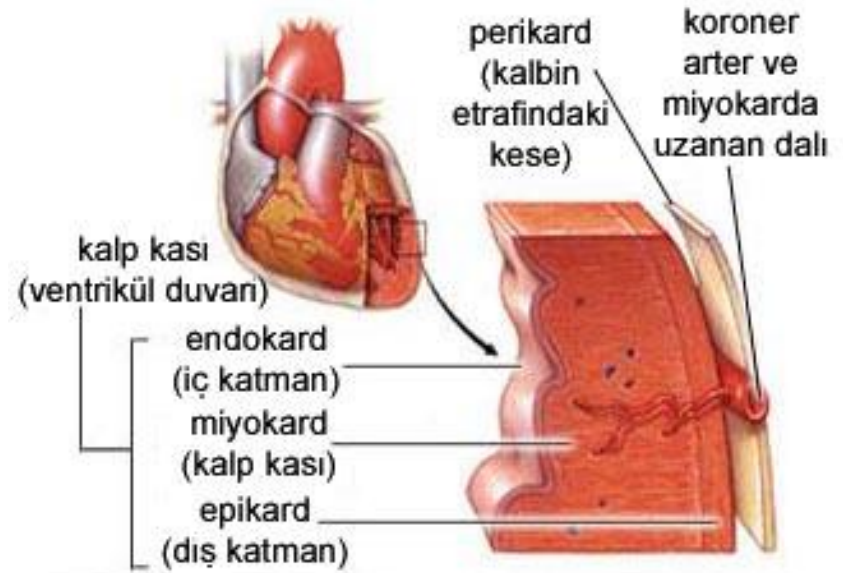
Kalp Kapakları

- ▶ **Atriyovenriküler** kapaklar atriyumlar ile ventriküller arındadırlar ve kanın atriyumlara geri kaçışını önlerler.
 - Sağda olan atriyovenriküler kapađa triküspid kapak, soldakine ise mitral kapak denir.
- ▶ **Semilunar** kapaklar ise pulmoner arter ve aortadaki kanın ventriküllere geri dönmesini önler.
 - Sol taraftaki aortik semilunar kapaktır, daha kalın ve daha güçlüdür.
 - Sağ semilunar kapak ise pulmoner arter ve sağ ventrikül arındadır ve pulmoner semilunar kapak adını alır.



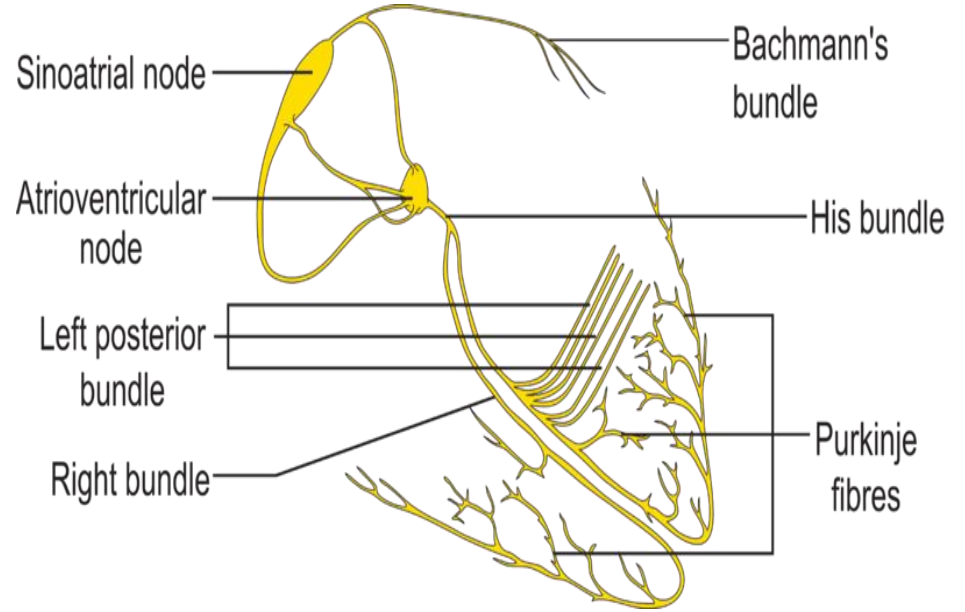
Kalp Duvarı

- ▶ **Epikardiyum-Epikard:** En dışta bulunur.
- ▶ **Myokardium-Myokard:** Kalp duvarının kas tabakasıdır. Çizgili kas görünümündedir fakat istemsiz çalışır. Kalp kası hücrelerinde bol miktarda bulunan mitokondri, kasın devamlı çalışmasını sağlar. Kalp kas lifi dallanmış ve birbirine içine geçmiş şekildedir.
- ▶ **Endokardiyum-Endokard:** Kalp duvarının ve kapaklarının iç yüzeyini örten ince tabakadır.



Kalp Duvarı

- ▶ Kasın çalışması sinir sistemiyle kontrol edilir. Bu sinirler kalp kası içerisine yerleşmiş **'Purkinje Telleri'**dir.
- ▶ Sinirlerdeki bozulma, kasta (miyokardiyumda) felce yol açar. Sinoatriyal düğüm (SA düğümü veya sinüs düğümü), kalbin sağ kulakçığında yer alan vuru üretici (pacemaker) doku sinüs ritminin ortaya çıkışını sağlar. Sinoatriyal düğüm sağ kulakçık duvarında üst anatoplardamar girişine yakın bölgede yerleşik bir hücre grubudur.



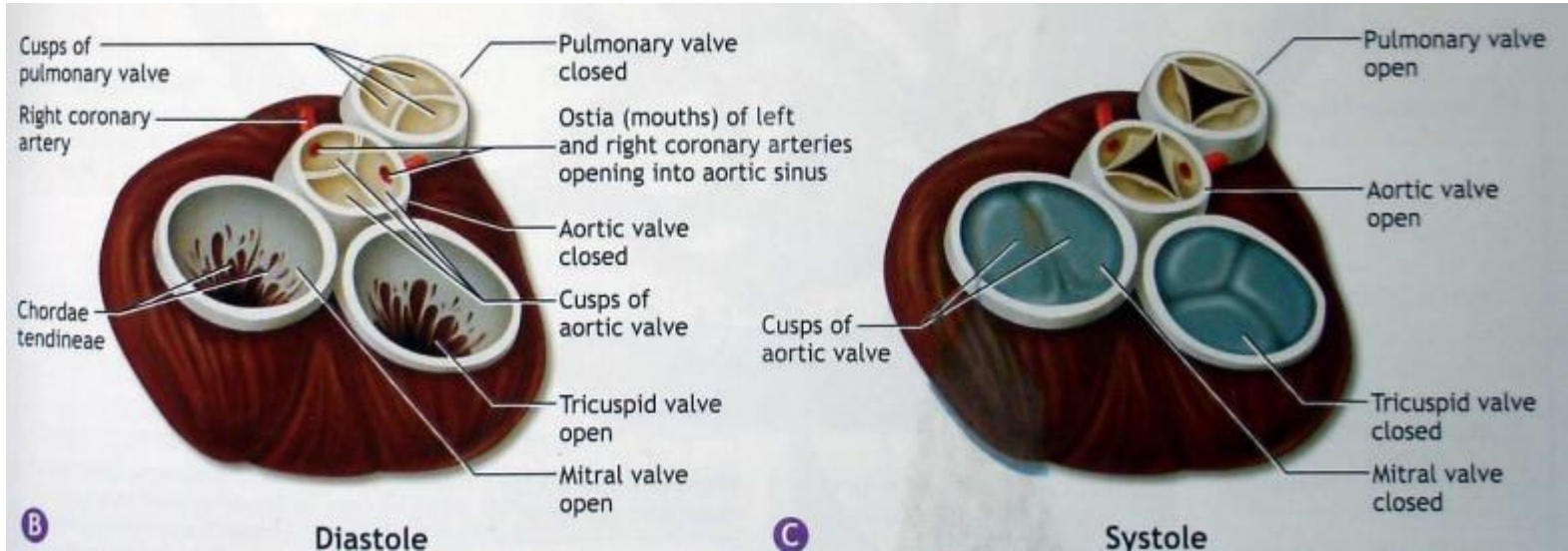
Sinoatriyal düğüm ilk olarak 1907 yılında Arthur Keith ve Martin Flack tarafından ortaya konmuştur



Sistol ve Diyastol

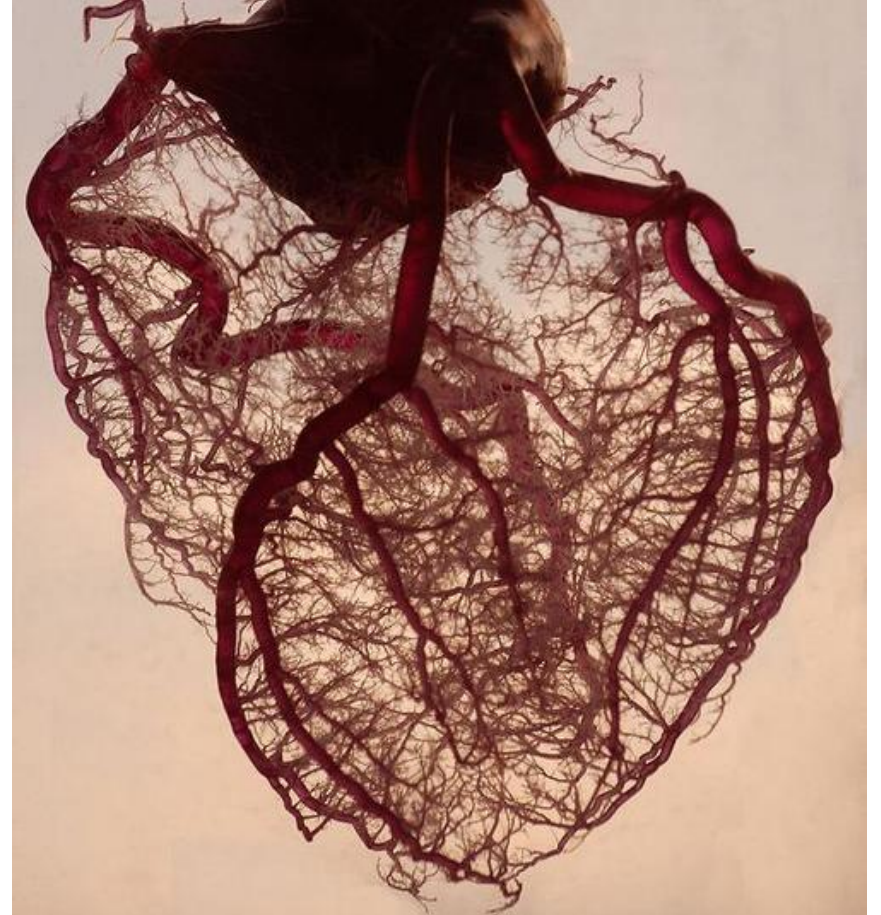
1
2

Tansiyon ölçümünde 'Sistolik' değer, kalp kasıldığında kalpten damarlara doğru atılan kanın damar duvarında yaptığı basınçtır. 'Diyastolik' değer ise kalp gevşediğinde hala damar duvarında mevcut olan basınçtır. Erişkinin dinlenme durumunda kol atardamarlarındaki ortalama basınç, 120/80 mm civadır (Hg). Fiziksel etkinlik ve duygusal stres, kan basıncını geçici olarak yükseltebilir.

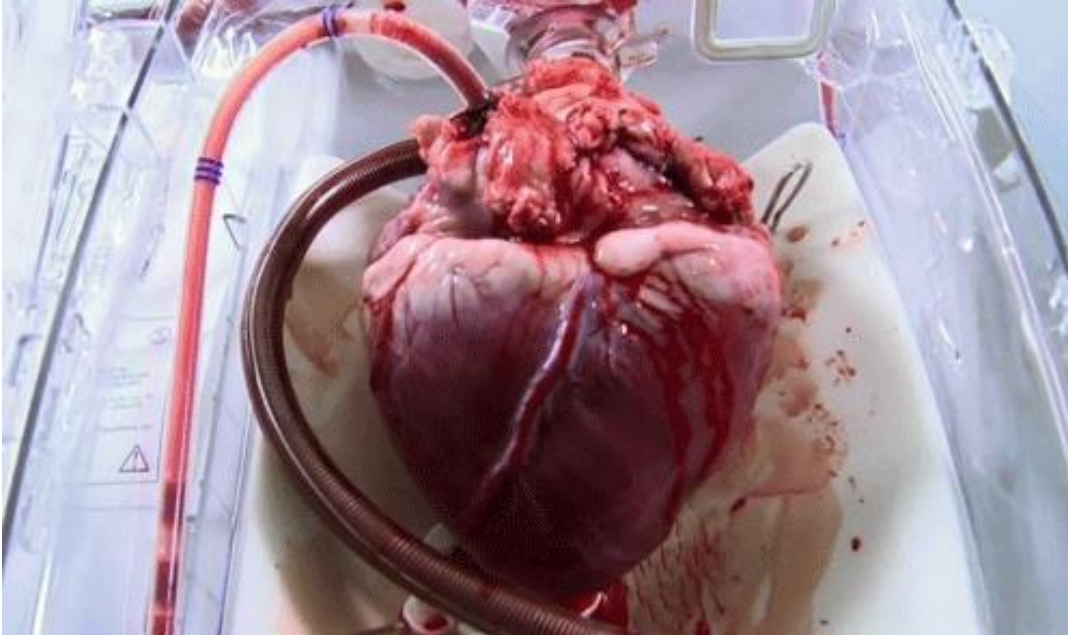
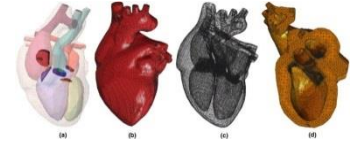


Koroner Damarlar

- ▶ Kalbin kan ihtiyacı esas olarak kalp gevşediğinde sağlanır.
- ▶ • Çünkü kalp kası kasıldığı zaman koroner damarlar sıkışır ve kan akımı engellenir.
- ▶ • Sağ koroner arter genelde kalbin sağ tarafını besleyen dallara sahip olmakla birlikte sol ventriküle de uzanan dalları vardır.
- ▶ • Sol koroner arter ise başlıca kalbin sol bölümünü besler fakat az miktarda da olsa sağ ventriküle de kan gönderir.



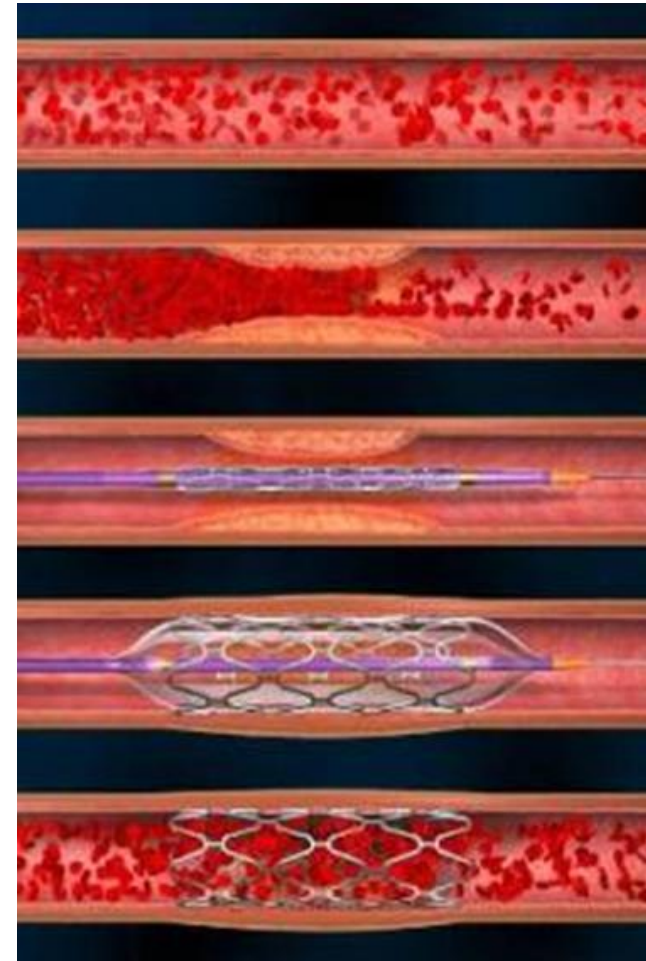
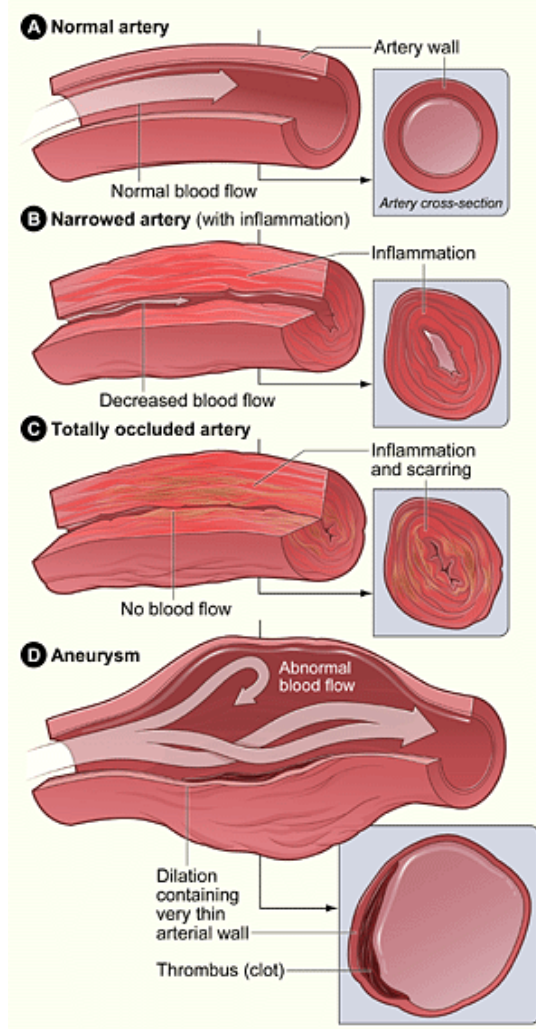
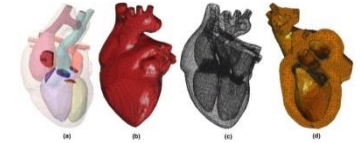
Kalp Hastalıkları



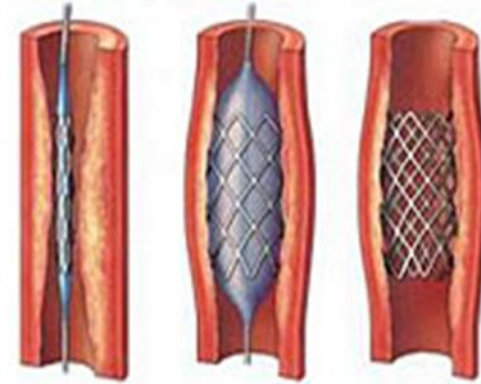
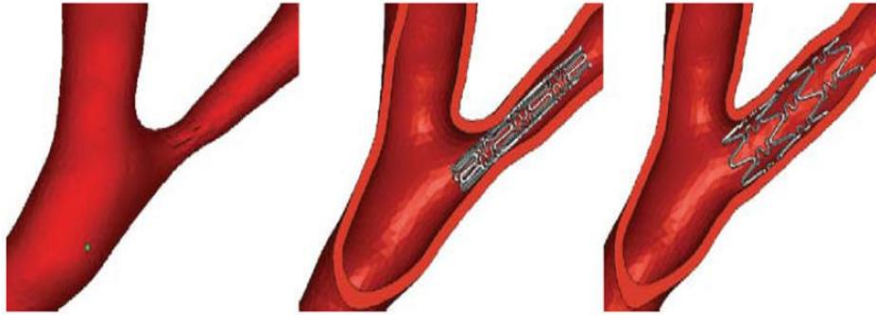
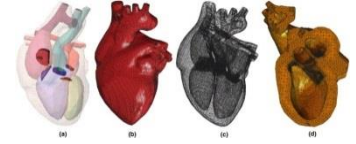
- ▶ Doğuştan Gelen Hastalıklar
- ▶ Arterioskleroz
- ▶ Aritmi
- ▶ Taşikardi
- ▶ Anevrizma
- ▶ Kalp Kapağı Hastalıkları
- ▶ Koroner Damar Hastalıkları



Arteoskleroz



Arteoskleroz

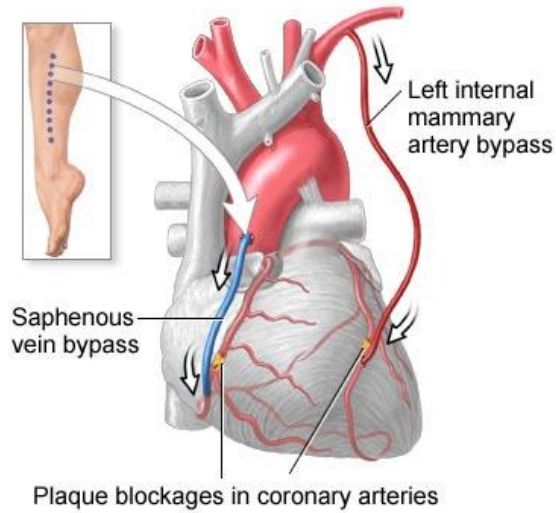
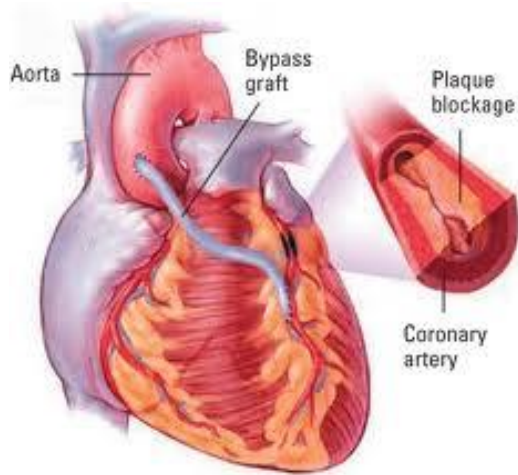
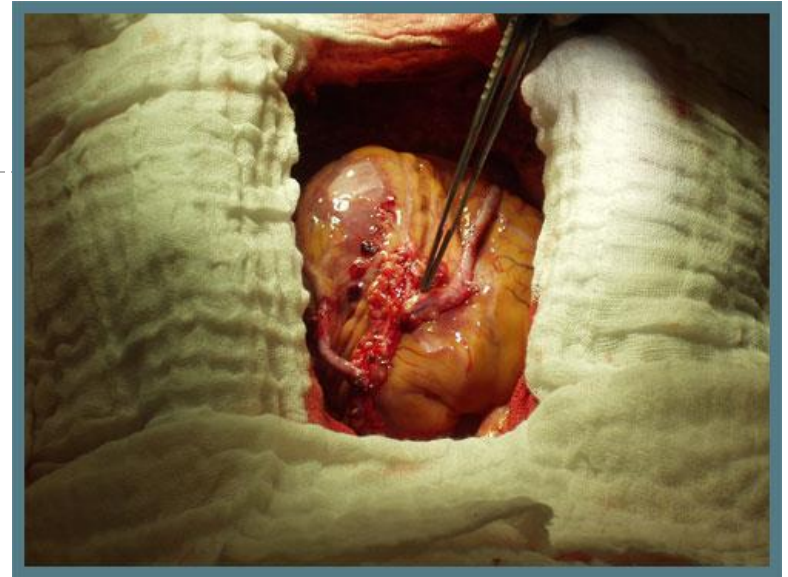
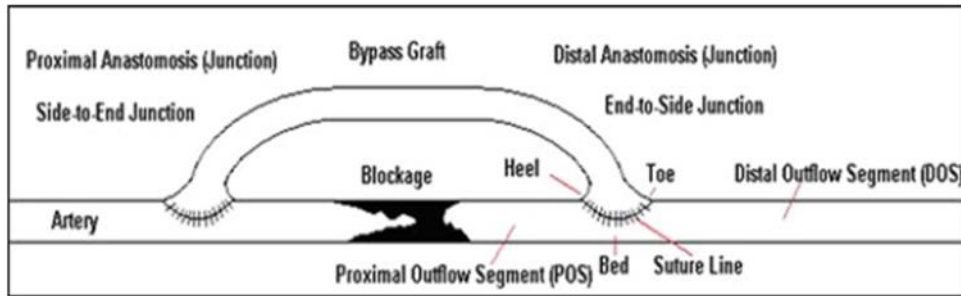


Ateroskleroz, atardamarları (arterleri) etkileyen bir hastalık. Yaygın olarak "damar sertleşmesi" olarak adlandırılan arteriosklerozun bir türüdür. Orta boy ve büyük arterlerde görülen "aterom" veya "plak" olarak adlandırılan yapısal bozukluklardan (lezyonlardan) oluşur. Aterom, hangi safhada olduğuna bağlı olarak çeşitli yapılar barındırabilir:

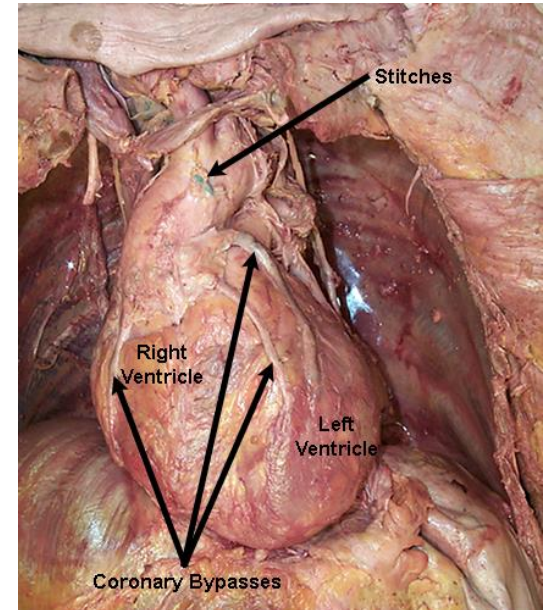
Aterom, damarın yüzey tabakası kalınlaşmış büyük bir alanının ortasında bulunan, yumru gibi, yumuşak sarımsı bir birikimdir. Arter lümenine yakın noktalarda makrofajlardan oluşur. Bunun altında bazen kolesterol kristalleri ve ilerlemiş lezyonların tabanında kireçlenme (kalsifikasyon), hatta bazen kemikleşme de olabilir. Ateroskleroz, ateromların, içi yumuşak, dışı sert yapısından dolayı Yunanca athero- (lapa) ve -sclerosis (sertleşme) sözcüklerinden türetilmiştir.



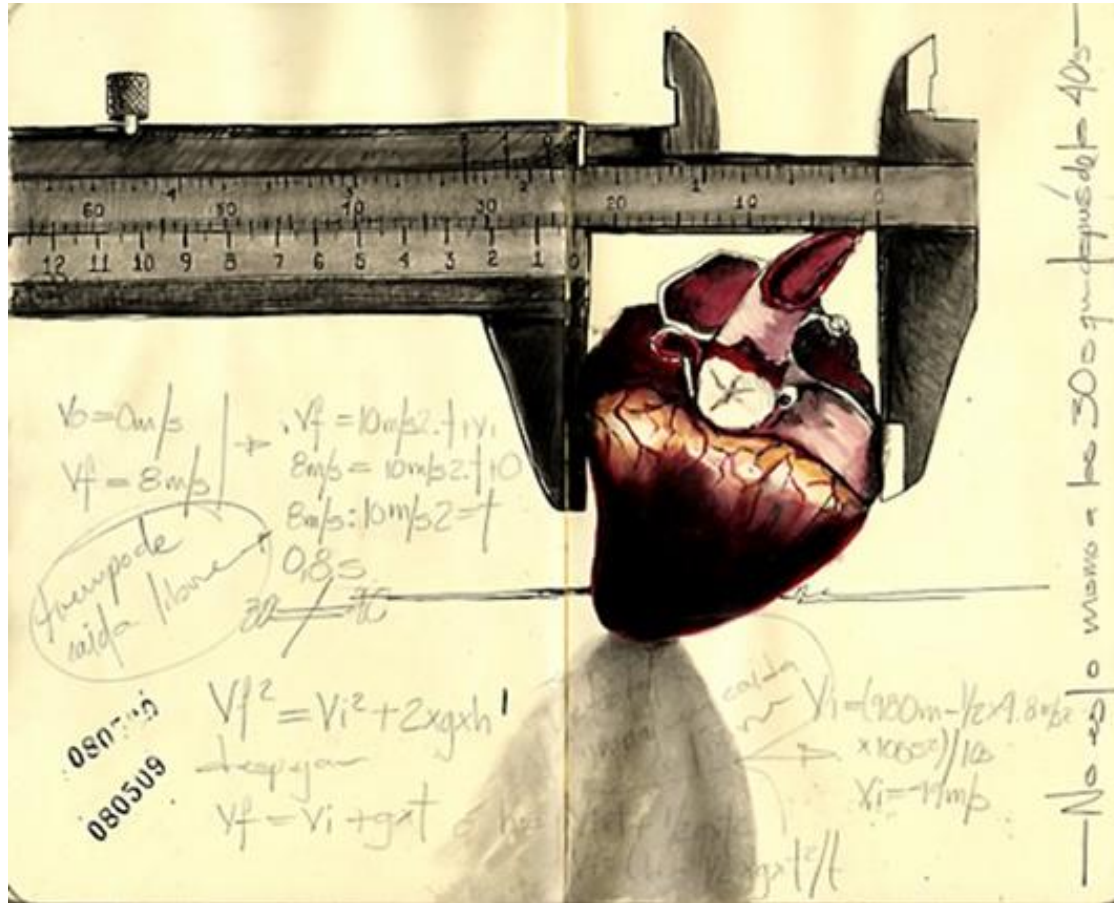
Bypass



© A.D.A.M., Inc.



Kardiyovasküler Mekanik



Viskozite

Herhangi bir akış esnasında akışkanın tabakaları farklı hızlarda hareket ederler ve akışkanın akmazlığı, uygulanan kuvvete karşı direnç gösteren tabakalar arasındaki yüzey gerilimlerinden dolayı ortaya çıkar.

Isaac Newton'un öne sürdüğü üzere, laminer ve paralel bir akışta, tabakalar arasındaki yüzey gerilimi (τ) bu tabakalara dik yöndeki hız gradyanı ($\partial u/\partial y$) ile orantılıdır.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

Dinamik akmazlığın SI birimi (Yunan sembol:) pascal-saniye (Pa·s) olup $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ye eşdeğerdir.

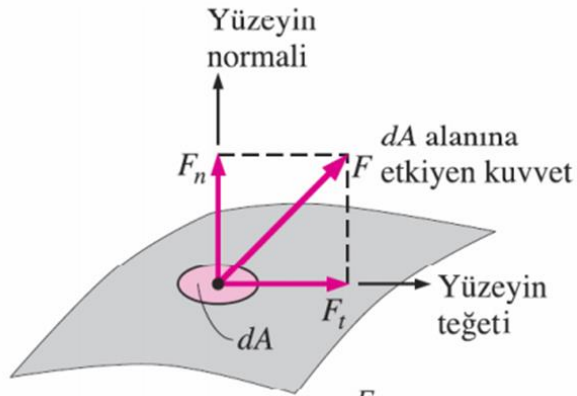
Dinamik akmazlığın cgs birimi, Jean Louis Marie Poiseuille adına ithafen poise (P) dır

Viskozite basınçtan bağımsızdır (çok yüksek basınçlar hariç).

Viskozite, sıcaklık arttıkça azalır (örneğin, sıcaklık 0°C den 100°C çıktığında, suyun viskozitesi 1.79 cP den 0.28 cP ye düşer).



Kayma Gerilimi



Normal gerilme: $\sigma = \frac{F_n}{dA}$

Kayma gerilmesi: $\tau = \frac{F_t}{dA}$

Bir yuzeye etkiyen net bileşke kuvvetin yuzeye paralel bileşeninin yuzeyde oluşturduğu gerilmedir.

Viskoz olmayan akış:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \mu \nabla^2 \mathbf{U}$$

<p>Katı</p> $\tau = \frac{F}{A} \propto \alpha$	<p>Temas alanı A</p> <p>Kayma gerilmesi $\tau = F/A$</p> <p>Kuvvet, F</p> <p>Şekil değiştirmiş takoz</p> <p>Kayma şekil değiştirmesi, α</p>	<p>V</p> <p>$u = V \frac{y}{h}$</p> <p>h</p> <p>y</p> <p>x</p>	<p>Akışkan</p> $\tau = \frac{F}{A} \propto \mu \frac{V}{h}$
--	--	---	--



Navier-Stokes Denklemleri

Silindirik Koordinatlar

$$\begin{aligned}
 r: \quad \rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \phi} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\phi^2}{r} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{u_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} \right] + \rho g_r \\
 \phi: \quad \rho \left(\frac{\partial u_\phi}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\phi}{\partial r} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} + u_z \frac{\partial u_\phi}{\partial z} + \frac{u_r u_\phi}{r} \right) &= -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \phi} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_\phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\phi}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u_\phi}{\partial z^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \phi} - \frac{u_\phi}{r^2} \right] + \rho g_\phi \\
 z: \quad \rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \phi} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z.
 \end{aligned}$$

■ Kütle korunumu:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

■ Momentum korunumu:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \mu \nabla^2 \mathbf{U}$$

$$\underbrace{\rho \left(\underbrace{\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}}_{\text{Unsteady acceleration}} + \underbrace{\mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}}_{\text{Convective acceleration}} \right)}_{\text{Inertia (per volume)}} = \underbrace{-\nabla p}_{\text{Pressure gradient}} + \underbrace{\mu \nabla^2 \boldsymbol{\tau}}_{\text{Viscosity}} + \underbrace{\mathbf{f}}_{\text{Other body forces}}.$$

Divergence of stress



Navier-Stokes Denklemleri

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \boldsymbol{\tau} + \mathbf{f}.$$

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \mathbf{T} + \mathbf{f},$$

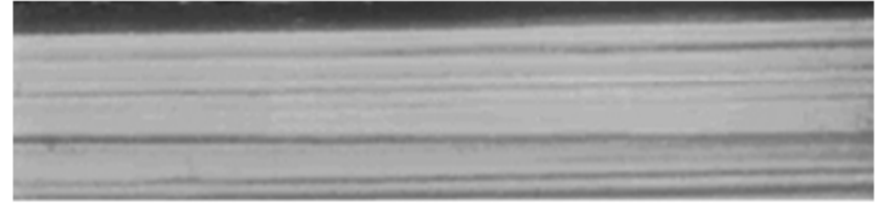
$$\overbrace{\rho \left(\underbrace{\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}}_{\text{Unsteady acceleration}} + \underbrace{\mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}}_{\text{Convective acceleration}} \right)}^{\text{Inertia (per volume)}} = \underbrace{-\nabla p}_{\text{Pressure gradient}} + \underbrace{\mu \nabla^2 \boldsymbol{\tau}}_{\text{Viscosity}} + \underbrace{\mathbf{f}}_{\text{Other body forces}}.$$

Divergence of stress

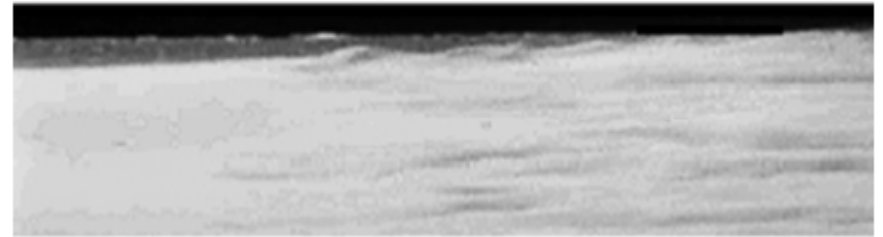


Akış Formları

- Laminer: Düzgün akım çizgilerine sahip oldukça düzenli akışkan hareketi.
- Türbülanslı: Hız çalkantıları ve girdapların görüldüğü oldukça düzensiz akışkan hareketi.
- Geçiş akışı: Laminer ve türbülanslı akış arasındaki geçiş akışı.
- Reynolds sayısı, $Re = \frac{\rho UL}{\mu}$ is bir akışın laminer mi yoksa türbülanslı mı olduğuna karar vermede kullanılan parametredir.



Laminer



Geçiş



Türbülanslı



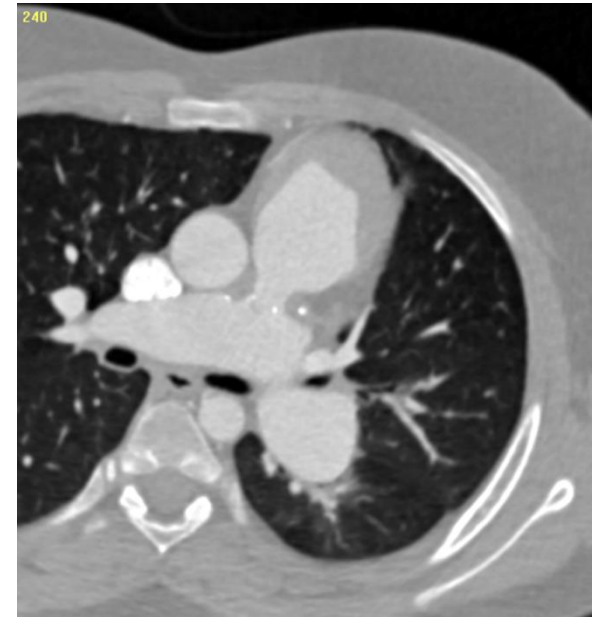
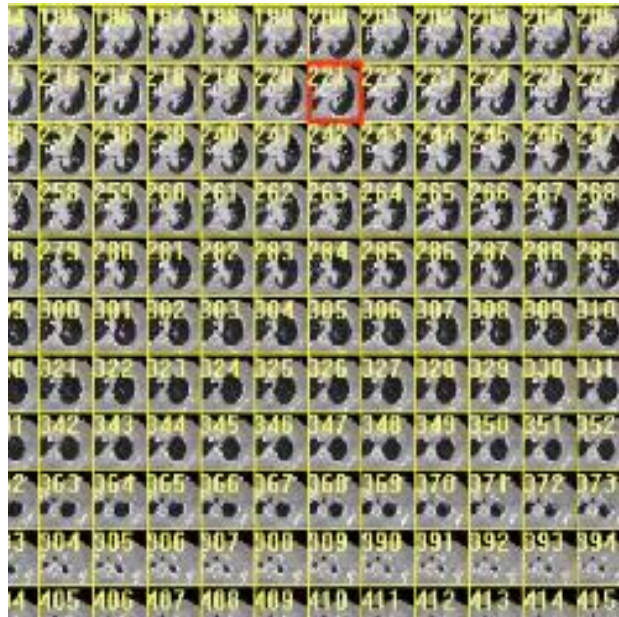
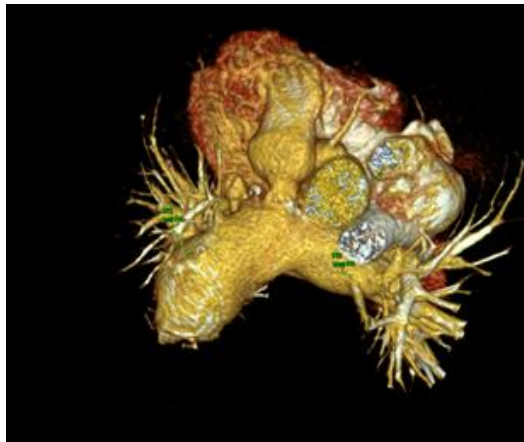
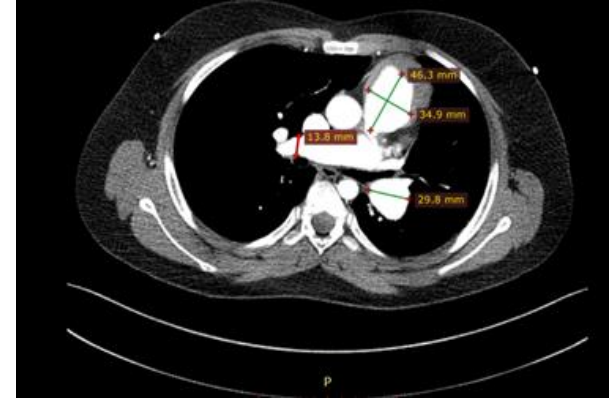
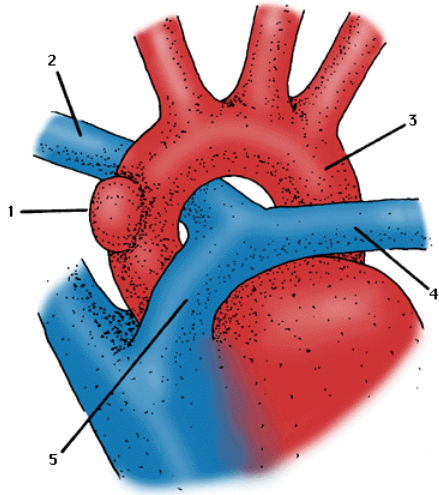
CFD Çalışması Örneği

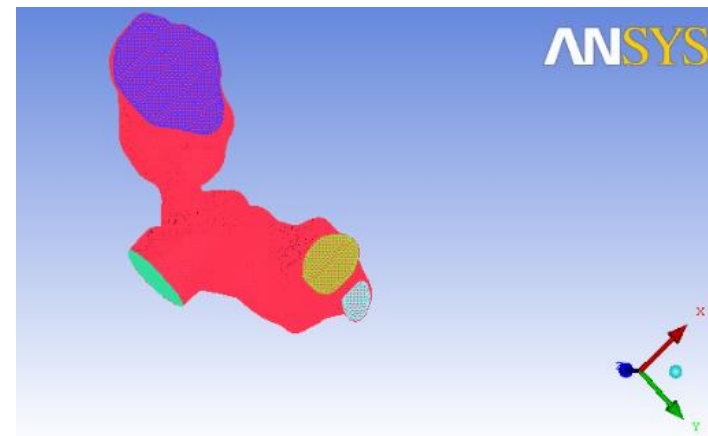
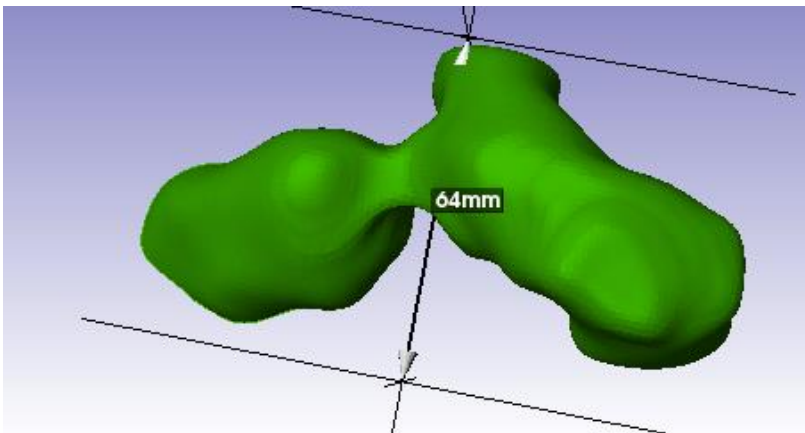
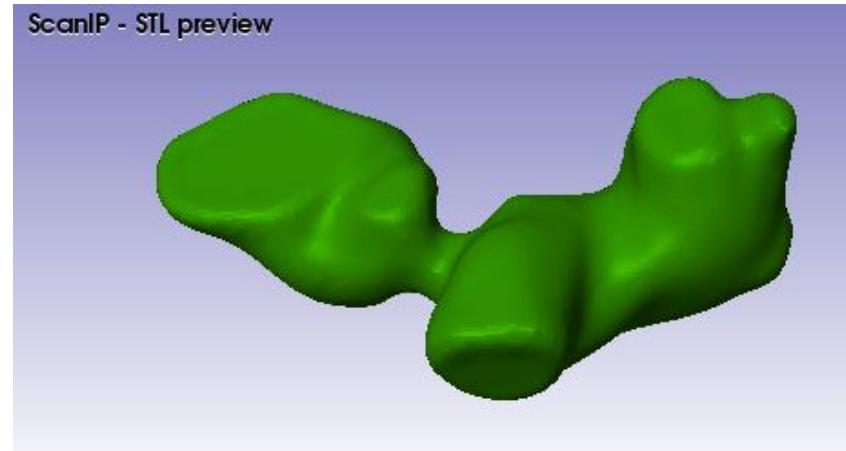
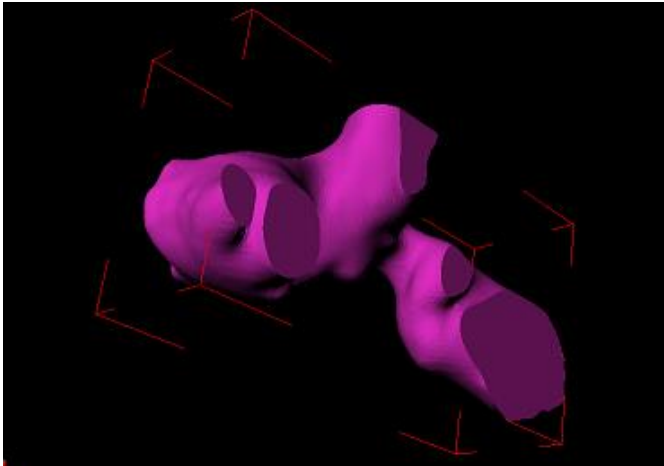
Pulmoner Atardamar



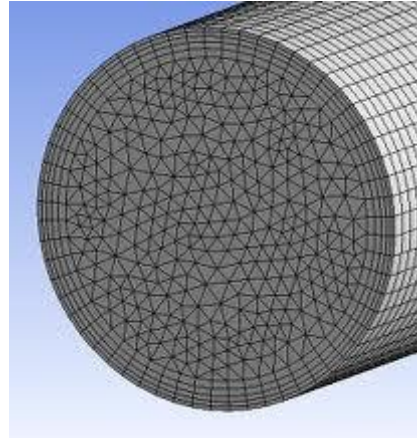
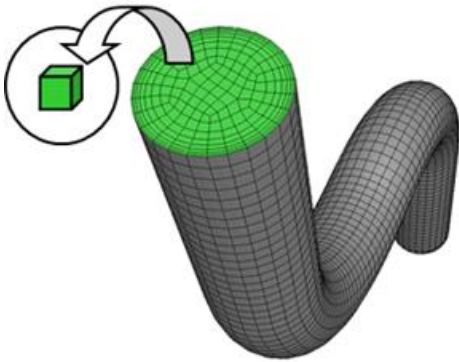
DICOM

Video DICOM

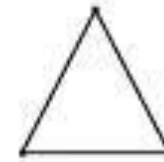




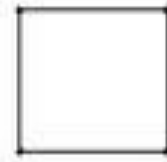
Parçalara Bölme (Mesh)



2D Cell Types

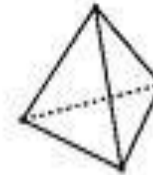


Triangle

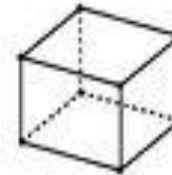


Quadrilateral

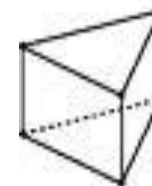
3D Cell Types



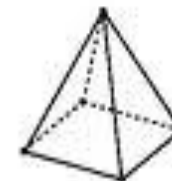
Tetrahedron



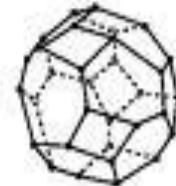
Hexahedron



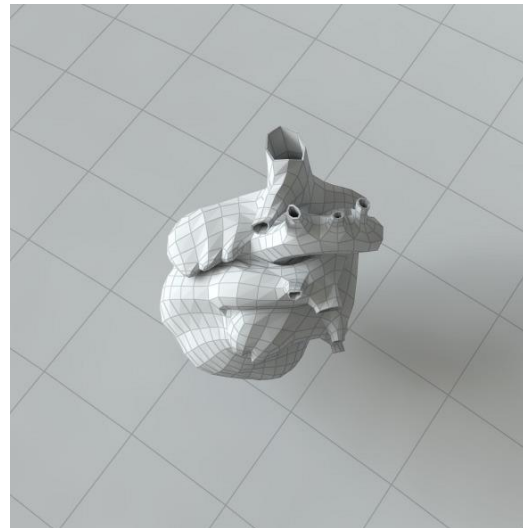
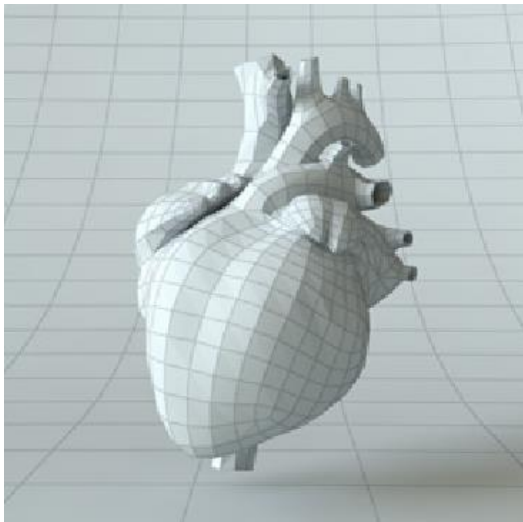
Prism/Wedge



Pyramid



Polyhedron



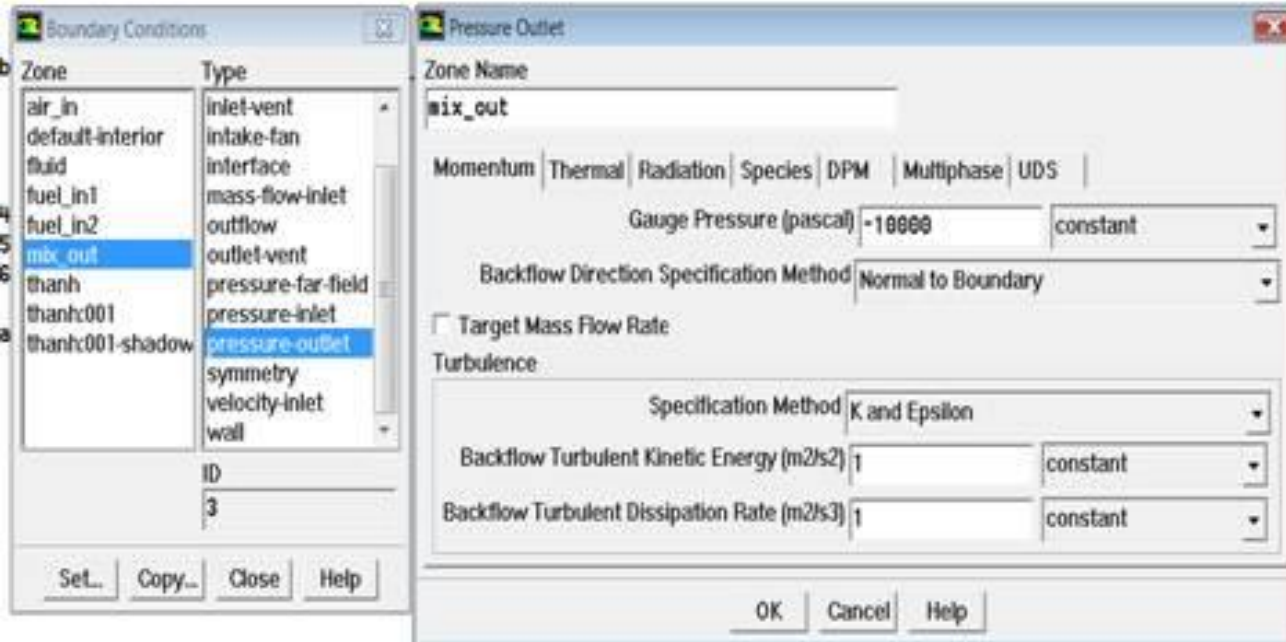


- ▶ İlk defa 1906 yılında kompleks mekanik problemlerin modellenmesinde onları küçük parçalarla tanımlama yapıldı. Sonra 1941'de Rayleigh–Ritz ile bilinen üçgen parçalar üzerine parça parça polinomik eklemelerle modelleme yapıldı. İlk kez 1953'de bilgisayarda matris olarak çözümlendi. 1963'da Turner'ın çalışmasıyla matematik literatürüne girdi.



Nümerik Akışkanlar Dinamiği (CFD)

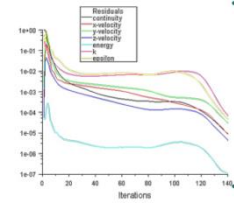
- ▶ Kompleks geometrilerdeki problemleri akışkan hareketlerinin nümerik olarak akışkan mekaniği metodlarıyla çözmektir.
- ▶ Sınır koşullarını tanımlayarak, dalga fiormları bilgisiyyle bazı değerleri (hız, kayma gerilimi, girdap, akış hattı vs.) hesaplayıp olasılıkları öngörmeyi planlar.
- ▶ Yeni dizaynlarda, prolem çözmeye, ürün geliştirmede, onarmada bu metoddan faydalanılır.
- ▶ Kan akışını tanımlayan diferansiyel denklemler (Navier- Stokes, Euler) ile yaklaşımlarla hesap yapar.
- ▶ SIMPE, SIMPLEC, PISO algoritmaları ile akı düzenleme denklemlerini diskret süreklilik denklemlerine katar.



Nümerik Hesaplama

- ▶ Maddenin tanımlanması, fiziksel modelin seçilmesi, sınır koşullarının girilmesi, işlem çeşidinin belirlenmesi, giriş değerleri ile ya da gerekli görülen «user defined function» eklenerek başlatılmasıyla istenilen yakınsama sağlanana kadar iterasyon yaptırılır.

- ▶ Sonuçları istenilen grafik ya da simülasyonla değerlendirilip, akışın türü, üç boyutlu etkisi, kayma gerilimi gibi değerler yorumlanıp, her nokta ve belirlenen kritik bölgeler için hesaplanabilir. Alınacak farklı kesitlerde akış çizgileri ve vektörler hız, basınç, enerji vs. için edinilebilir.



Velocity Inlet

Zone Name
velocity-inlet-2

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Velocity Specification Method: Components

Reference Frame: Absolute

X-Velocity [m/s]: udf unsteady_velocity

Y-Velocity [m/s]: 0 constant

OK Cancel Help

Solution Controls

Equations: Flow, Turbulence

Under-Relaxation Factors

Pressure: 0.3

Density: 1

Body Forces: 1

Momentum: 0.7

Discretization

Pressure: Standard

Pressure-Velocity Coupling: SIMPLE

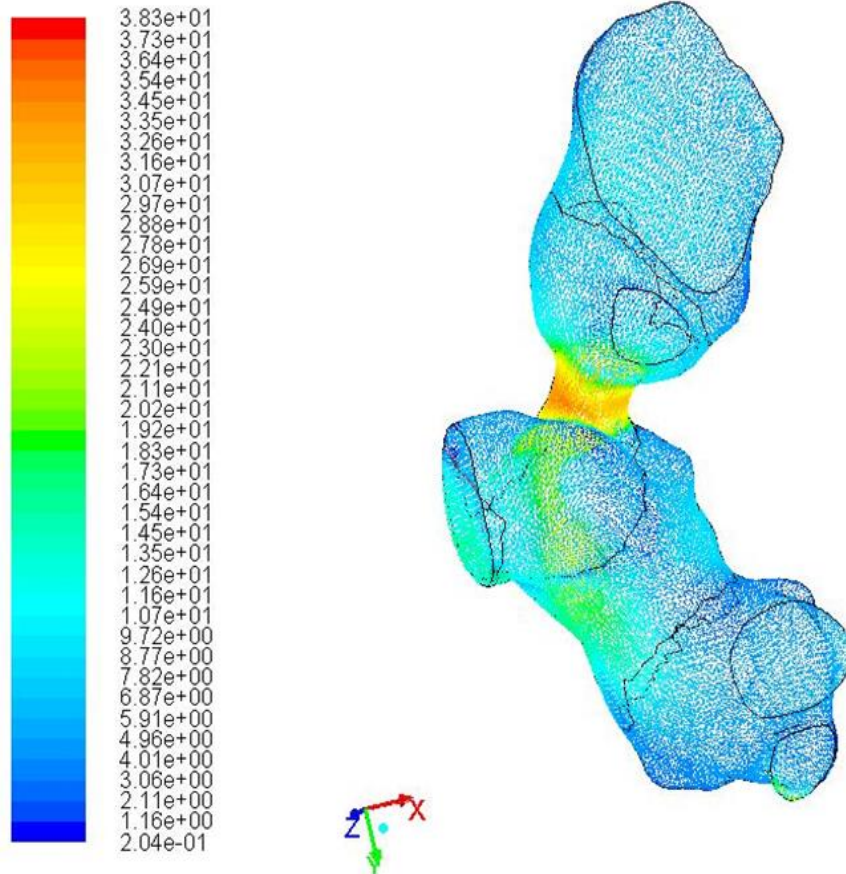
Momentum: Second Order Upwind

Turbulence Kinetic Energy: Second Order Upwind

OK Default Cancel Help



Grafik Sonuçlar

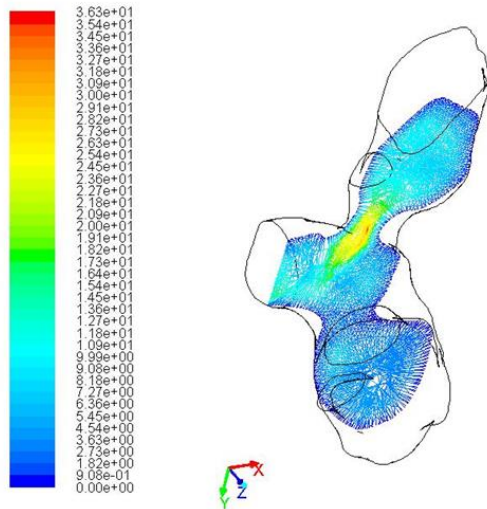


ANSYS
14.0

Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

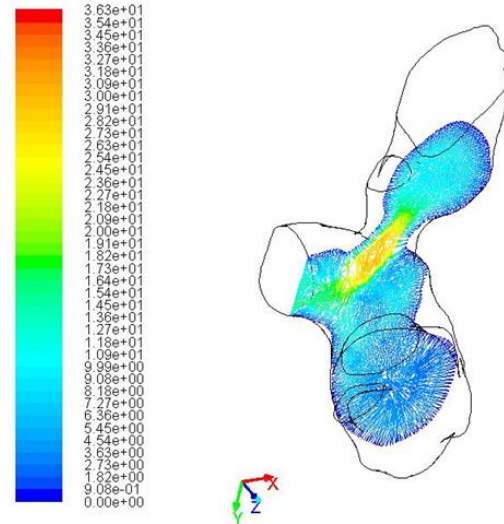
Apr 01, 2013
ANSYS FLUENT 14.0 (3d, dp, pbns, lam)





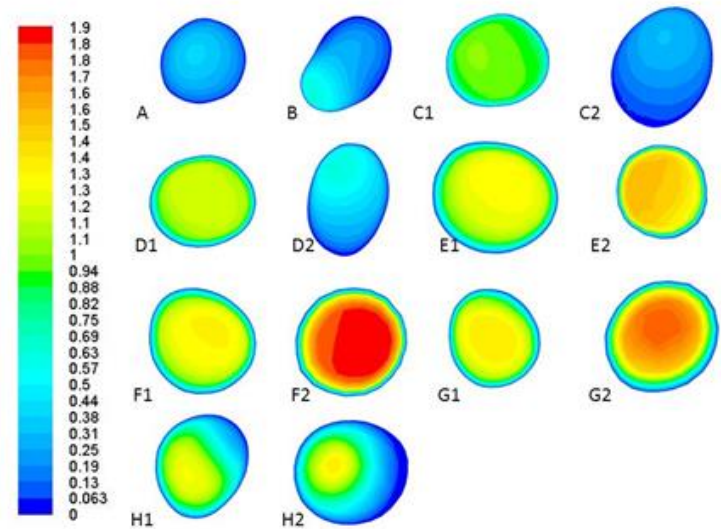
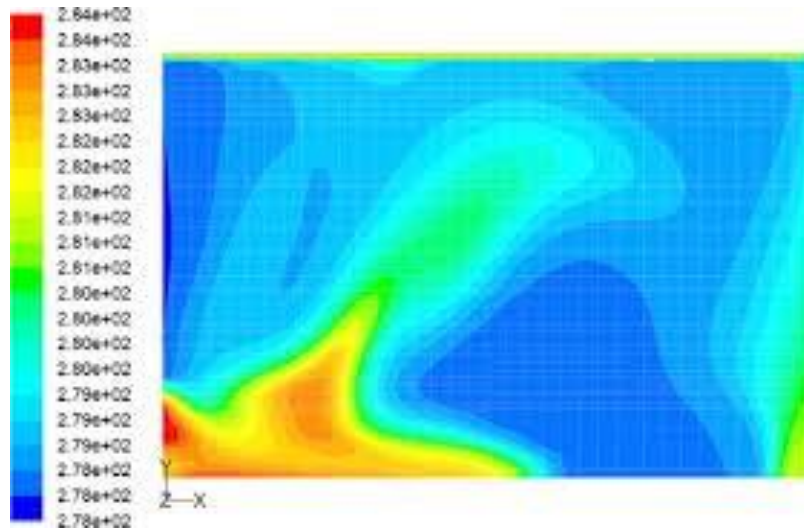
Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Mar 30, 2013
ANSYS FLUENT 14.0 (3d, dp, pbns, lam)



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Mar 30, 2013
ANSYS FLUENT 14.0 (3d, dp, pbns, lam)



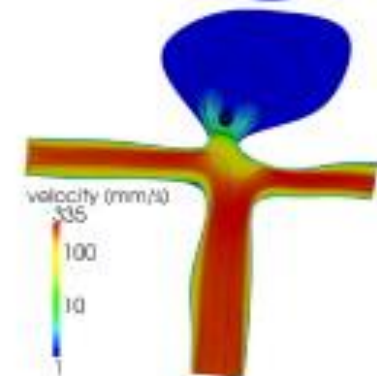
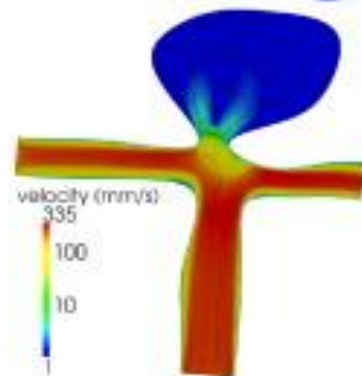
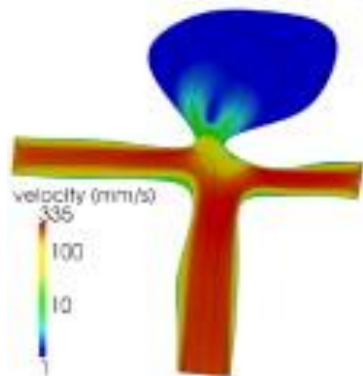
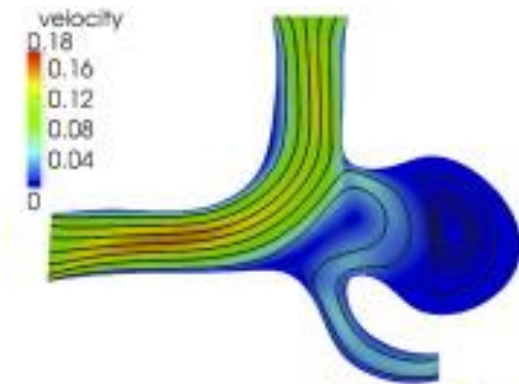
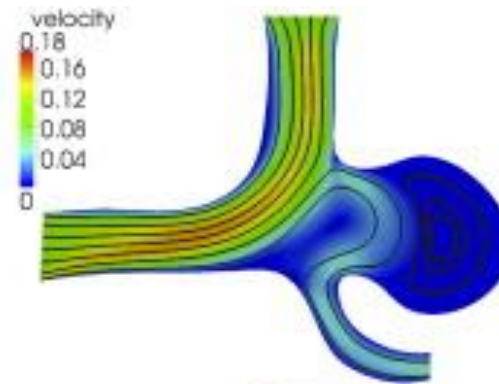
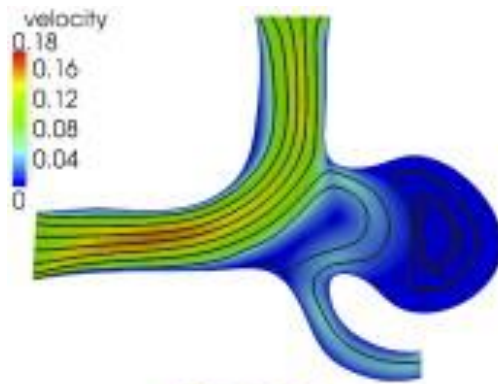
Kapalı Devre Dolaşım Sistemi



Uygulama Örnekleri



Uygulama Örnekleri



Uygulama Örnekleri

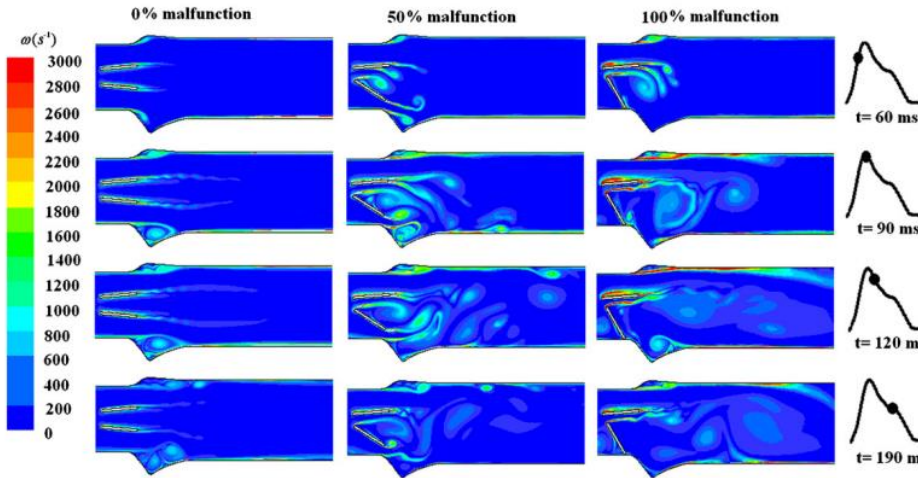
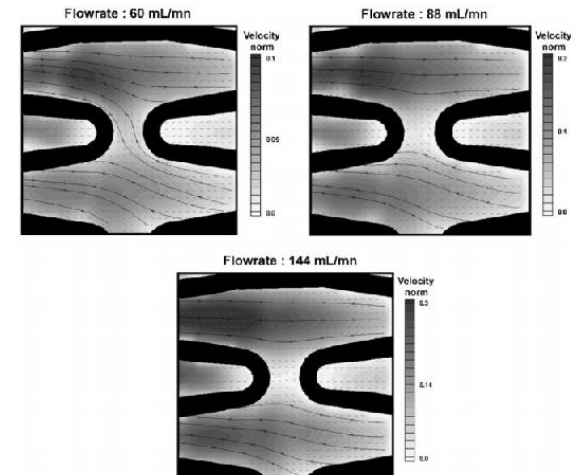
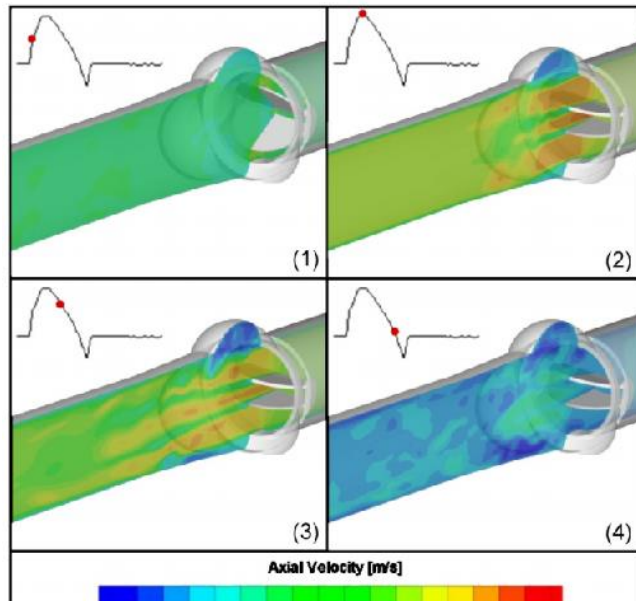
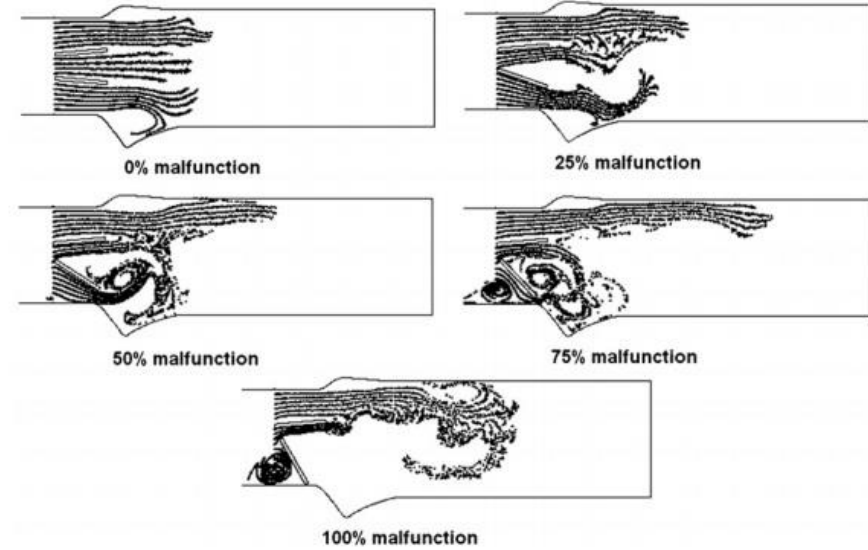
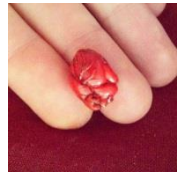


Fig. 5. Vorticity distributions downstream of a healthy and a dysfunctional mechanical valve at different time instants.



Nümerik Yöntemin Faydası



- ▶ Hesaplamalı akışkanlar dinamiği metoduyla kan akışı sırasında meydana gelen biyomekanik olayları anlamak, biyomalzeme geliştirmek, yararlılıklarını karşılaştırmak, yeni ürün ve cihaz dizayn etmek, cerrahi yöntemlerin daha efektif olması yolunda öngörüler getirmek ve istatistiksel değerlendirmelerle medikal çalışmalara fayda sağlanmak amacıyla geliştirilmeye devam edilmektedir.
- ▶ Hastaya özgü tedavi konusuna dikkat çekmek, akışın geometriden etkilendiği gerçeği ve akışın fizyolojik, mekanik, patolojik etkilerinin, hemodinamik sonuçların matematiksel değerlendirmelerinin hastanın sağlığı için daha yararlı çözümler üretmede bir çok faydası olacaktır.



Teşekkürler





banu@cardiovascularmechanics.org

Kalpten Damardan
Banu Pluie