KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

BIOPHYSICS

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych"

Lecture 7

Blood Circulation System (7)

Bogdan Walkowiak

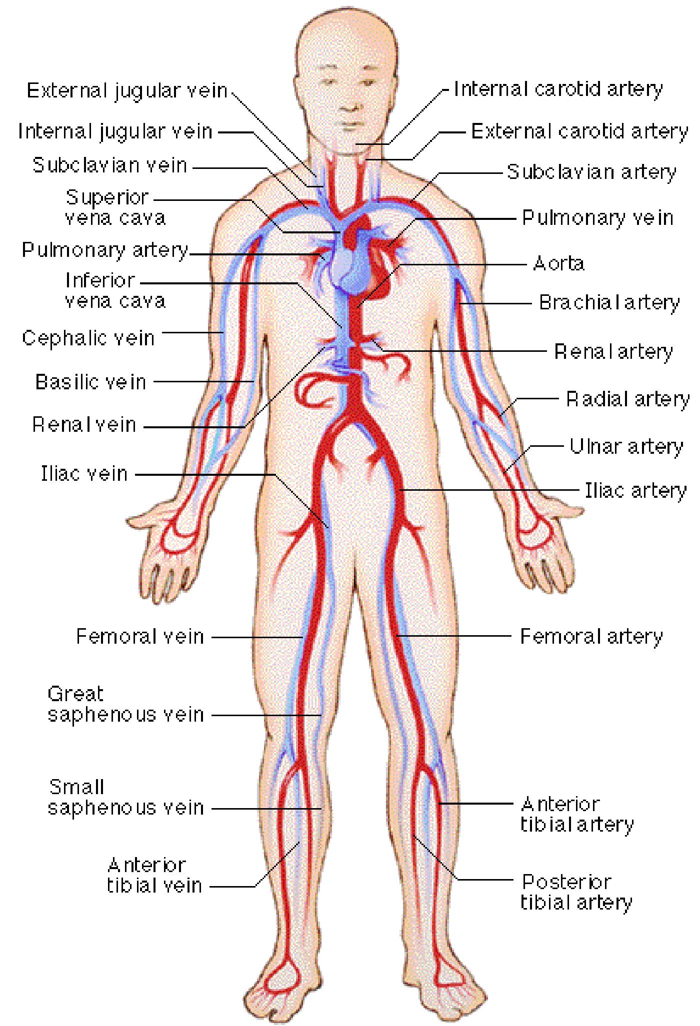
Department of Biophysics
Institute of Materials Science and Engineering
Technical University of Lodz

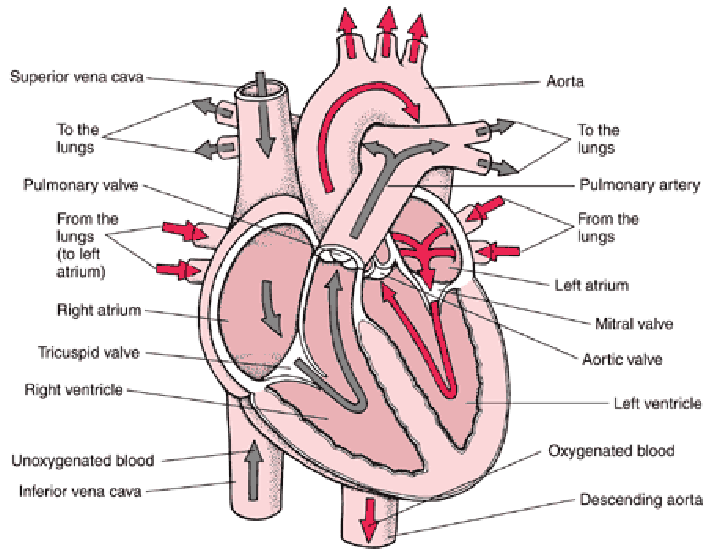
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

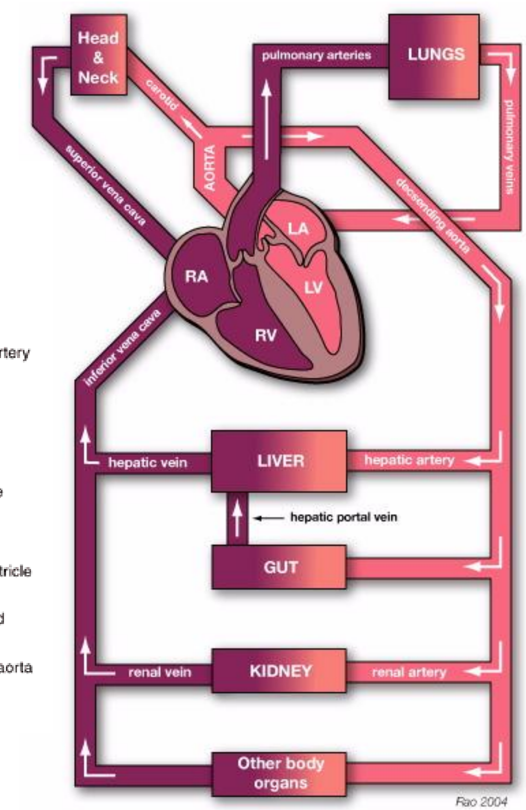
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Blood Circulation System







Source: INTERNET

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

What Cause Flow of Blood?

Blood is flowing as a result of the pressure gradient made by the heart

$$\text{Flow} = \frac{\text{(Upstream Pressure - Downstream Pressure)}}{\text{Vessel Resistance}}$$

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Blood Pressure in Systemic and Pulmonary Circulation

Systemic circulation

Aorta	100 hPa (70 mm Hg)	diastolic
	160 hPa (120 mm Hg)	systolic
Vena cava	0	

Pulmonary circulation

Pulmonary artery	10 hPa (8 mm Hg)	diastolic
	30 hPa (15 mm Hg)	systolic
Pulmonary vein	9 hPa (7 mm Hg)	

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Earth Gravity Affects Blood Pressure

Hydrostatic blood pressure: $P = \rho g h$

where: h – blood column hight

g – gravity acceleration (about 10 m/s^2)

ρ – blood density (about 10^3 kg/m^3)

P = 100 h (in hPa) and 75 h (in mm Hg)

For head artery (h = 0.5 m above the heart):

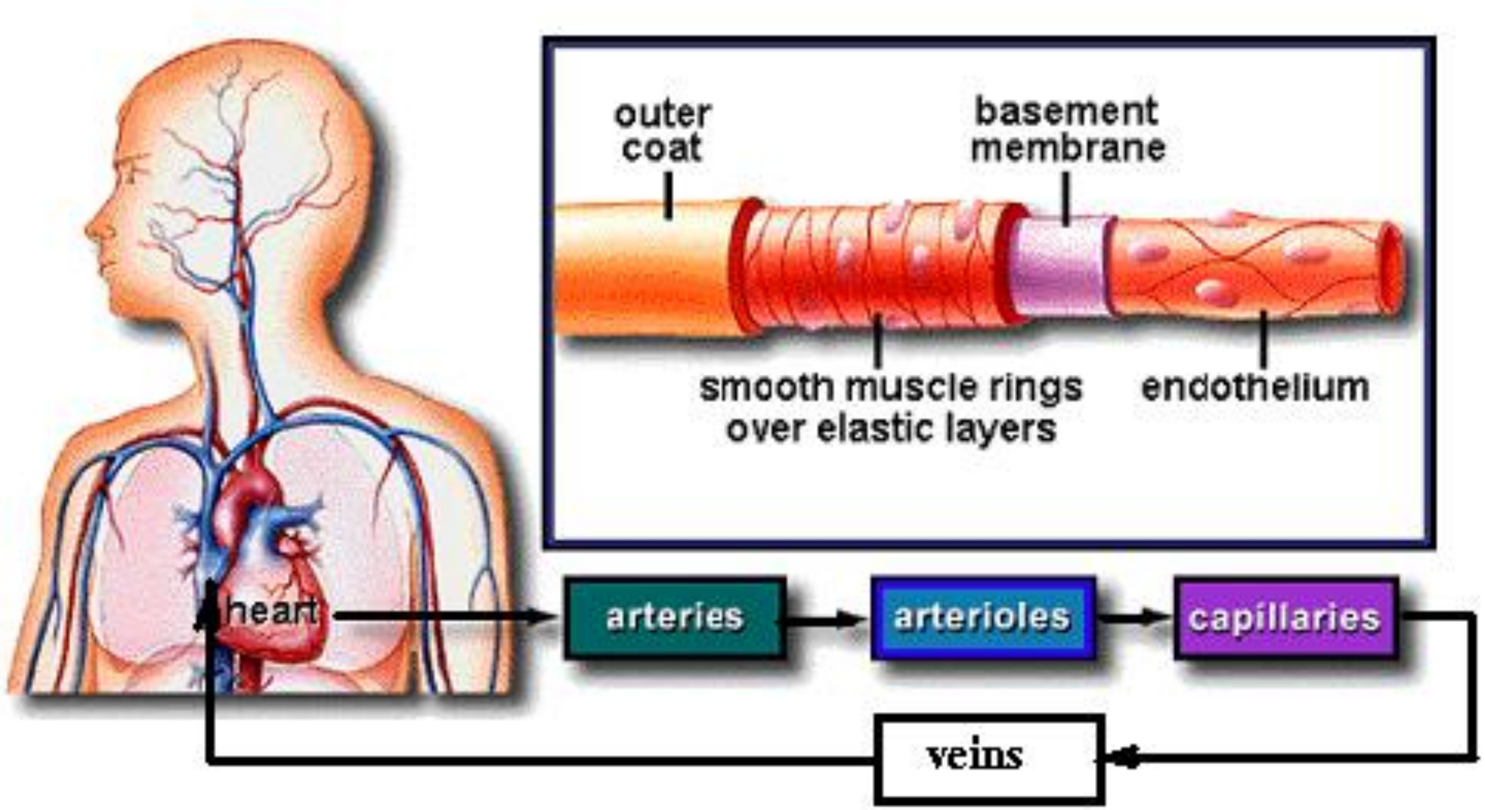
P = 130 – 50 = 80 hPa

For foot artery (h = 1 m below the heart):

P = 130 + 100 = 230 hPa

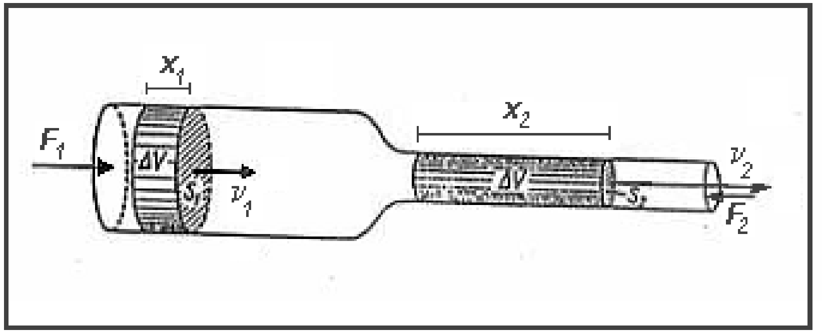
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ SPOŁECZNY

The Loop of Blood Flow



Source: INTERNET

Stream continuity principle



Flow intensity

$$J = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$$J_1 = J_2 = const$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = const$$

$$J = \sum_{i=1}^{n} J_i$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} S_i$$

Due to capillary vessels present in a huge number

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} S_i \text{ (capillary vessels)}}{S \text{ (aorta)}} = 750$$

The pronciple does not take into account:

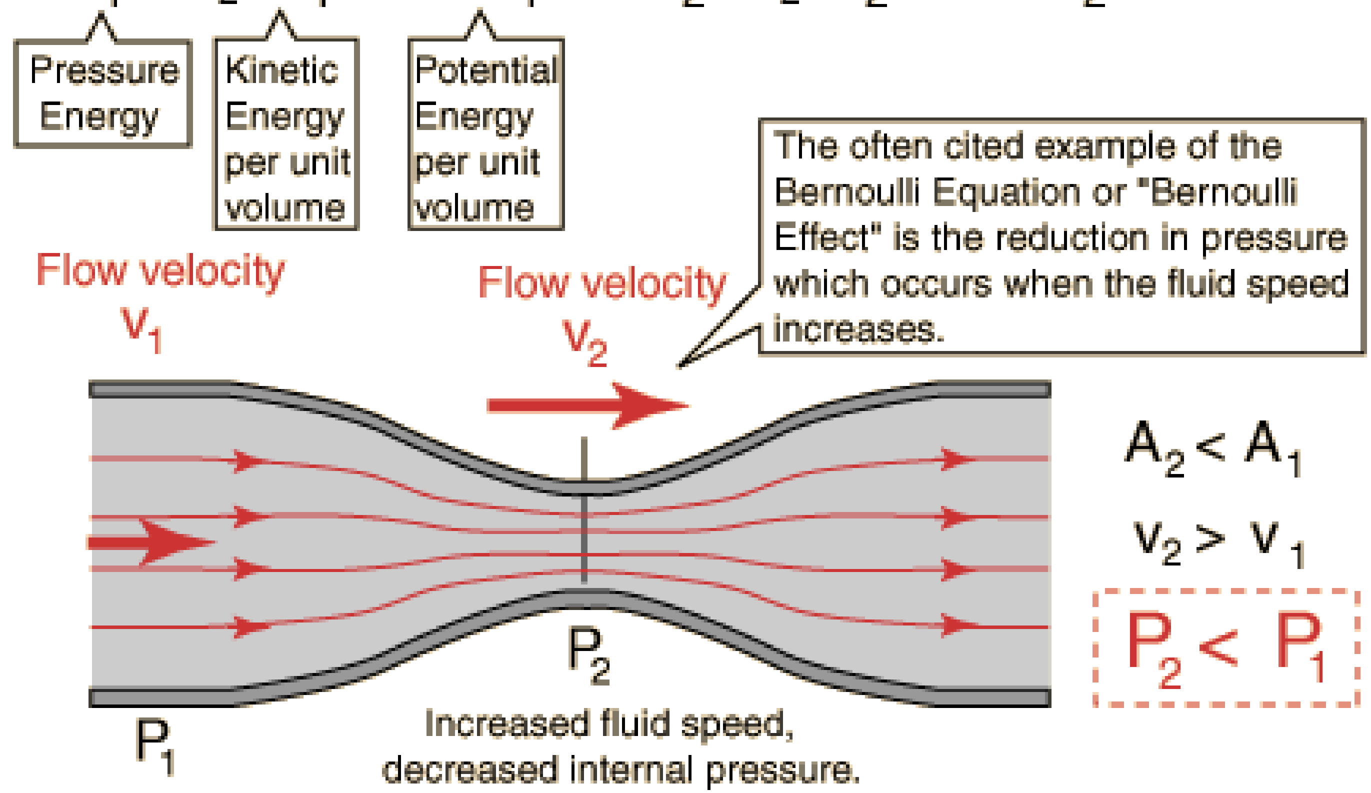
1. blood compresibility
2. blood pulsation
3. blood exchange with enviroment

Source: A. Pilawski Podstawy Biofizyki

Bernouli’s Law

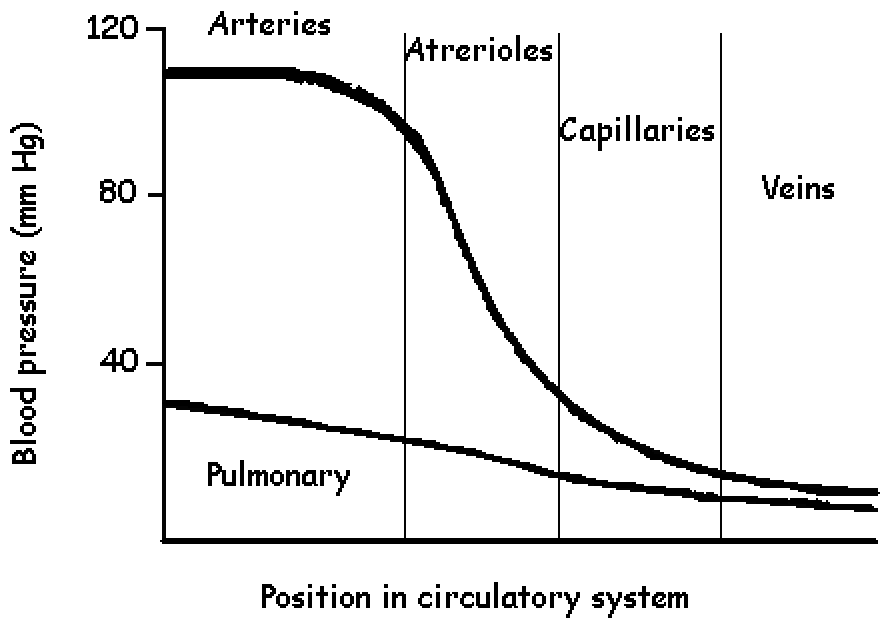
Energy per unit volume before = Energy per unit volume after

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$



Source: INTERNET

Vessel Resistance of Blood Flow



According to the Poiseuille-Hagen equation, the volumetric flow rate through a cylindrical blood vessel is approximated by:

$$V = \frac{\Delta P \pi r^4}{8 l \eta}$$

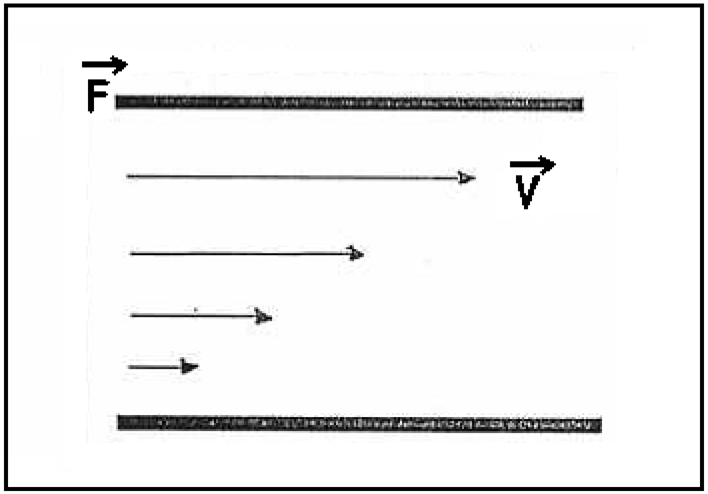
where $\Delta P/l$ is the pressure gradient, η is the viscosity of blood, and r is the vessel radius.
Assuming $V = \Delta P/R$
the resistance R in the system is described by:

$$R = \frac{8 l \eta}{\pi r^4}$$

$$\frac{l}{r^4}$$ - is the geometrical factor

Source: A. Pilawski Podstawy Biofizyki

Blood viscosity



$$F = \eta S \frac{\Delta V}{\Delta x}$$

$$F/S = \eta \frac{\Delta V}{\Delta x}$$

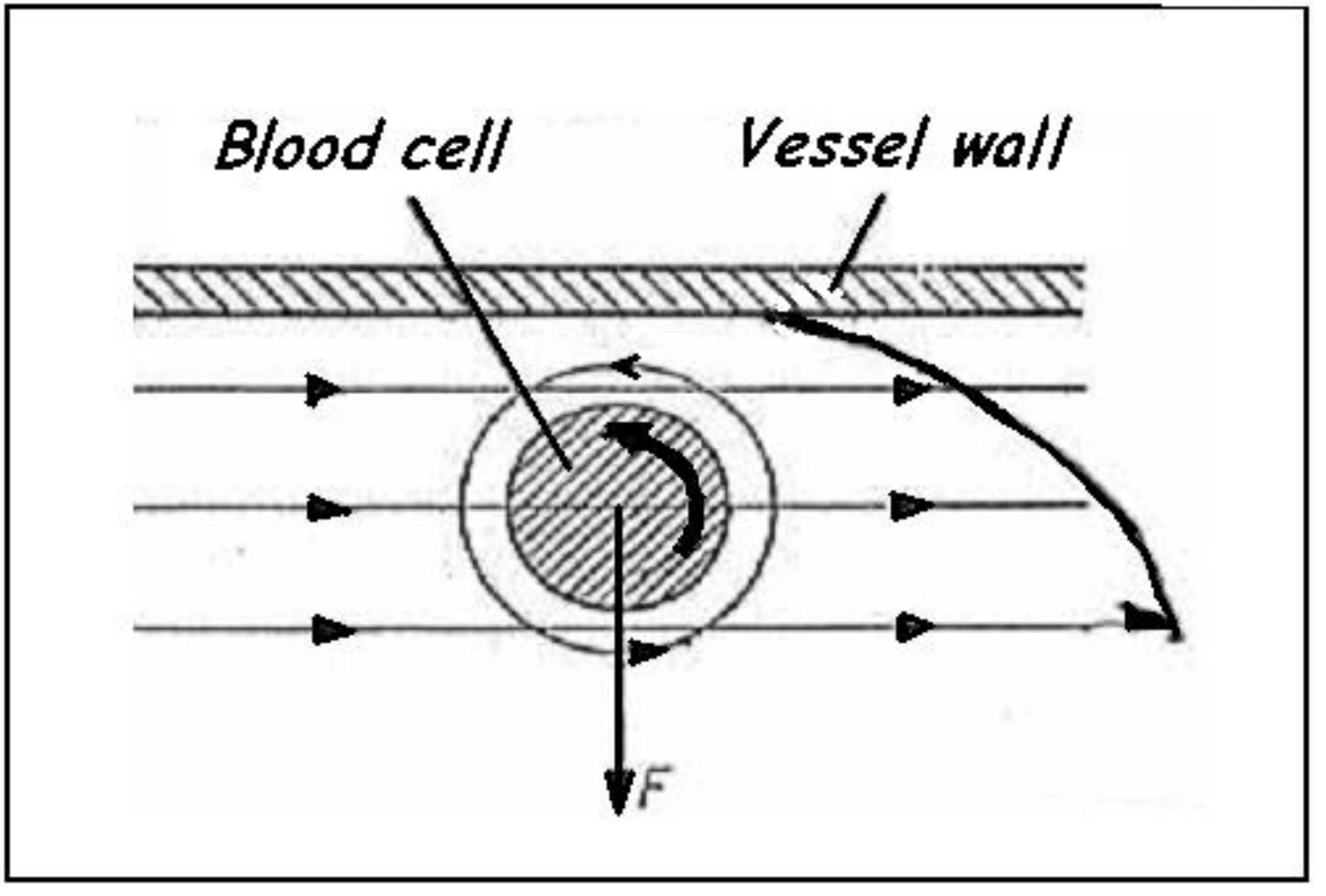
where F/S SHEAR STRESS

dV/dx SHEAR RATE

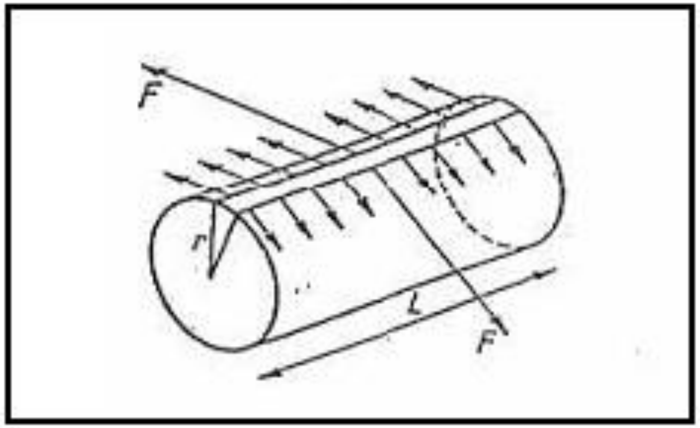
Blood viscosity depends on:

- hematocrit
- temperature
- cross section of the vessel
- flow rate
- plasma protein content (fibrinogen, albumins, IgG)

Axial Cumulation of Blood Cells



Elastic Pressure of Vessel Wall



Elastic Tension

$$T = F/L$$

Action of elastic tension results in elastic pressure of the wall according to the formula of LAPLACE'a

$$P = T/r$$

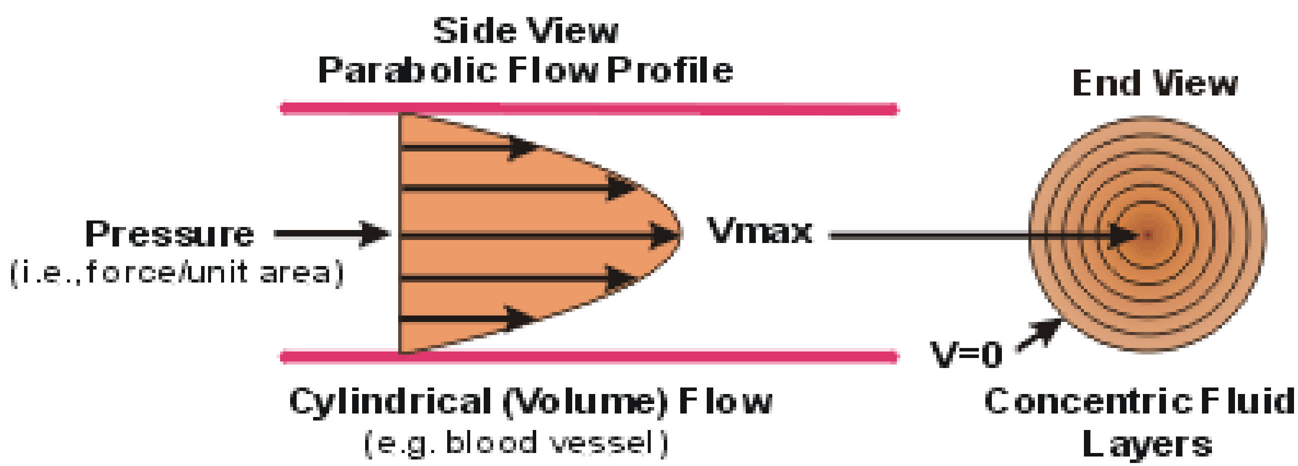
P – elastic pressure of the wall
T – elastic tension in the wall
r – radious of the vessel

Source: A. Pilawski Podstawy Biofizyki

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Laminar and Turbulent Flow of Blood

Laminar flow is the normal condition for blood flow throughout most of the circulatory system. It is characterized by concentric layers of blood moving in parallel down the length of a blood vessel. The highest velocity (Vmax) is found in the center of the vessel. The lowest velocity (V=0) is found along the vessel wall. The flow profile is parabolic once laminar flow is fully developed. This occurs in long, straight blood vessels, under steady flow conditions.



Source: INTERNET

Laminar and Turbulent Flow of Blood

Turbulence occurs when smoothly flowing, laminar flow is disrupted. This occurs distal to stenotic (narrowed) heart valves or arterial vessels, at vessel branch points, and in the ascending aorta at high cardiac ejection velocities (e.g., during exercise). The onset of turbulence under ideal conditions can be predicted by calculating the Reynolds number (Re):

$$Re = \frac{v\, D\, \rho}{\eta}$$

Where v = mean velocity,
D = vessel diameter,
ρ = blood density,
and η = blood viscosity

Laminar and Turbulent Flow of Blood

Turbulence generates sound waves (e.g., ejection murmurs) that can be heard with a stethoscope. Because higher velocities enhance turbulence, audible sounds resulting from turbulence become louder whenever blood flow is increased across the valve or through the vessel where the turbulence is occurring.

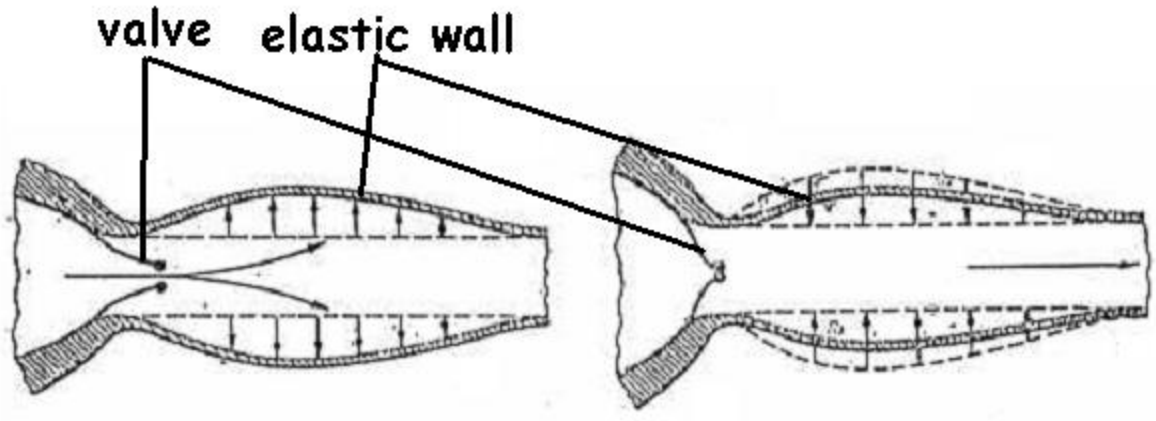
Source: INTERNET

KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

Pulse Wave



- Every 0.8 sec about 70 ml of blood is thrown out from the left heart ventricle.
- The circuit system resistance makes artery wall deformation, it means the kinetic energy of the flow is transfered into the potential energy of resilence.
- This way the pulse wave is formed. It is a wave of deformation of elastic walls of arteries.

Source: A. Pilawski Podstawy Biofizyki

Work of the heart

- The volumetric work (pdV) is done against the presuure present in the arteries.
- Internal work ((kinetic work $\rho v^2 dV/2$) is done to move blood and give it the kinetic energy

	left ventricle	right ventricle
volumetric work	0.91 J/pulse	0.15 J/pulse
kinetic work	0.006 J/pulse	0.006 J/pulse

The resting heart is duing:

volumetric work = 1.1 J/ pulse

kinetic work = 0.01 J/pulse

A Power of Heart

Dividing the work by the work time of one pulse

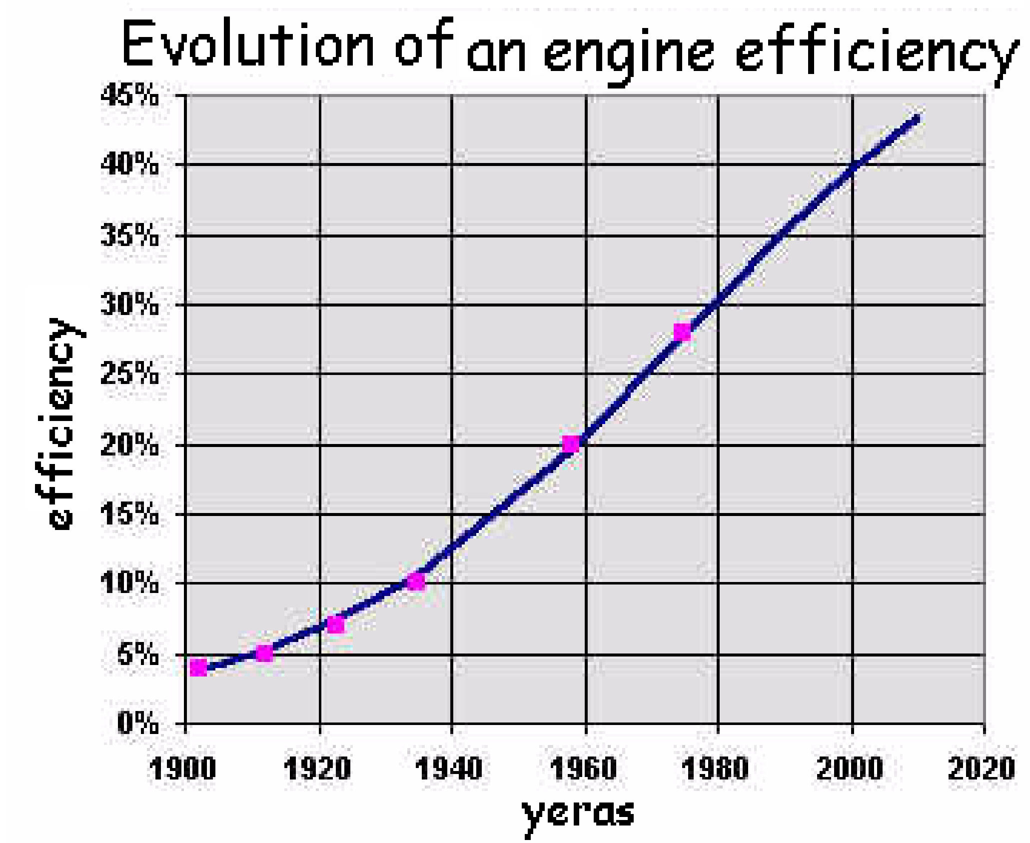
we have the heart power:

$$P = 1.1\ J/0.8\ sec = 1.3\ W$$

During the exercise the kinetic heart work and power

can increase several times.

A Heart Efficiency



The heart efficiency does not evolute so fast and is constant at the level of a fraction of a percent

Source: INTERNET

BIOPHYSICS

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez
Unię Europejską w ramach
Europejskiego Funduszu Społecznego w projekcie pt.

„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń - zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej - zarządzanie Uczelnią, nowoczesna oferta edukacyjna i wzmacniania zdolności do zatrudniania osób niepełnosprawnych"