

Kreislauf I

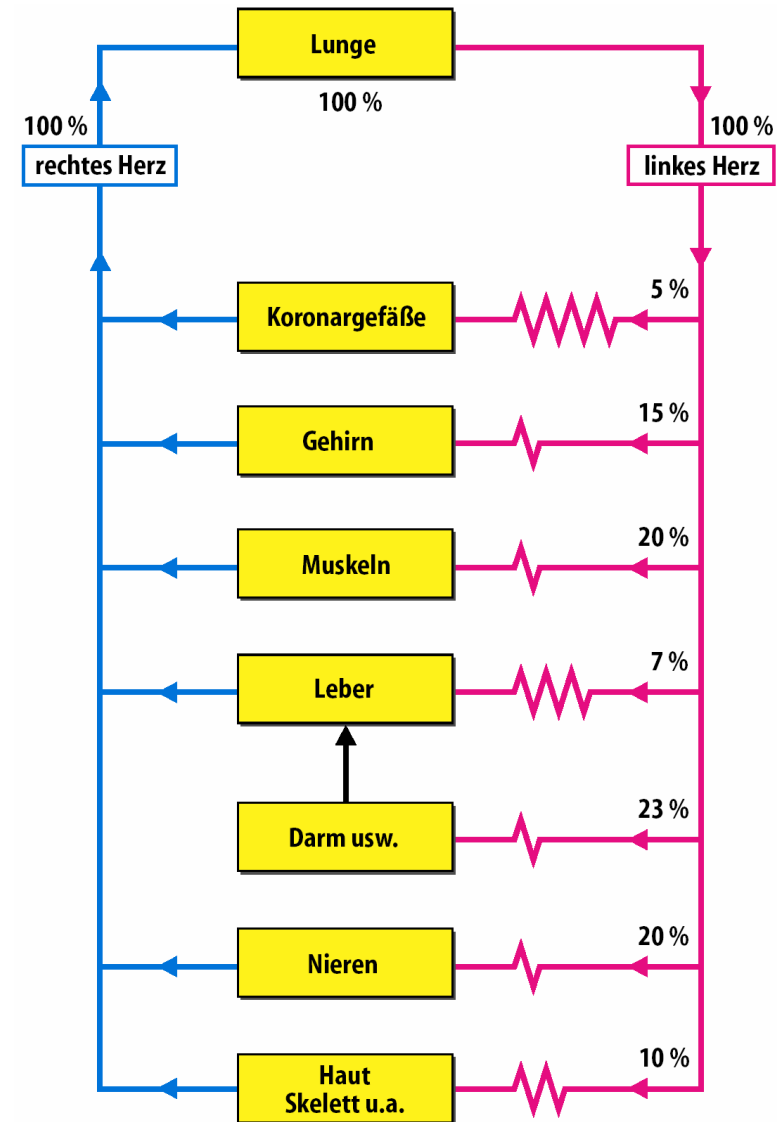
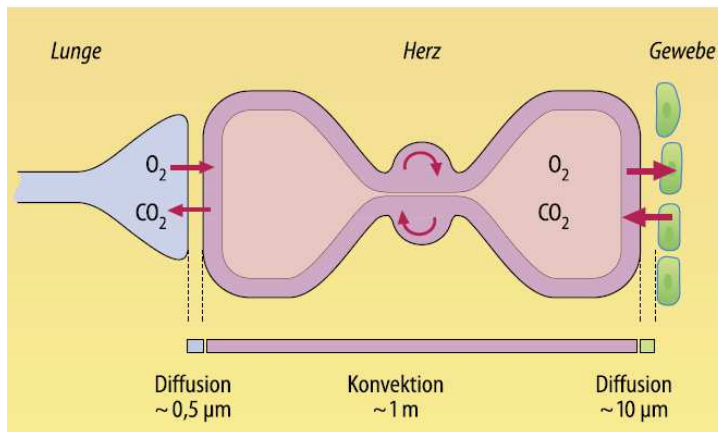
Hämodynamik

Kreislauf I: Hämodynamik

Die Studierenden sollen fähig sein:

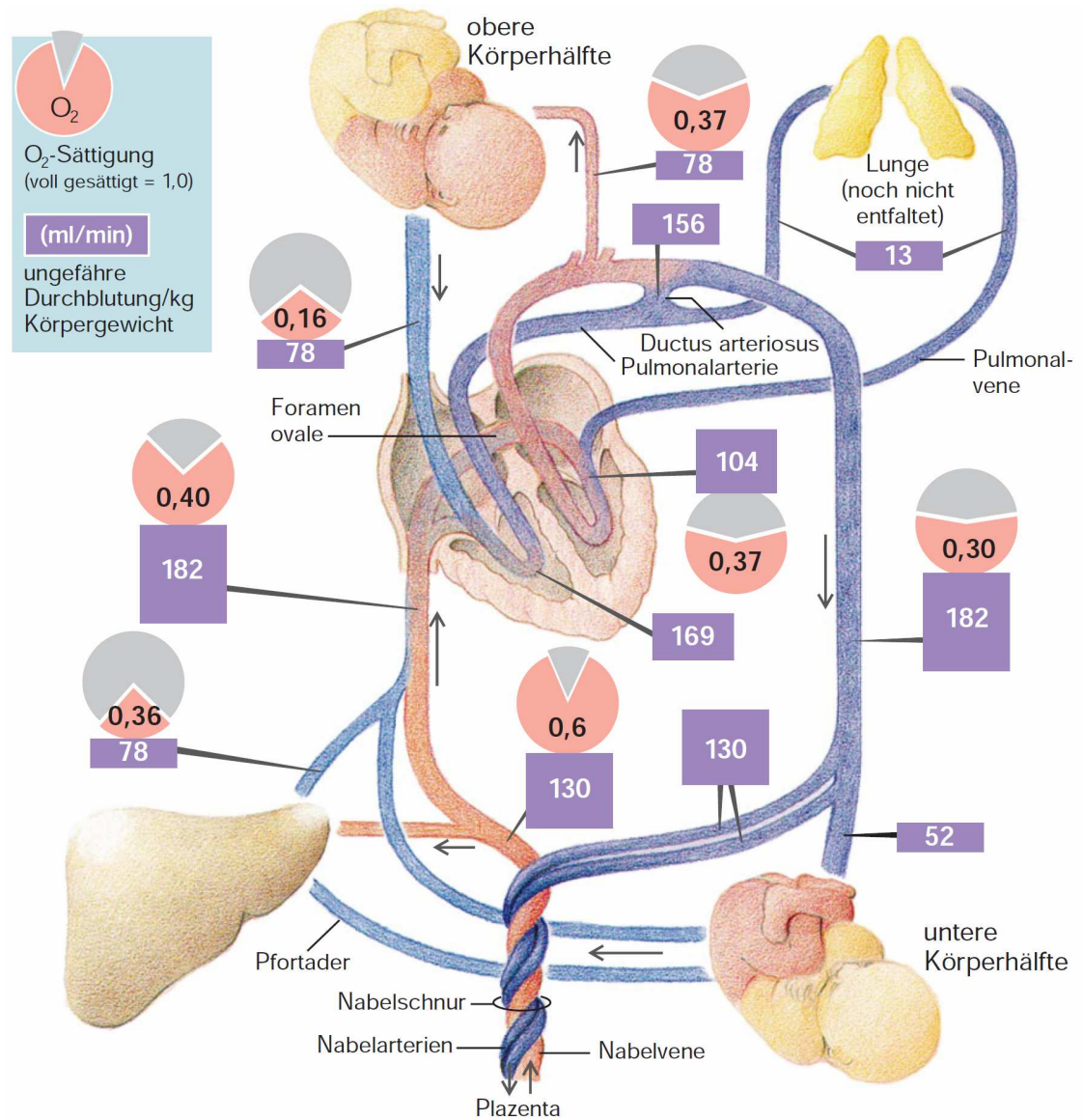
- die Gefäßabschnitte des menschlichen fötalen und adulten Kreislaufs inklusive der Widerstände, der vorherrschenden transmuralen Drücken und Fließgeschwindigkeiten zu benennen.
- den Einfluss von Gefäßradius und Blutviskosität auf den Gefäßwiderstand zu erläutern.
- den Zusammenhang zwischen Gefäßelastizität und Pulswellengeschwindigkeit zu erklären sowie Möglichkeiten zu benennen, diese zu bestimmen.

Der menschliche Kreislauf



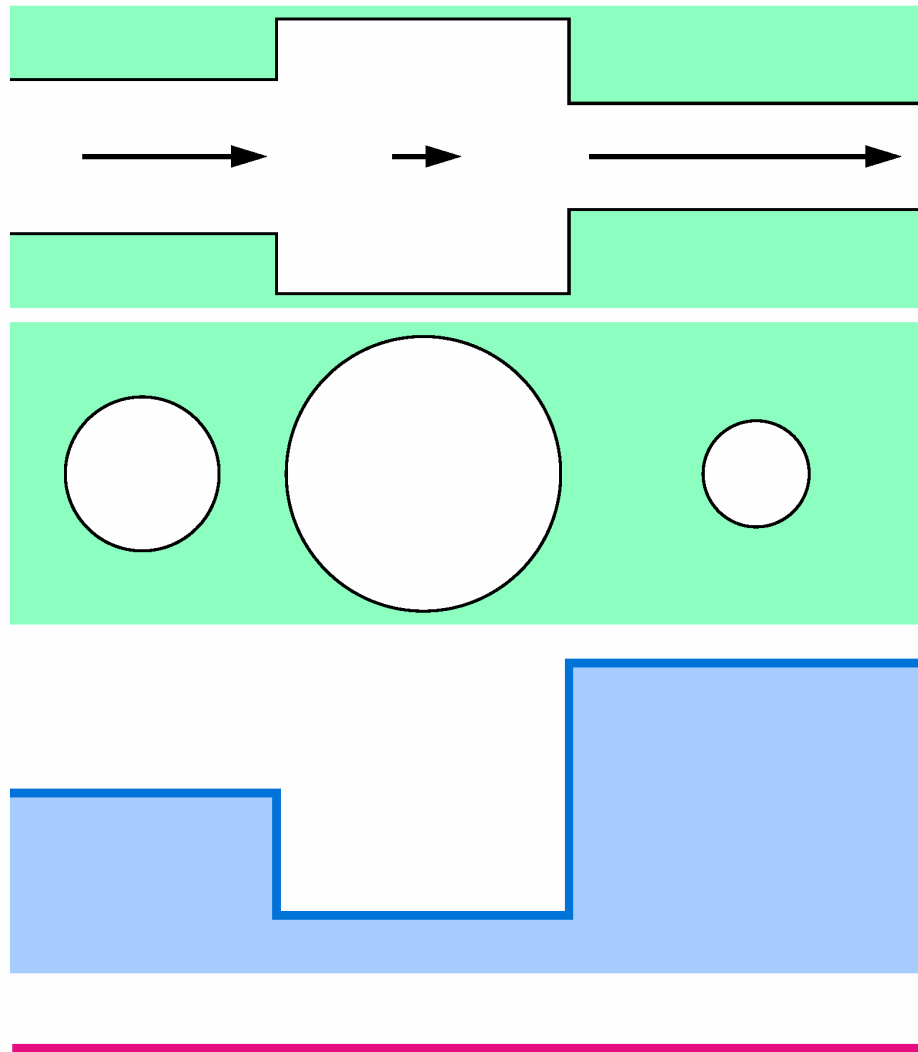
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 3

Der fötale Kreislauf



Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas der Pathophysiologie. Georg Thieme Verlag 1998

Kontinuitätsbedingung des Blutflusses



$$I = \bar{v}_a \cdot Q_a = \bar{v}_b \cdot Q_b$$

mit I : Stromstärke,
 $\bar{v}$: Strömungs-
geschwindigkeit und
 Q : Gefäßquerschnitt

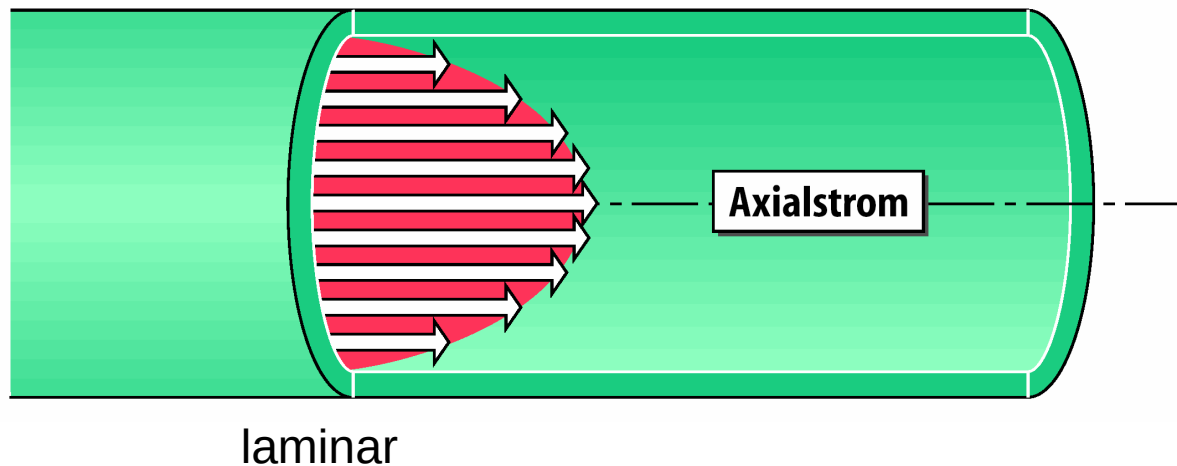
Querschnitt

**mittlere
Strömungs-
geschwindigkeit**

Stromstärke

Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 5

Strömungswiderstand und Hagen-Poiseuille-Gesetz: Laminares Strömungsprofil



$$I = \Delta P / R$$

$$I = \Delta V / \Delta t$$

$$I = \bar{v} \cdot Q$$

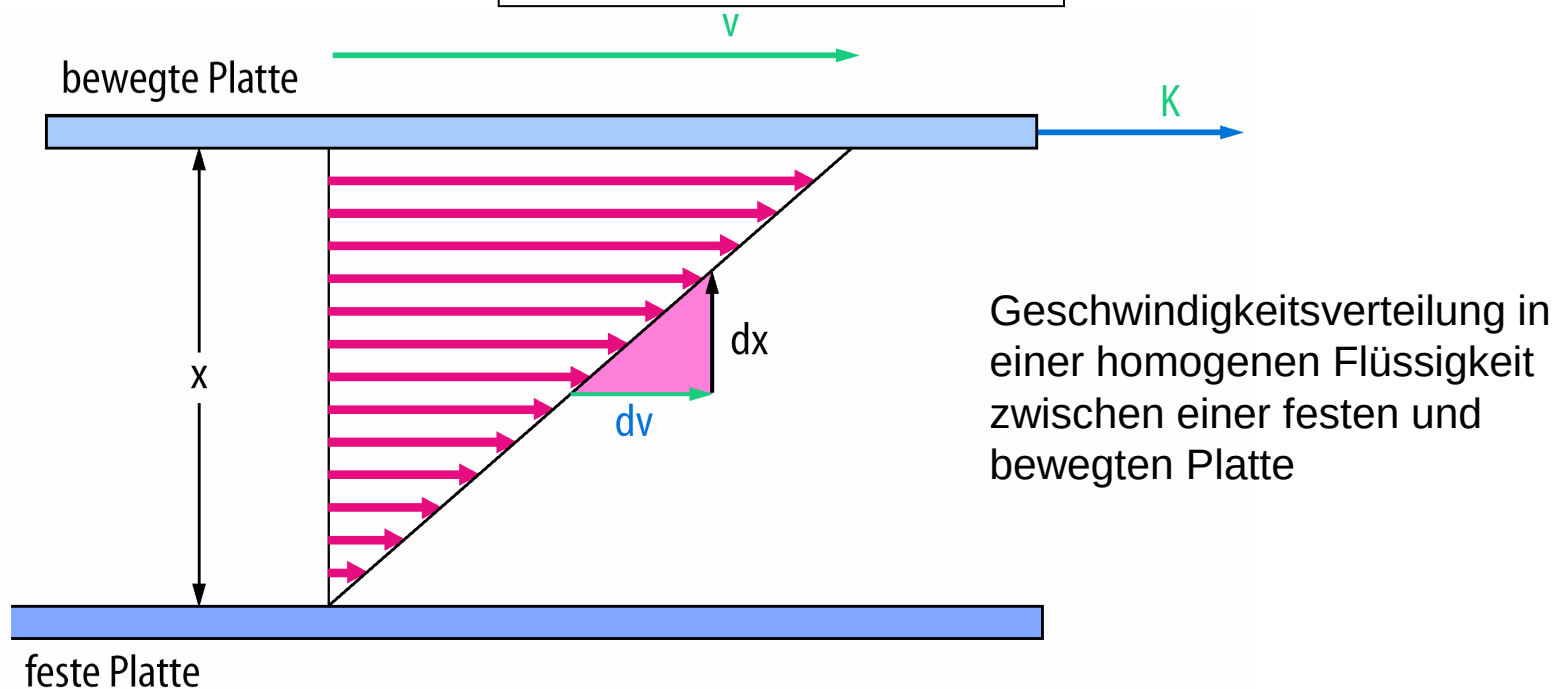
mit P: Druck, R:
Widerstand, V: Volumen,
Q: Querschnitt und
 $\bar{v}$: Strömungs-
geschwindigkeit

Strömungswiderstand und Hagen-Poiseuille-Gesetz: Viskosität η (Eta)

$$\text{Schubspannung } \tau = \frac{\text{Kraft } K}{\text{Fläche } F}$$

$$\text{Geschwindigkeitsgradient } \gamma = dv/dx$$

$$\text{Viskosität } \eta = \tau / \gamma$$



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 7

Strömungswiderstand und Hagen-Poiseuille-Gesetz: Radius

$$I = \frac{r_i^4 \cdot \pi \cdot \Delta P}{8 \eta \cdot l}$$

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

mit l = Gefäßlänge

Totaler Peripherer Widerstand (TPR)

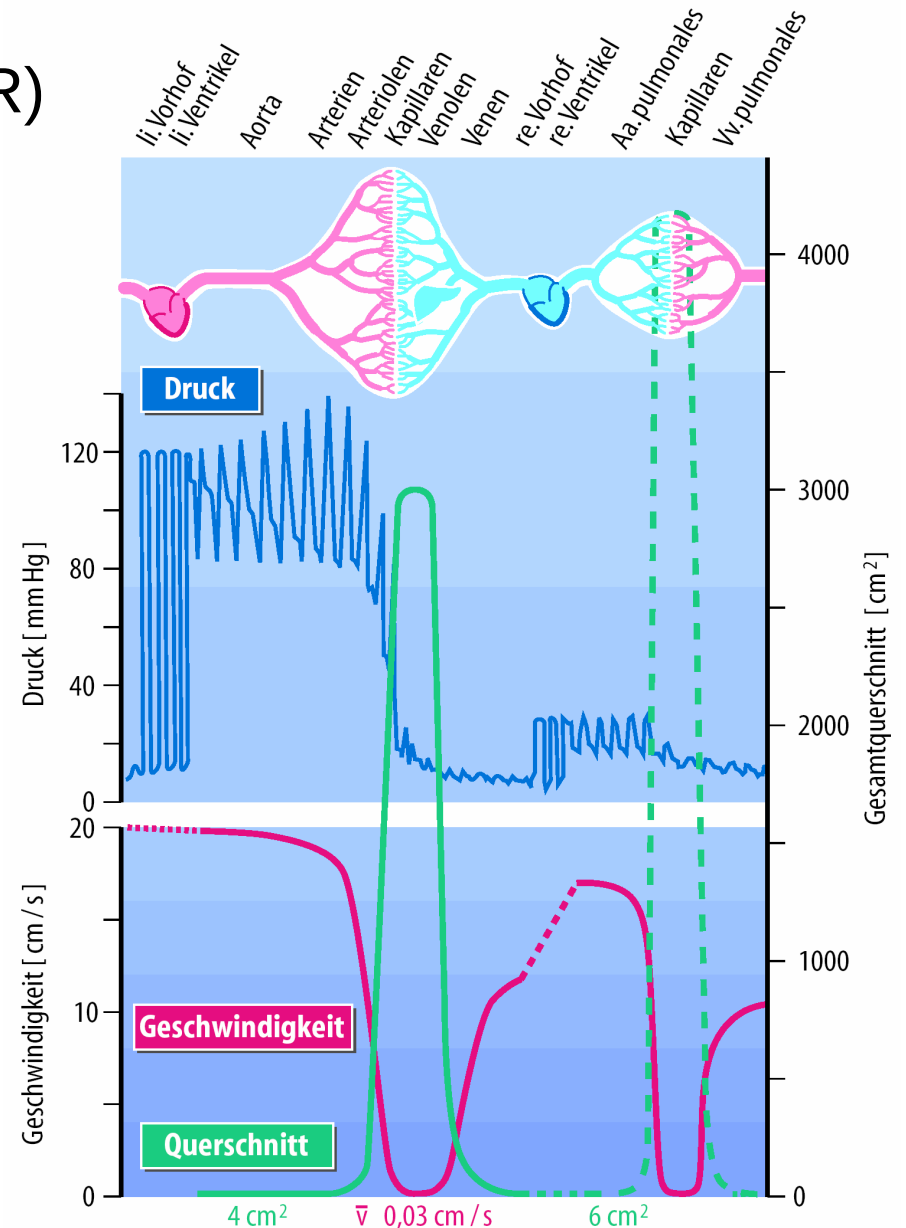
$$\text{TPR} = \frac{P_{m\text{-Aorta}} - P_{m\text{-rechter Vorhof}}}{\text{HZV}}$$

Anteile am TPR:

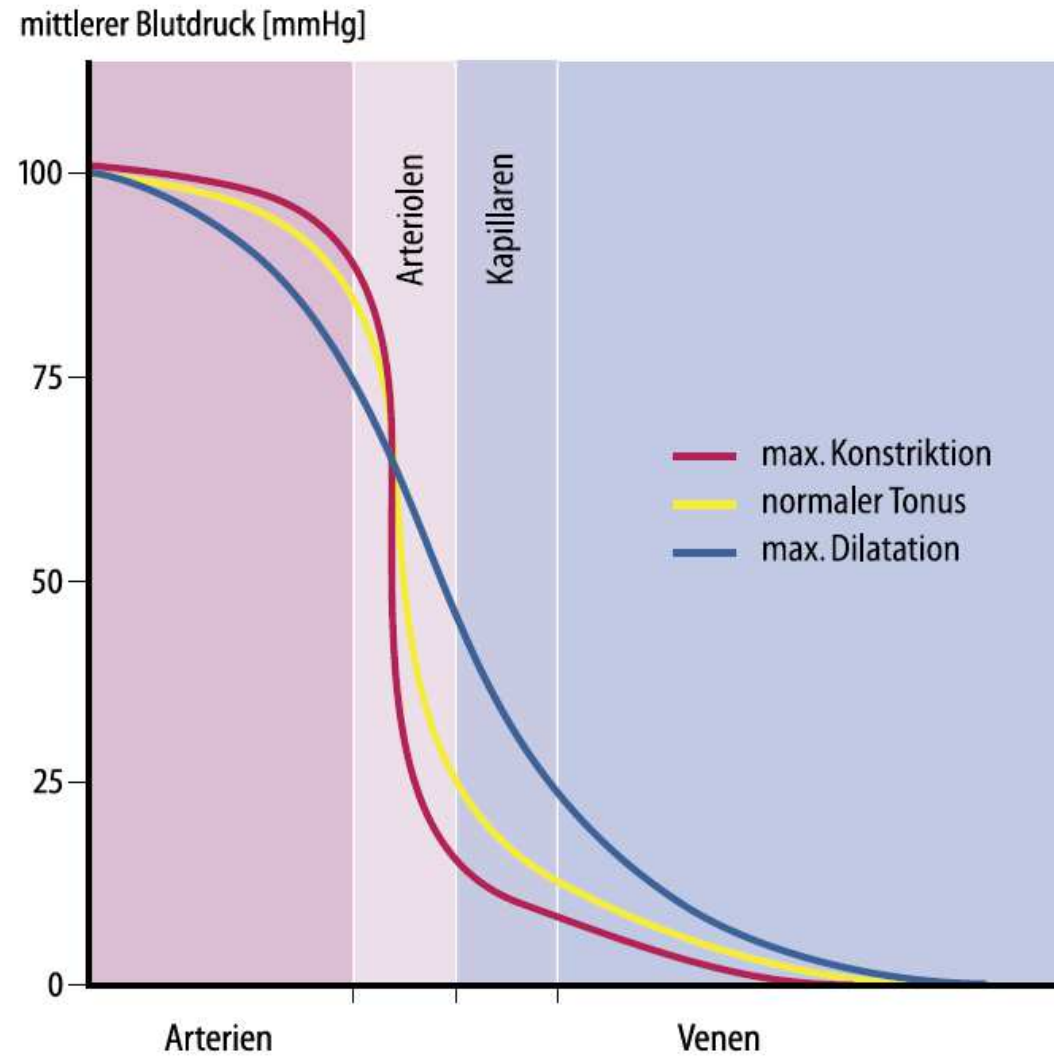
Terminale Arterien und Arteriolen 45-55%

Kapillaren 25%

Venolen 3-4%

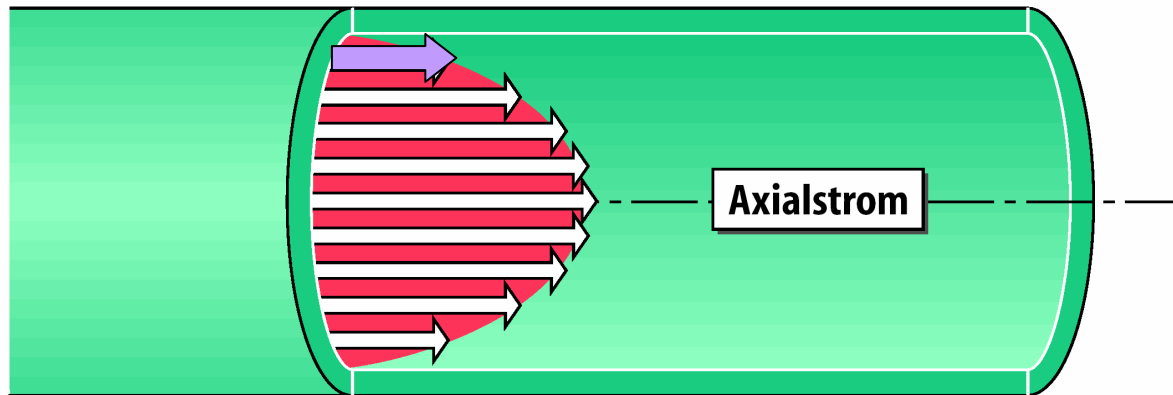


Abfall des arteriellen Blutdrucks an den Widerstandgefäßen



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Wandschubspannung τ_w



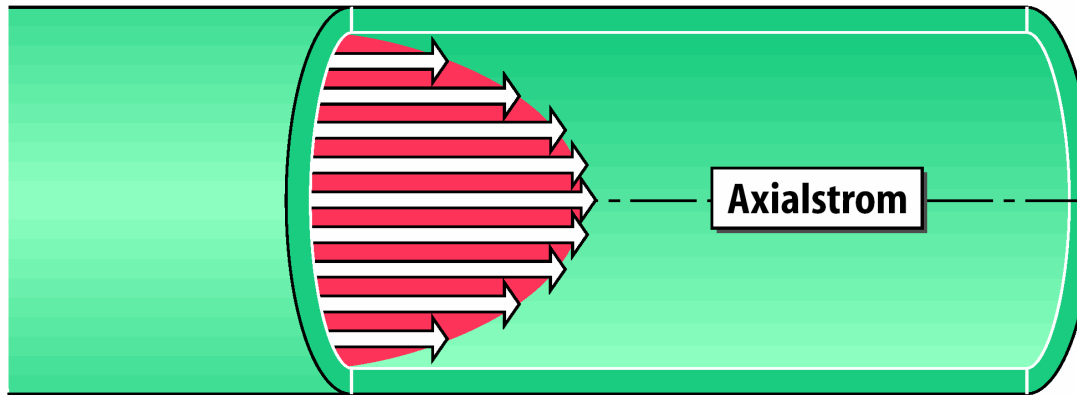
$$\tau_w = \frac{4\bar{v} \cdot \eta}{r_i}$$

mit $\bar{v}$: Strömungsgeschwindigkeit,
 η : Viskosität, r_i : Radius

Reynoldszahl RE

$$RE = 2 r_i \cdot \bar{v} \cdot \frac{\rho}{\eta}$$

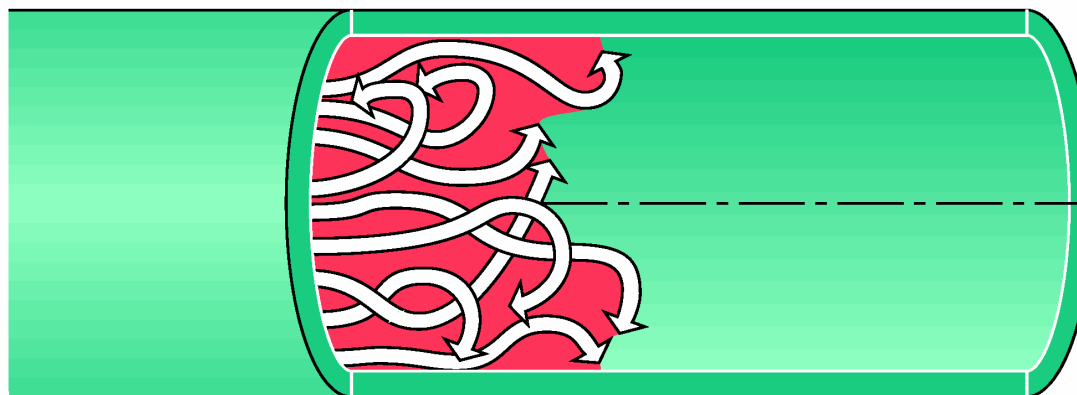
A



mit ρ (Rho) = Flüssigkeitsdichte

laminar

B

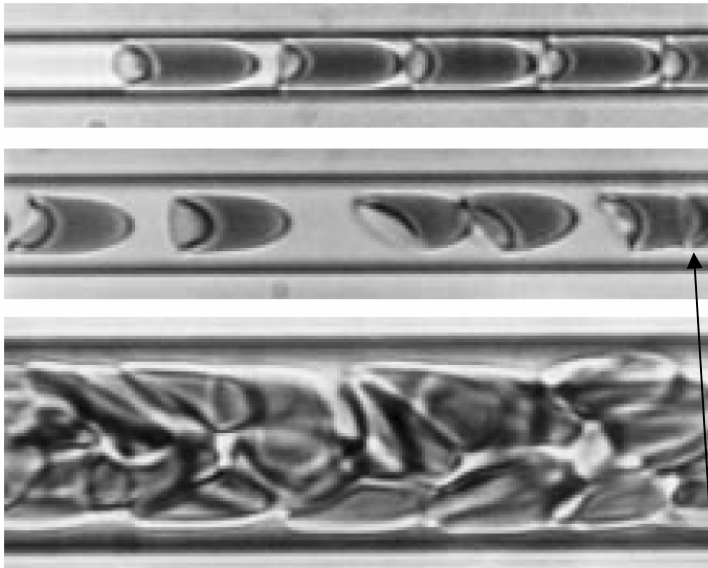


bei $RE > 2000-2200$
reißt die laminare Strömung
ab (Stenose $\bar{v} \uparrow$, Anämien $\eta \downarrow$)

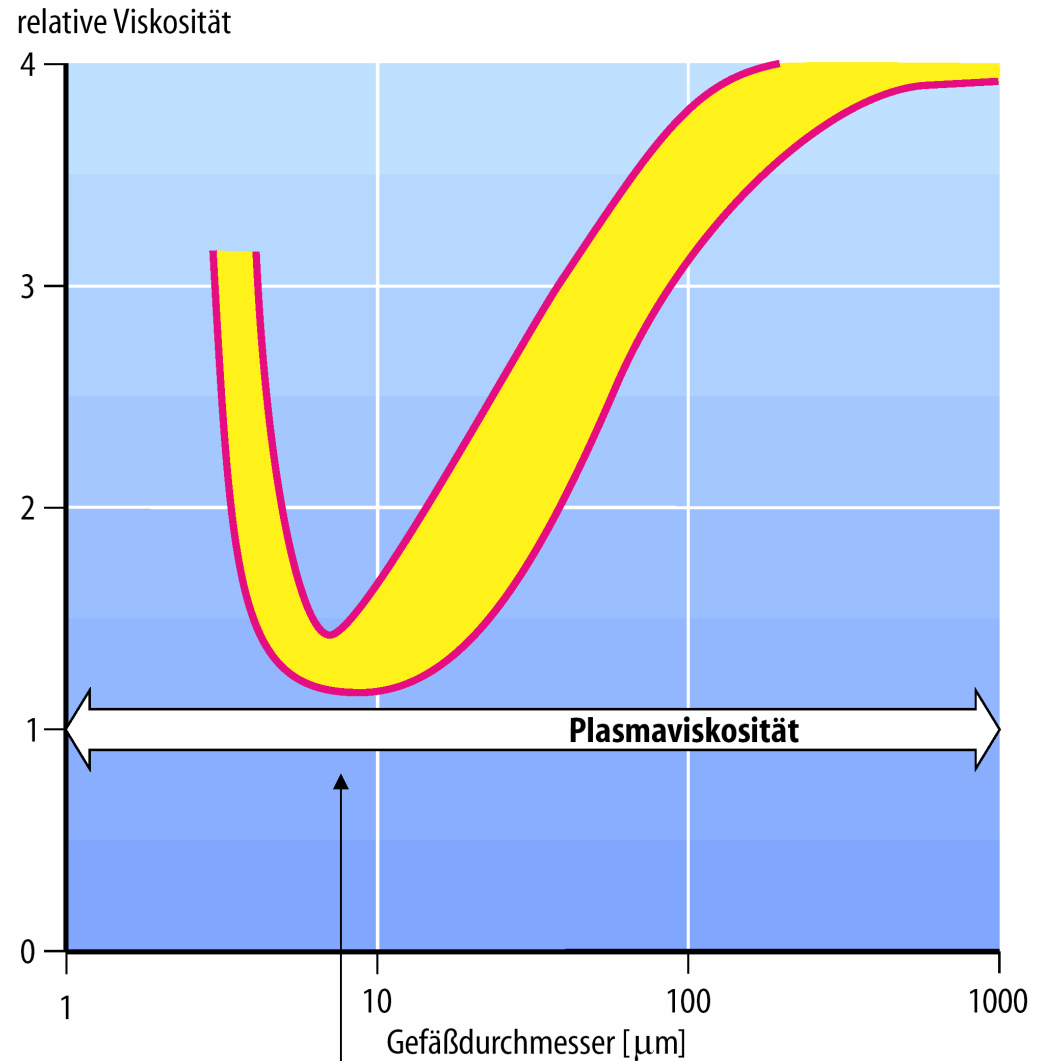
turbulent

Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 12

Scheinbare Viskosität des Blutes: Fahraeus-Lindqvist-Effekt



Verformung der Erythrozyten bei steigender Schubspannung und Aggregation der Erythrozyten (Geldrollenform) bei abnehmender Strömungsgeschwindigkeit (Vernetzung über Fibrinogen, α 2-Makroglobulin)



zellarme Randzone Axialmigration der Erythrozyten

Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 13

Druckpuls

Maximaler Druckpuls: systolischer Blutdruck P_{sys}

Minimale Druckpuls: diastolischer Blutdruck P_{dias}

Blutdruckamplitude $\Delta P = P_{\text{sys}} - P_{\text{dias}}$

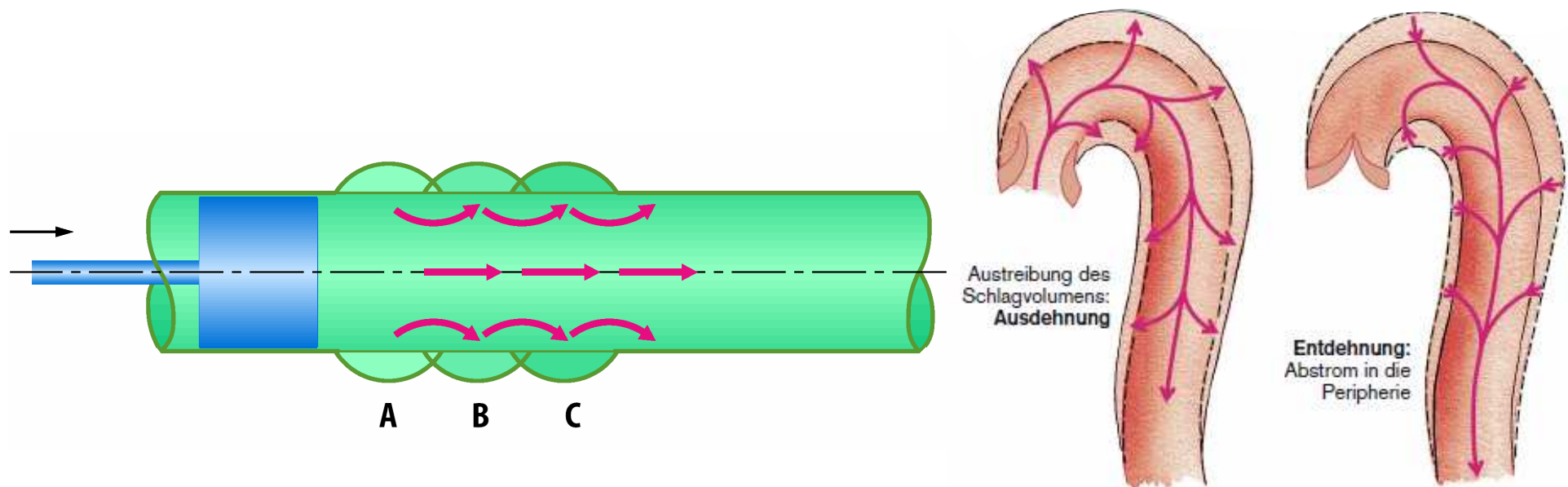
Mittlere Blutdruck $P_{\text{m}} = P_{\text{dias}} + 1/3 \Delta P$

Windkesselfunktion großer Arterien, Volumenspeicher

Volumenelastizitätskoeffizient $E' = \Delta P / \Delta V$

Volumenelastizitätsmodul κ (kappa) $= \Delta P / \Delta V \cdot V = E' \cdot V$

Verhältnis Druckänderung zu relativer Volumenänderung



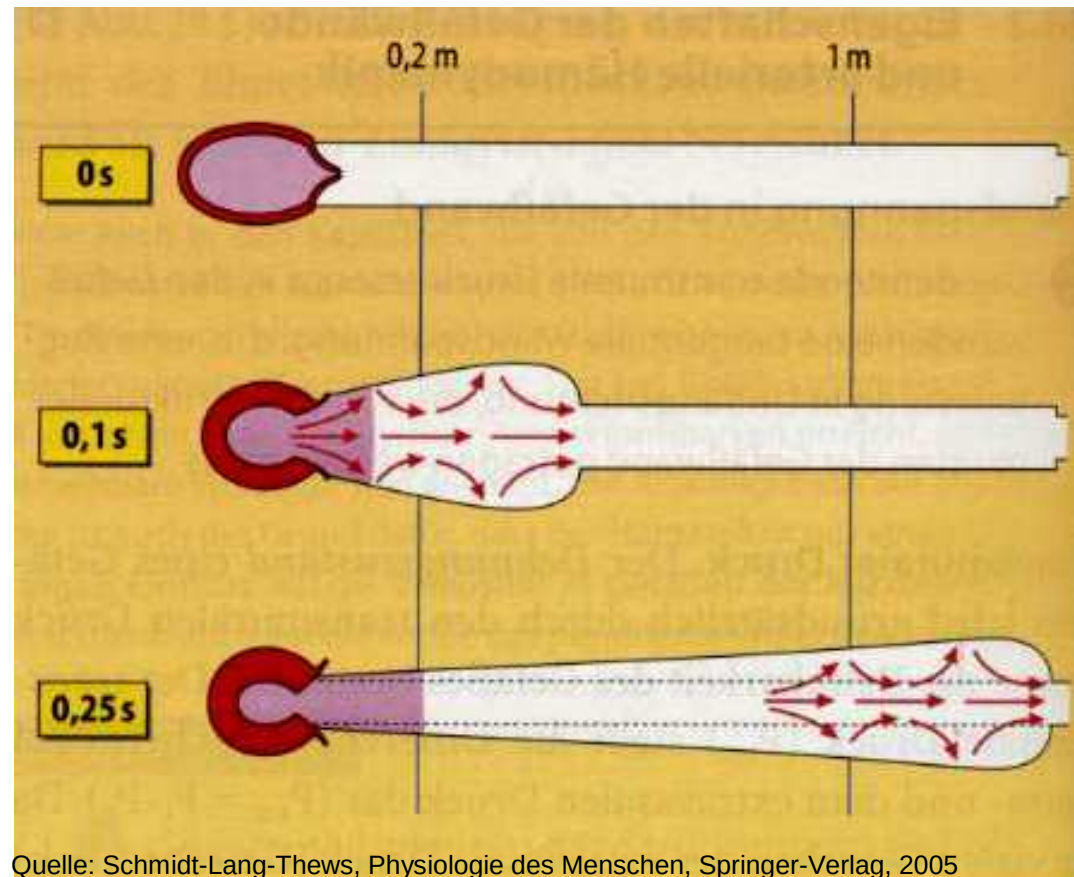
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 15

Pulswelle

$$\text{Wellengeschwindigkeit } c = \sqrt{\kappa / \rho}$$

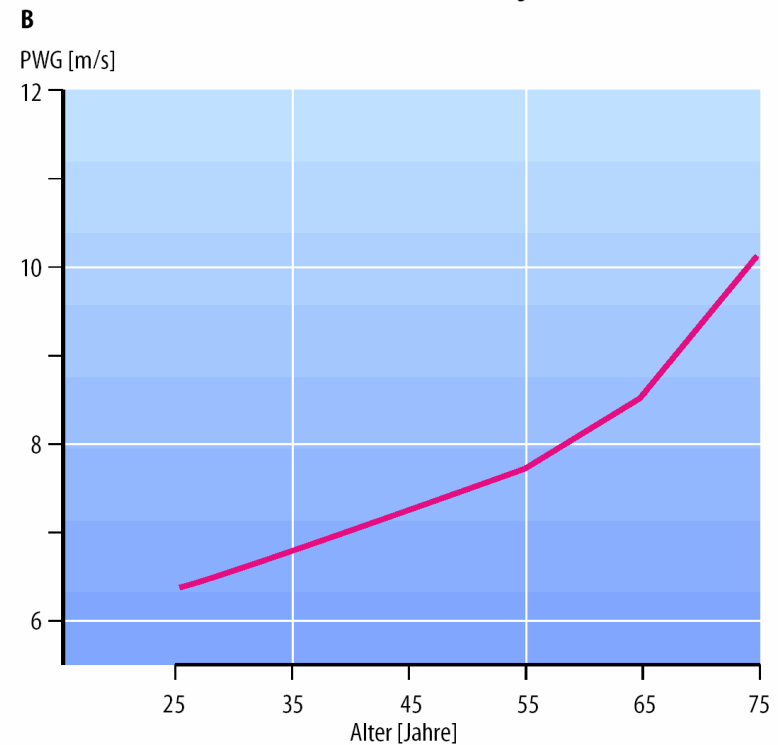
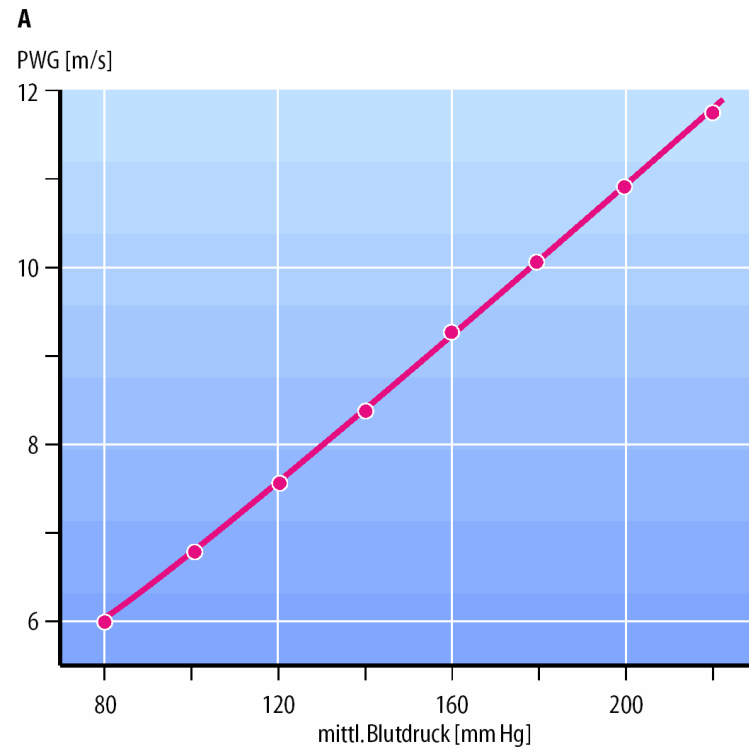
mit κ : Volumenelastizitätsmodul, ρ : Blutdichte

c in Aorta 4-6 m/s



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Die Pulswellengeschwindigkeit steigt mit mittleren arteriellen Druck und Alter



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 17

Dopplersonographie

Bestimmung des Blutflusses

Arterielle Gefäßsteifigkeitsmessung

Bestimmung der zentralen Pulswellengeschwindigkeit (PWG):

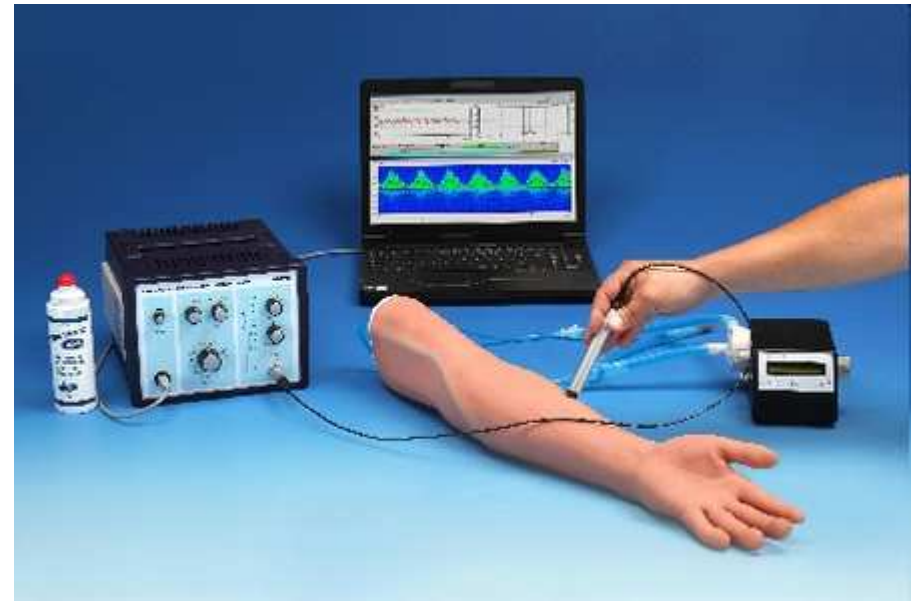
Aufzeichnung der Sphygmogramme (Pulsschreiber) von der A. carotis und A. brachialis (Oberarmarterie) mittels geeigneter Pulsaufnehmer.

Berechnung der zentralen Pulswellengeschwindigkeit aus abgeschätzter Laufstreckendifferenz und gemessener Laufzeitdifferenz.

Bestimmung der peripheren Pulswellengeschwindigkeit (PWG):

Aufzeichnung der Sphygmogramme von der A. brachialis und einer Fingerarterie.

Berechnung der peripheren Pulswellengeschwindigkeit; die Laufstreckendifferenz kann direkt am Arm abgemessen werden



http://www.youtube.com/watch?v=yuKu_6RhNOM

<http://www.youtube.com/watch?v=IDJuQVKBK44>

Welche Behauptung ist richtig ?

Die Pulswellengeschwindigkeit:

- a) ist gleichzusetzen mit der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes
- b) nimmt im Alter ab
- c) hängt nicht von der Compliance der Gefäßwand ab
- d) hängt von dem Volumenelastizitätsmodul ab
- e) nimmt mit steigendem arteriellem Mitteldruck ab

Das Hochdrucksystem des Kreislaufs:

- a) beinhaltet Arterien, Ateriolen und Venolen
- b) speichert während der Systole Blut in Aorta und großen Arterien
- c) beinhaltet > 50% des gesamten Blutes (= Kapazitätsgefäße)
- d) schließt den Lungenkreislauf mit ein
- e) hat einen geringen Anteil am totalen peripheren Widerstand