

Kreislauf II

Niederdrucksystem

Mikrozirkulation

Lokale Durchblutungsregulation

Kreislauf II

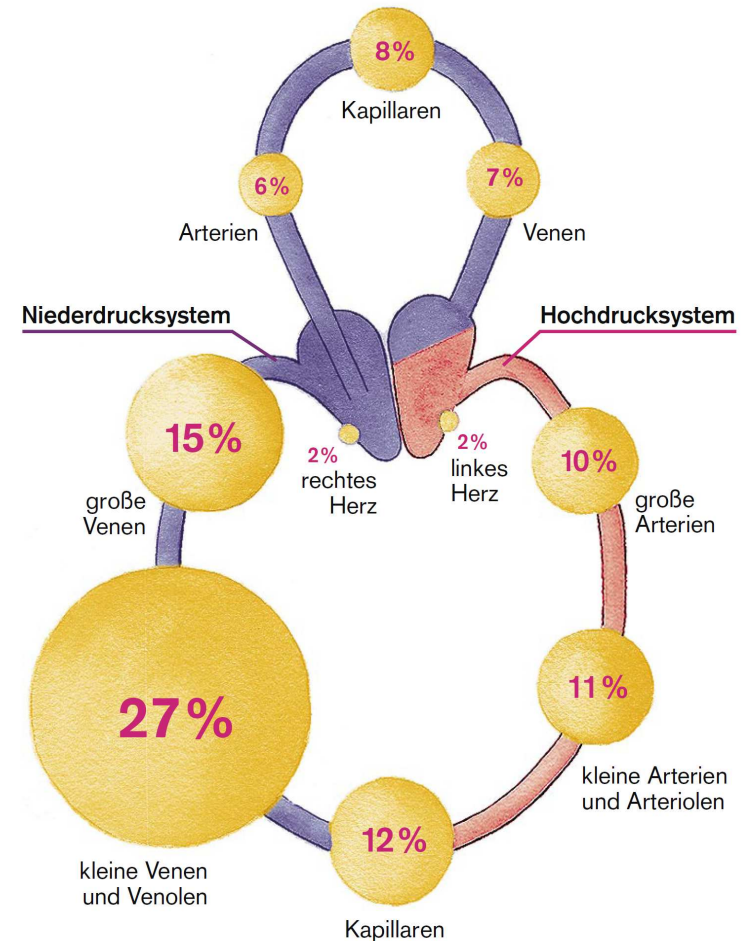
Die Studierenden sollen fähig sein:

- die Elemente des Niederdrucksystems mit den vorherrschenden Blutdrücken zu benennen und die Funktion dieser Elemente zu erläutern.
- zu erklären, über welche Mechanismen der Rückstrom des venösen Blutes zum rechten Herzen aufrecht erhalten wird.
- die Komponenten der Mikrozirkulation und Endotheltypen zu benennen und die Parameter zu erläutern, die die Filtration- und Reabsorption von gelösten Stoffen und Wasser über das Kapillarendothel beeinflussen.
- die Bildung und Drainage der Lymphflüssigkeit zu beschreiben und die dabei wirkenden Kräfte zu erklären.
- die lokale Regulation der Organdurchblutung über myogene Regelmechanismen, über Faktoren aus dem Endothel, dem Gewebe und dem Blut, sowie durch das vegetative Nervensystem zu beschreiben.

Niederdrucksystem: Definition

- Venen des Körperkreislaufs
- rechtes Herz
- Lungengefäße
- linker Vorhof
- linker Ventrikel während Diastole
- $P_m < 20 \text{ mm Hg}$

(Hochdrucksystem: linker Ventrikel während Systole und arterielles System, $P_m = 60 - 100 \text{ mm Hg}$)



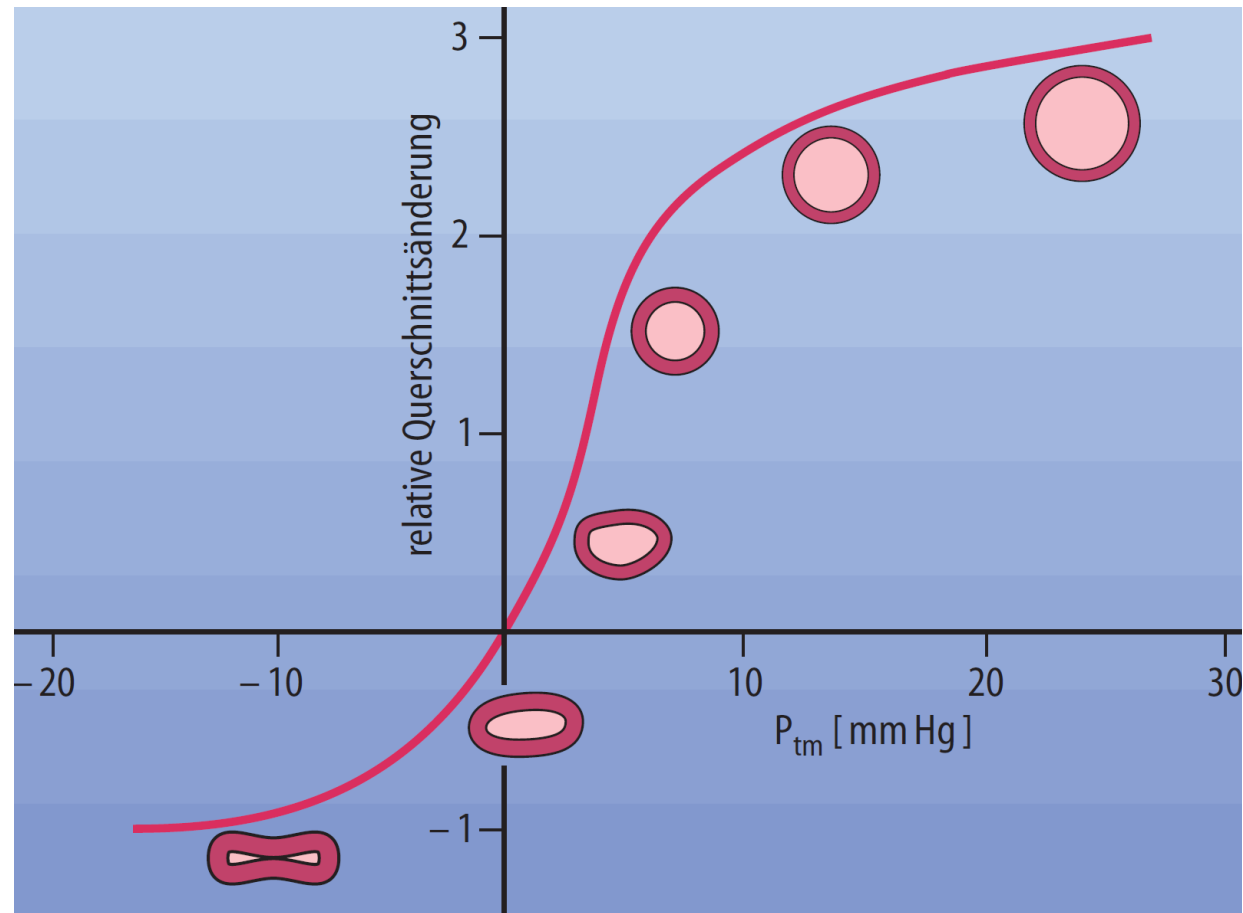
Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997
© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Niederdrucksystem: Eigenschaften

- hohe Compliance (200fach höher als im arteriellen System)
- geringer Widerstand
- Kapazitätsgefäße (Niederdrucksystem beinhaltet ~85% des Blutvolumens)
- Druck resultiert hauptsächlich aus blutfüllungsabhängiger elastischen Dehnung der Gefäße
- Drücke (im Liegen)
 - Postkapilläre Venolen 15-20 mm Hg
 - kleine Venen 12-15 mm Hg
 - große extrathorakale Venen 10-12 mm Hg
 - Druckabfall Zwerchfelldurchtritt 5-6 mm Hg
 - Rechter Vorhof 3-5 mm Hg

Dehnungsverhalten der Venen

- Stauchen der Gefäßlumina und Dehnen der Gefäßwand

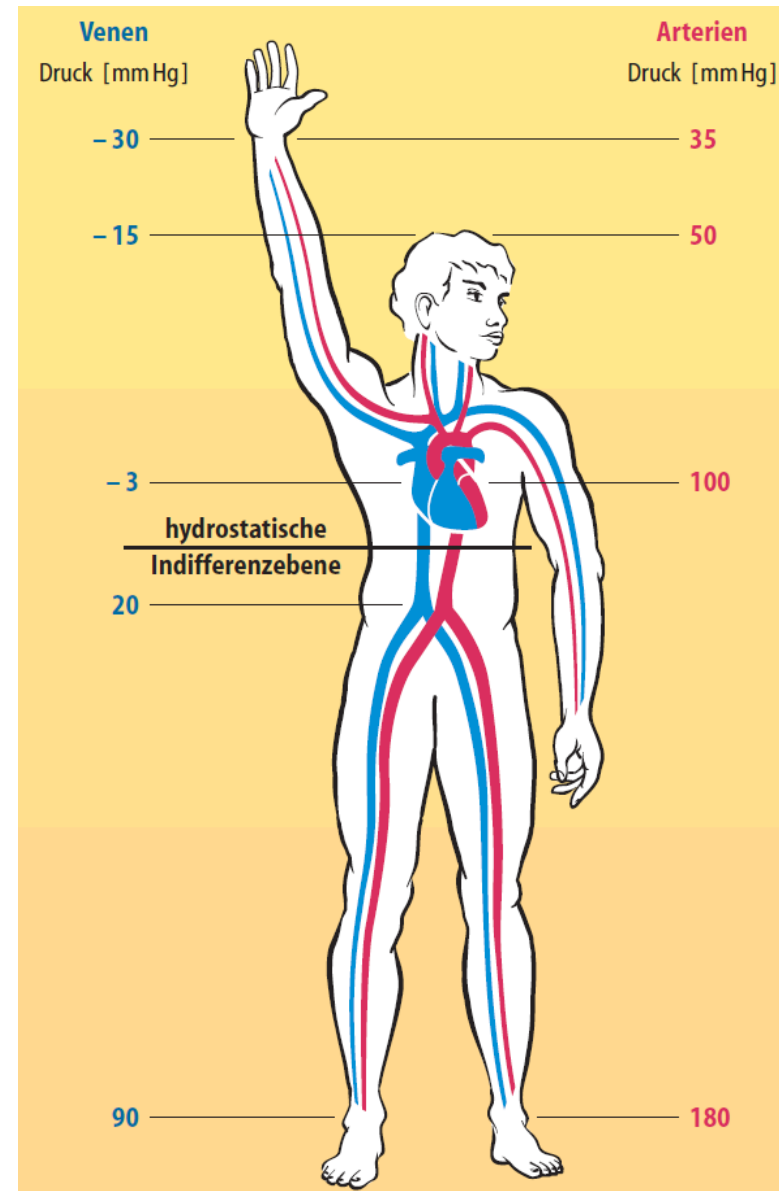


Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

- aktive Spannungsentwicklung in der glatten Gefäßmuskulatur verändert Compliance

Niederdrucksystem

Einfluß der Schwerkraft

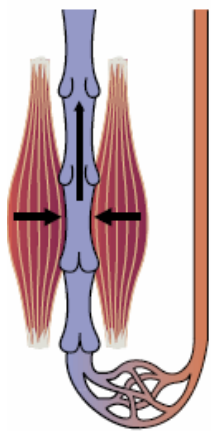


Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 7

Niederdrucksystem

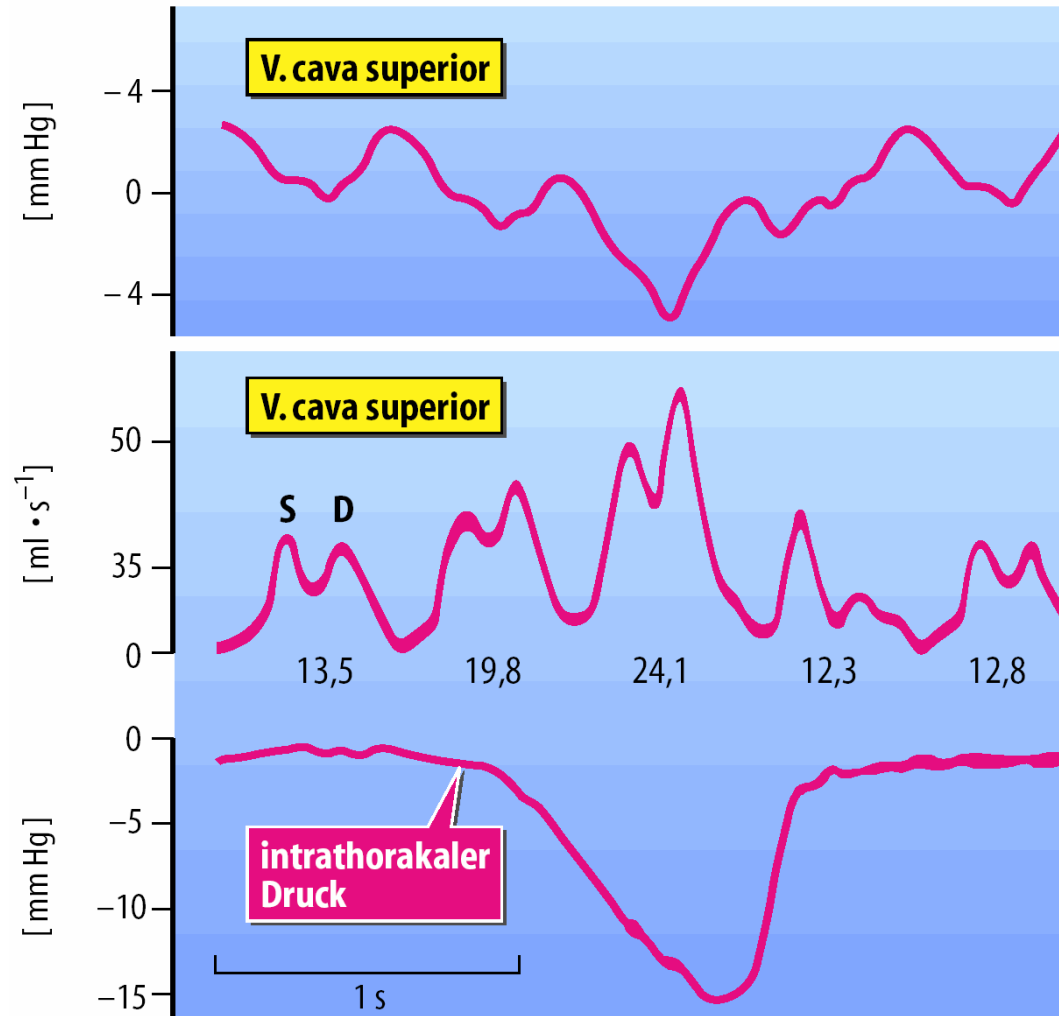
Venöser Rückstrom

- Venenklappen (Ventil)
- Muskelpumpe
- "Atmungspumpe"
Inspiration Unterdruck Thorax
Zwerchfell → Überdruck
extrathorikal
- Saugeffekt Ventilebenen



Muskelpumpe

"Atmungspumpe"



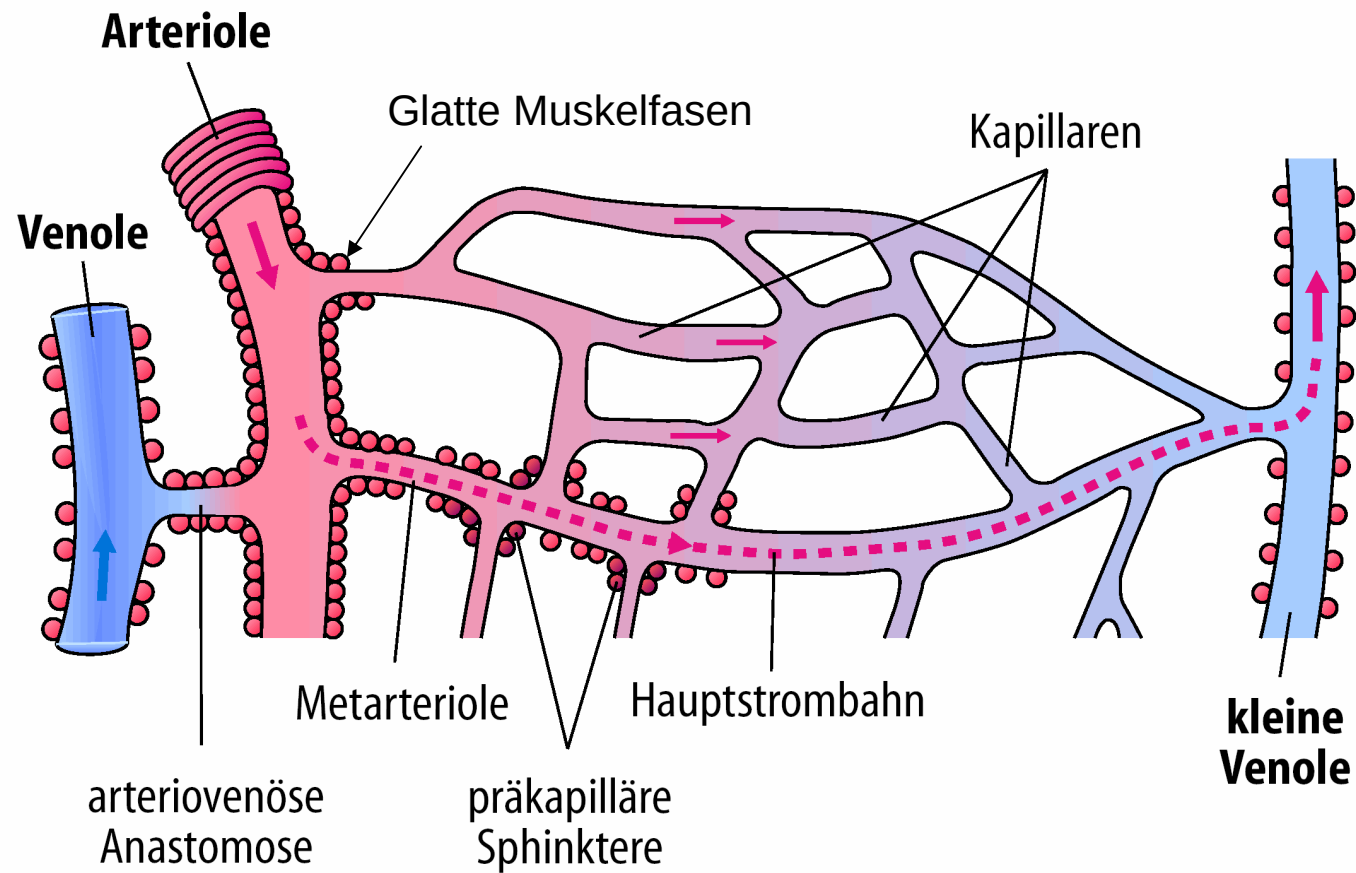
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 8

Niederdrucksystem
Mikrozirkulation
Lokale Durchblutungsregulation

<http://www.youtube.com/watch?v=Q530H1WxtOw&list=PLBBC19437B679BD18>

Komponenten der Mikrozirkulation: Übersicht

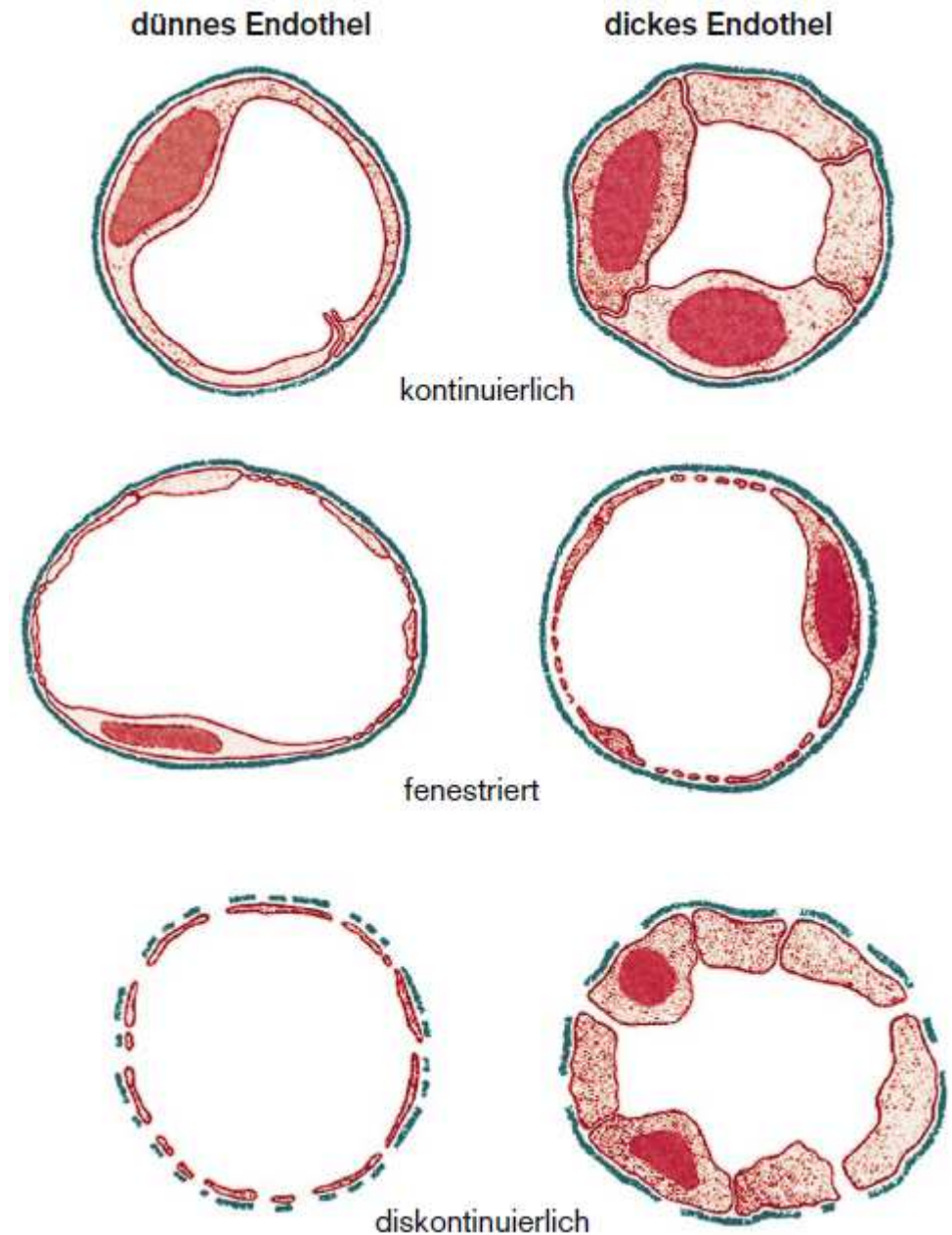
- terminale Strombahn (Kapillaren, postkapilläre Venolen)
- durchblutungssteuernde Arteriolen
- Venolen
- Drainagesystem der terminalen Lymphgefäße
- arteriovenöse Anastomosen (Kurzschlußbahnen)



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 10

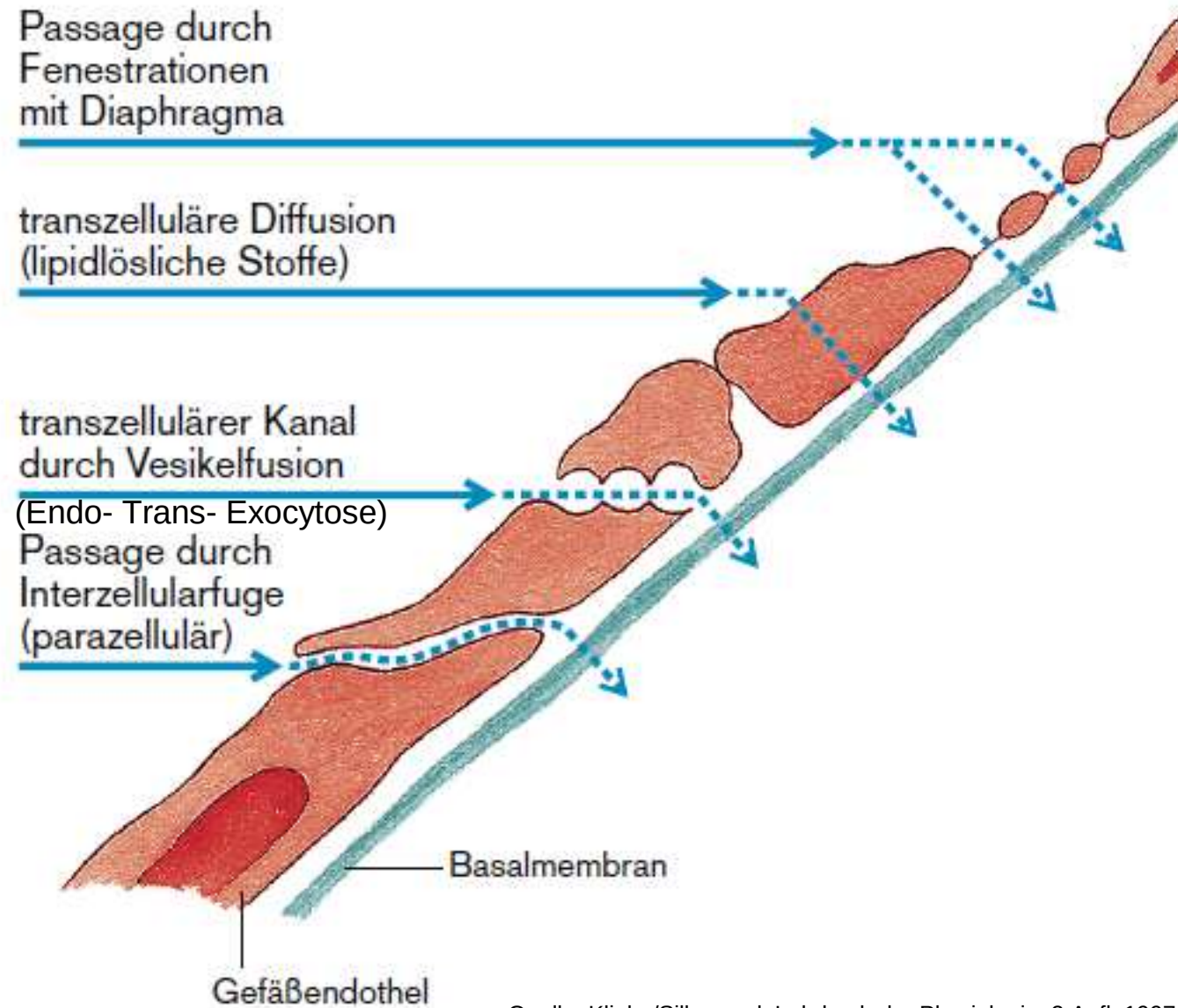
Kapillarendothel: Typen

- kontinuierlich (Herz, Skelettmuskel, Haut, Binde-, Fettgewebe, ZNS), Interzellularspalten 0.1-0.3% der Oberfläche (Hauptpassage lipidunlöslicher Moleküle)
- Blut-Hirn-Schranke : zahlreiche Tight Junctions (Poren-Ø 4-5 nm)
- fenestriert: Gewebe mit hohem Flüssigkeitsaustausch (Nierenglomeruli, exokrinen Drüsen), 100-1000fach permeabler für Wasser und kleine hydrophile Moleküle, intrazelluläre Poren (Fenestrae), teilweise von perforierten Membran (Diaphragma) bedeckt
- diskontinuierlich (Sinusoiden Leber, Milz, Knochenmark), inter- und intrazelluläre Lücken mit 0.1-1 µm Ø, Durchtritt von Proteinen



Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997
© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Kapillarendothel: Transport

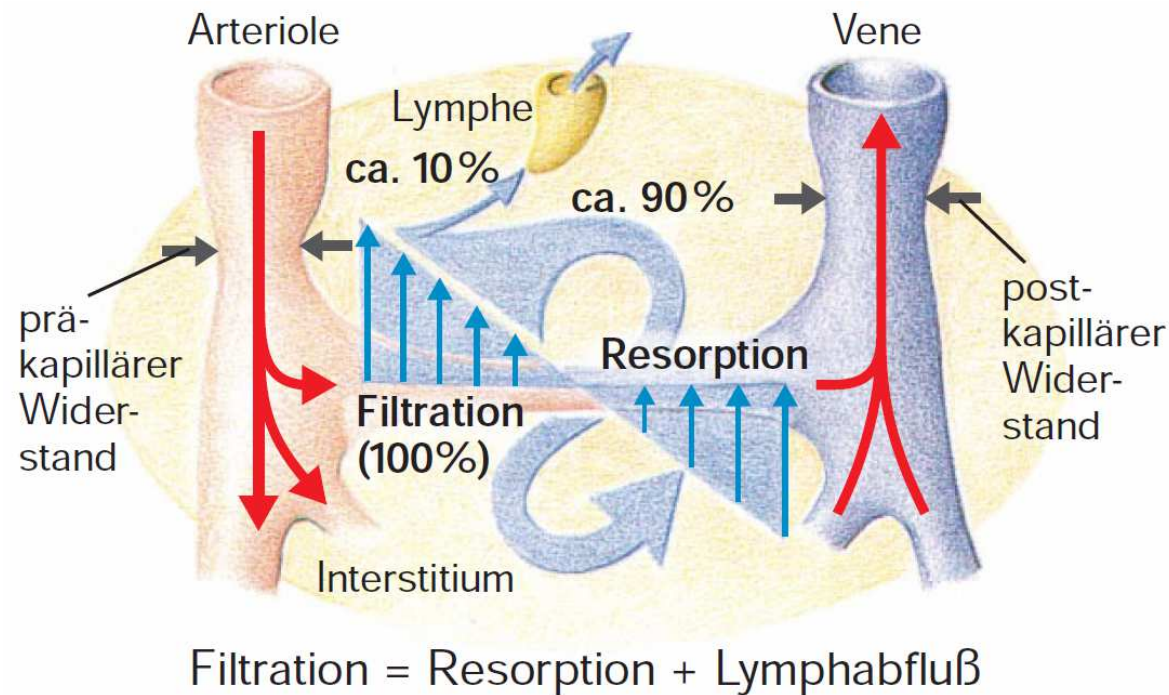


Quelle: Klinke/Silbernagl: Lehrbuch der Physiologie, 2.Aufl. 1997
© Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Kapillärer Stoffaustausch: Diffusion

- transzelluläre Diffusion (lipidlösliche Stoffe, O_2 , CO_2) über gesamte Endothelfläche von Kapillaren und postkapillären Venolen hoch, durchblutungslimitierter Austausch
- transzelluläre Diffusion von wasserlöslichen Stoffe über Poren und Interzellularspalten, diffusionslimitierter Austausch

Ultrafiltration und Reabsorption



Quelle: Silbernagl, Lang. Taschenatlas der Pathophysiologie. Georg Thieme Verlag 1998 13

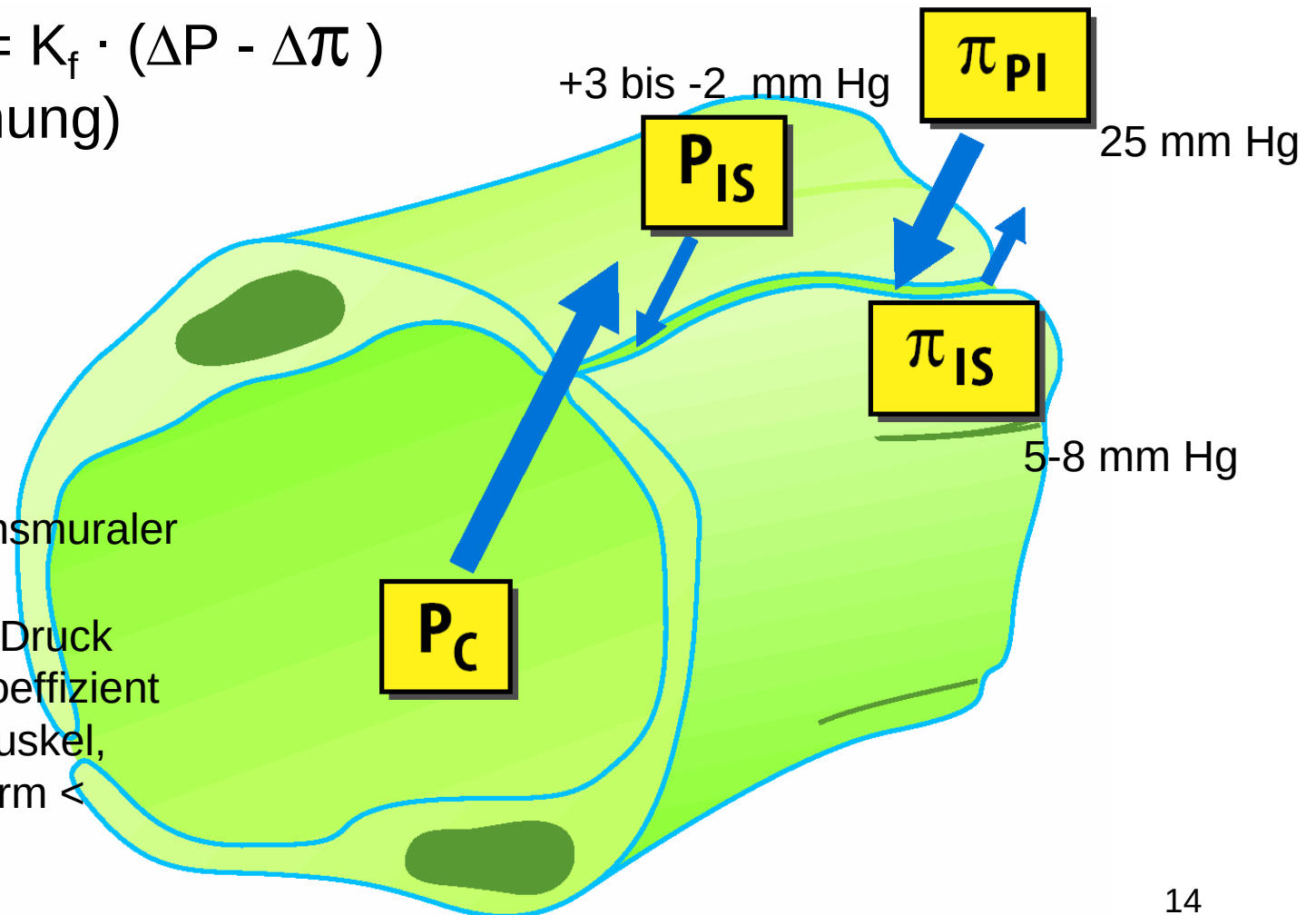
Effektiver Filtrationsdruck (P_{eff}) und filtrierte Volumen (J_v)

$$P_{\text{eff}} = \Delta P - \Delta \pi = (P_C - P_{IS}) - (\pi_{PL} - \pi_{IS})$$

$$J_v = K_f \cdot P_{\text{eff}} = K_f \cdot (\Delta P - \Delta \pi)$$

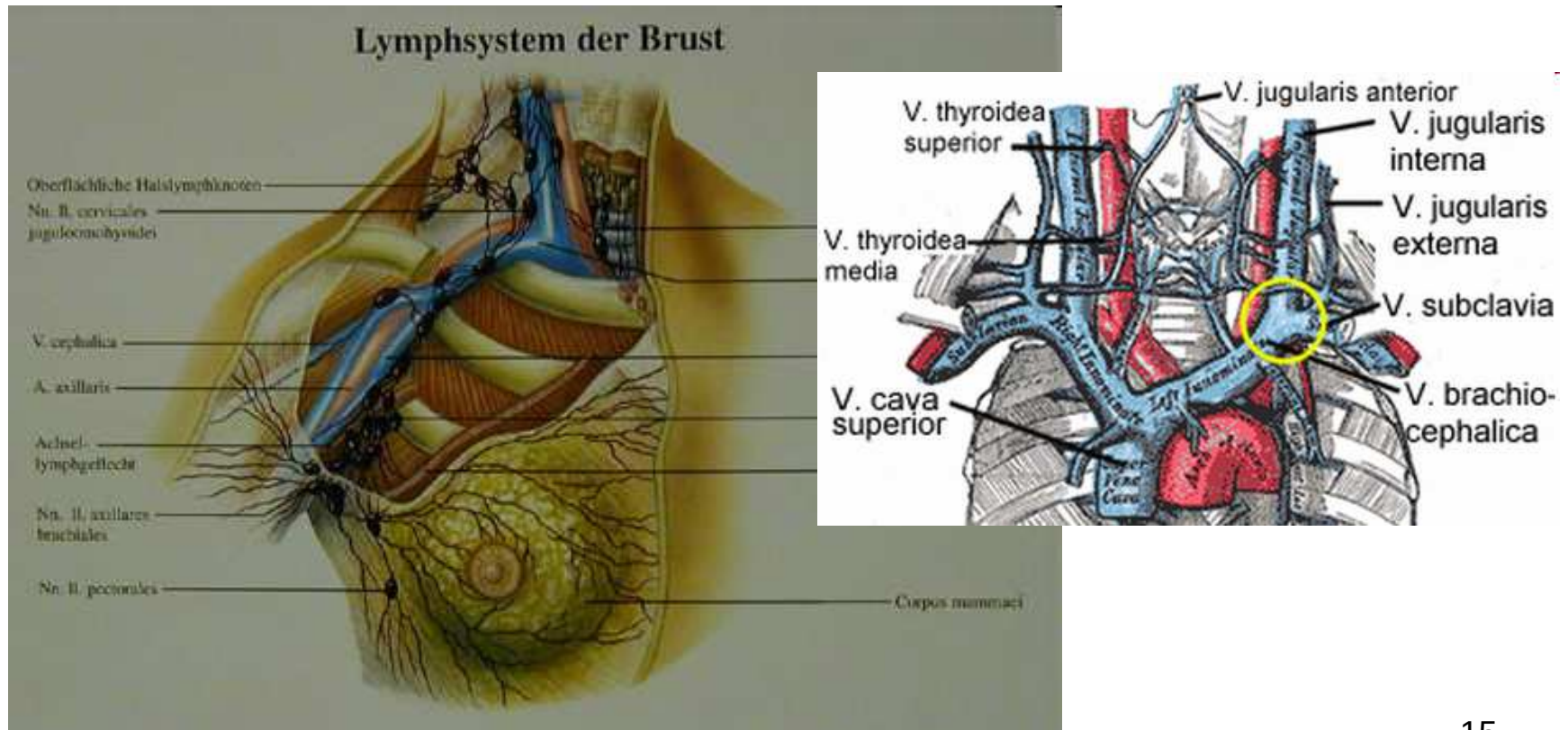
(Starlinggleichung)

mit ΔP und $\Delta \pi$: transmuraler
hydostatischer und
kolloidosmotischer Druck
und K_f : Filtrationskoeffizient
(Hirn $\ll$ Skelettmuskel,
Herz, Lunge $\ll$ Darm $<$
Niere)



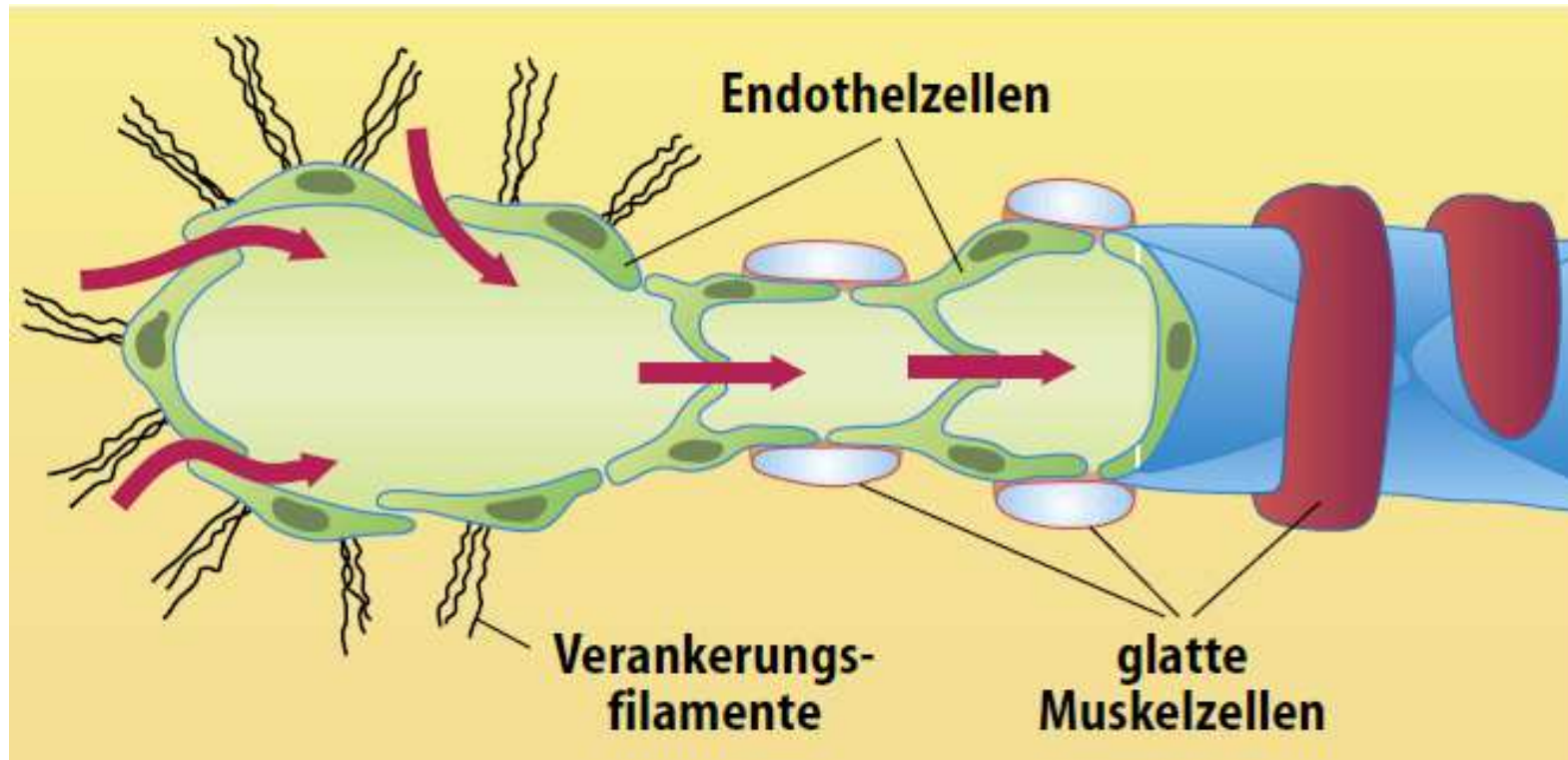
Lymphgefäßsystem

- engmaschiges Netz blind endender Lymphkapillaren, durchsetzt nahezu alle Gewebe
- Lymphkapillaren fusionieren zu Lymphgefäßen mit Lymphknoten
- Flüssigkeitsdrainage (2-3 l/d in Ruhe → 20-100fache Steigerung bei hoher Filtration)
- Rückführung von Eiweiß und Fetten (Magen-Darmtrakt) aus dem Interstitium
- Sammellymphe (3-4 % Proteingehalt) über *Ductus thoracicus* in linken Venenwinkel
(Zusammenfluß von *Vena jugularis interna* mit *Vena subclavia*)



Lymphdrainage

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



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

- Aufnahme über Spalten zwischen Lymphendothelzellen
- rhythmische Kontraktion glatter Ringmuskulatur (10-15/min)
- Lymphklappen (ähnlich Venenklappen)
- Muskelpumpe (Muskelarbeit erhöht Lymphstromstärke bis zu 15-fach)
- Lymphabtransport erniedrigt interstitiellen hydrostatischen Druck (Sogwirkung)

Ödeme (pathologische Flüssigkeitsansammlung Interstitium)

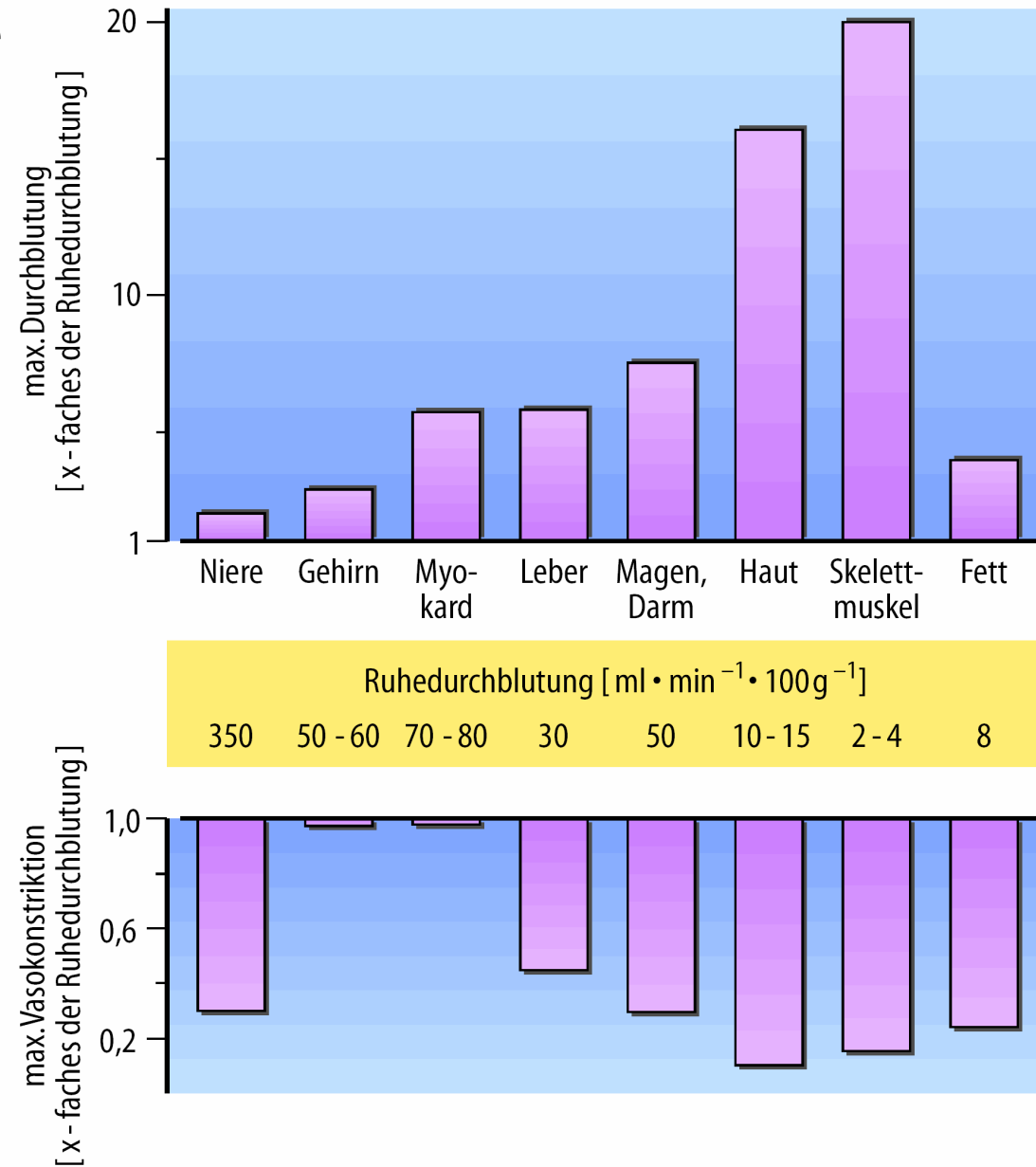
- Erhöhung des kapillaren Filtrationsdruck (venöser Druck↑ bei Herzinsuffizienz, kardiale Ödem; Auseinanderweichen der Venenklappen, Stehen Museum)
- Erniedrigung des kolloidosmotischen Drucks (ernährungsbedingter Eiweißmangel, Hungerödem, renale Eiweißausscheidung)
- Gesteigerte Durchlässigkeit der Kapillarwand (akute Entzündung, anaphylaktischer Schock)
- Störung Lymphabfluss (OP, Strahlentherapie) Elephantiasis)

Niederdrucksystem

Mikrozirkulation

Lokale Durchblutungsregulation

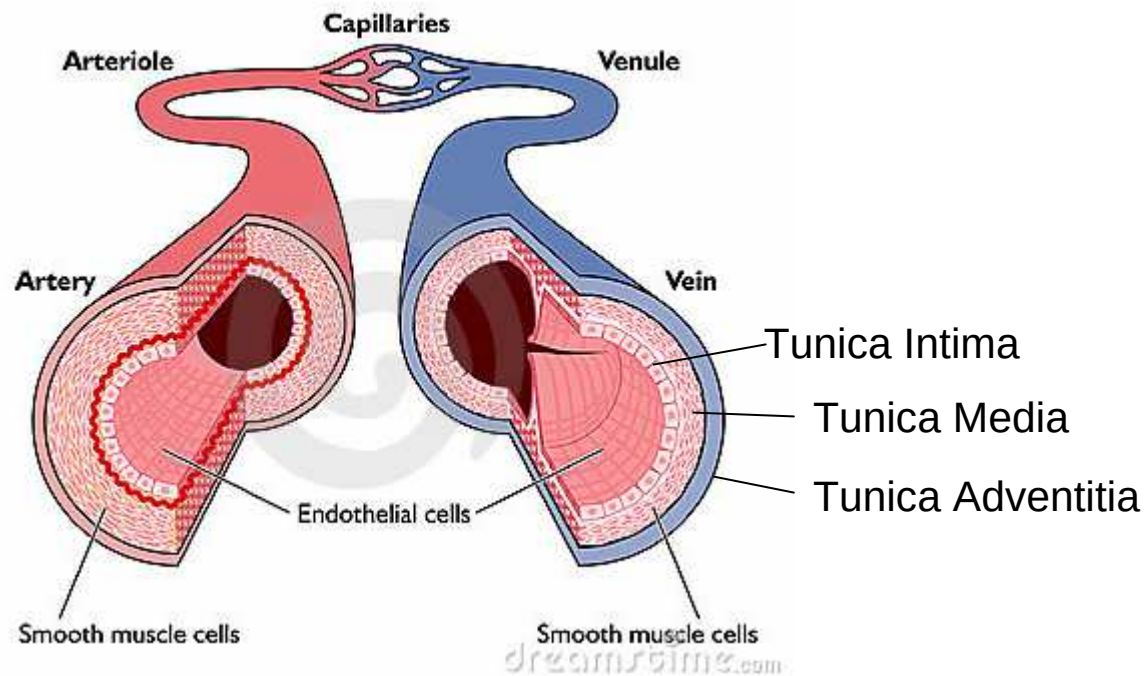
Durchblutungsreserve



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

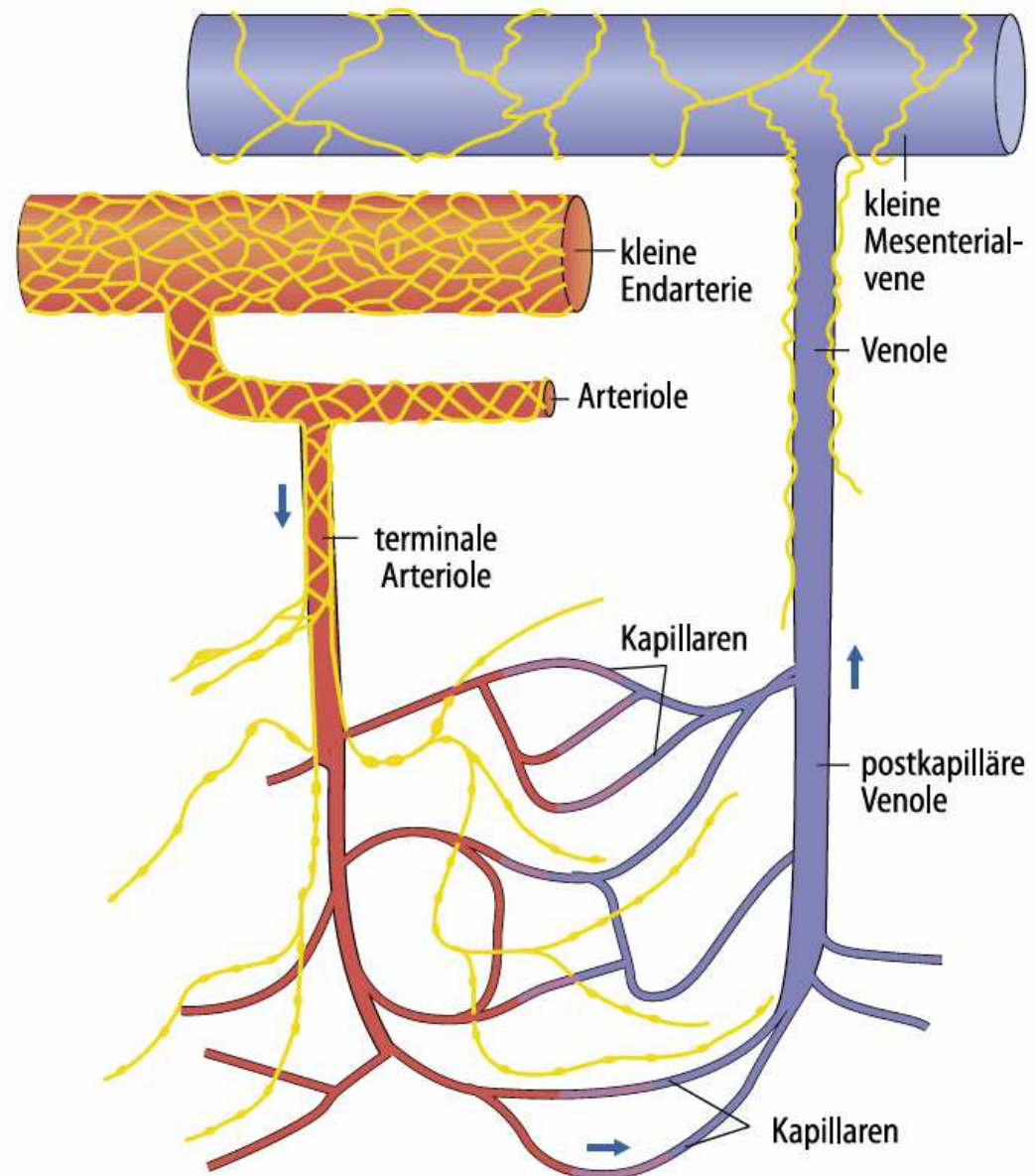
Gefäßtonus

- von der glatten Muskulatur isometrisch entwickelte Spannung eines Gefäßsegments
- basaler Tonus (sympathisch adrenerg)



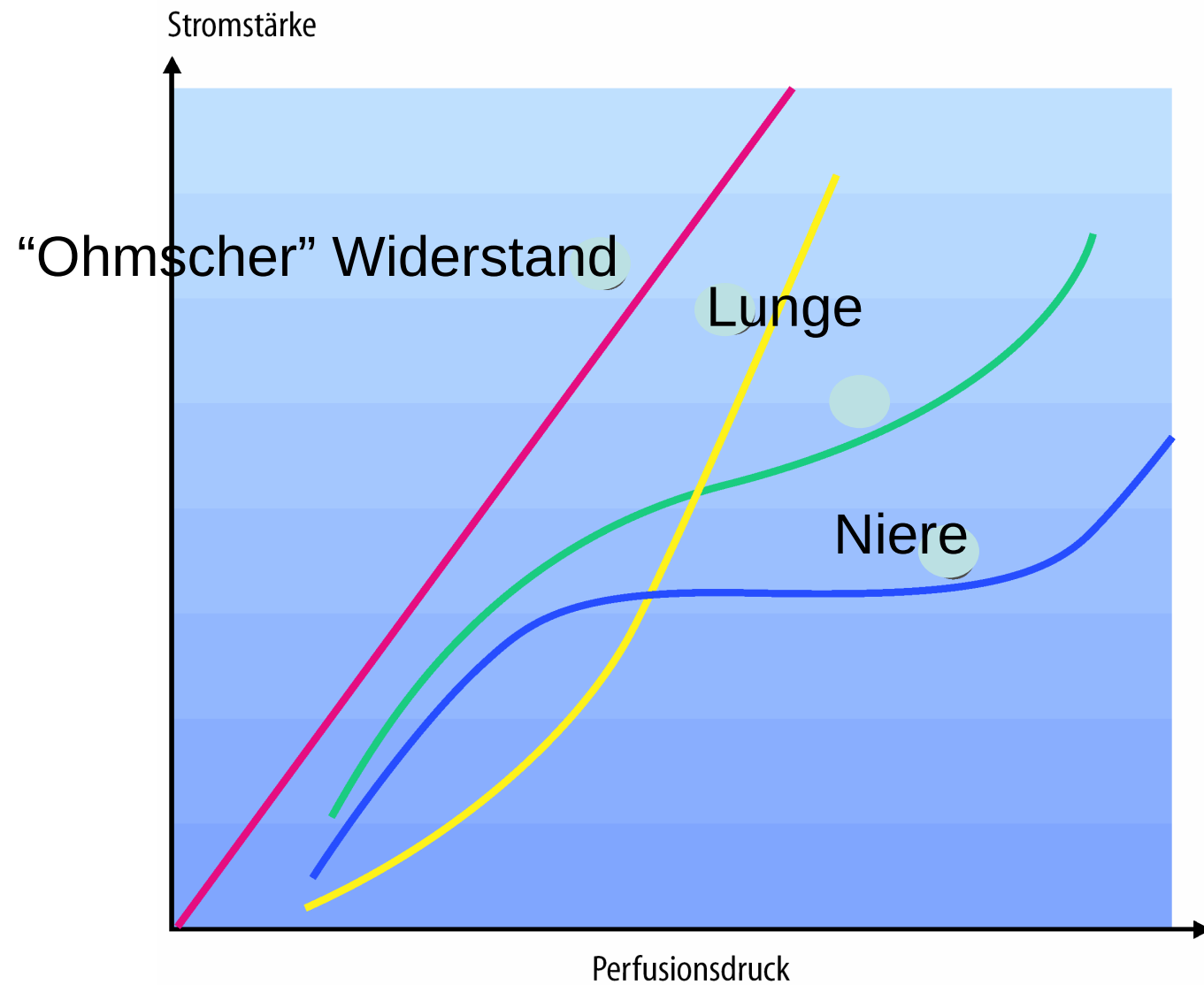
Varikositäten

Verteilung und
Innervationsdichte des
sympathisch-
adrenergen
Nervengeflechts



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

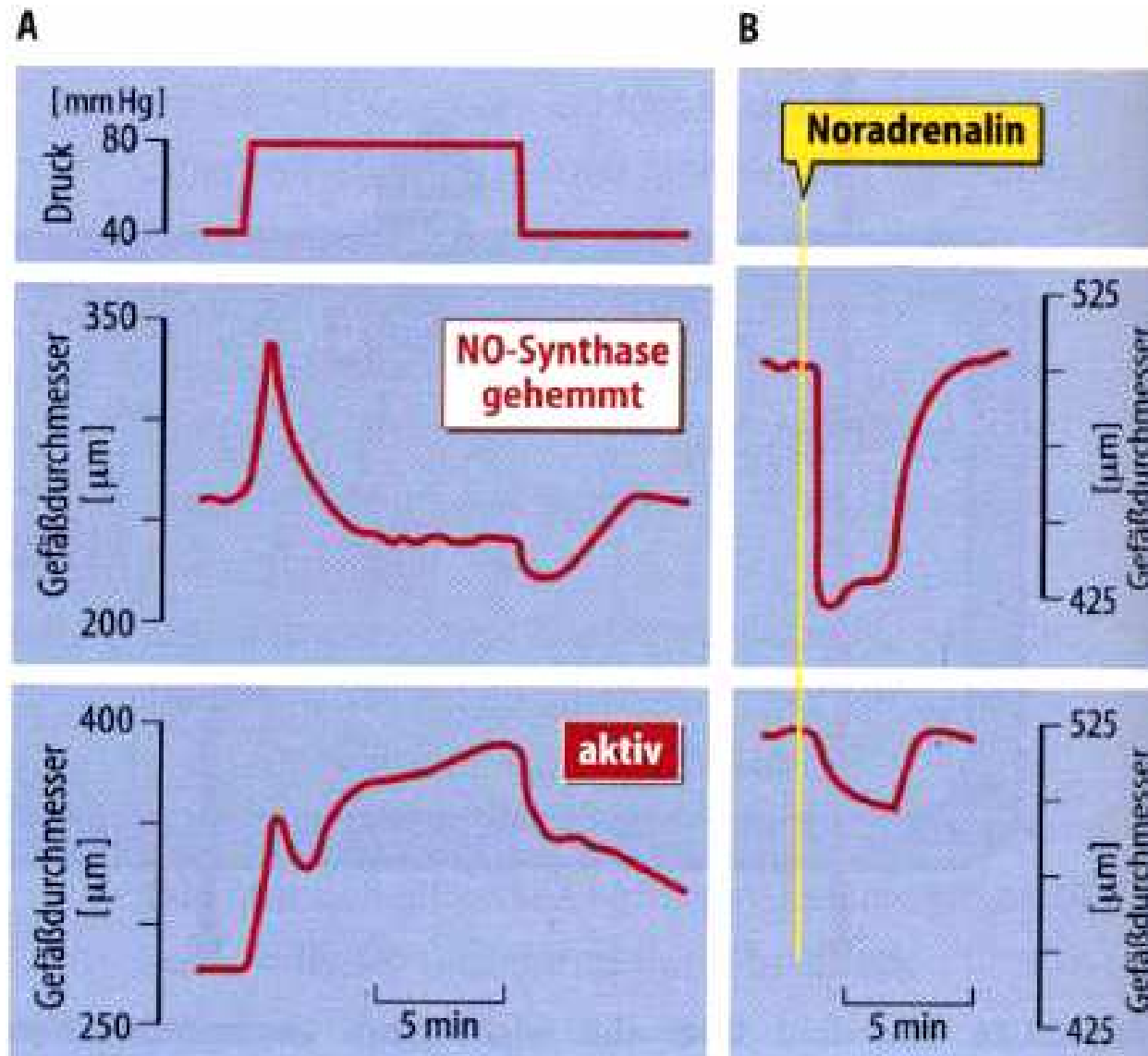
Autoregulation



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

Durchblutungsregulation

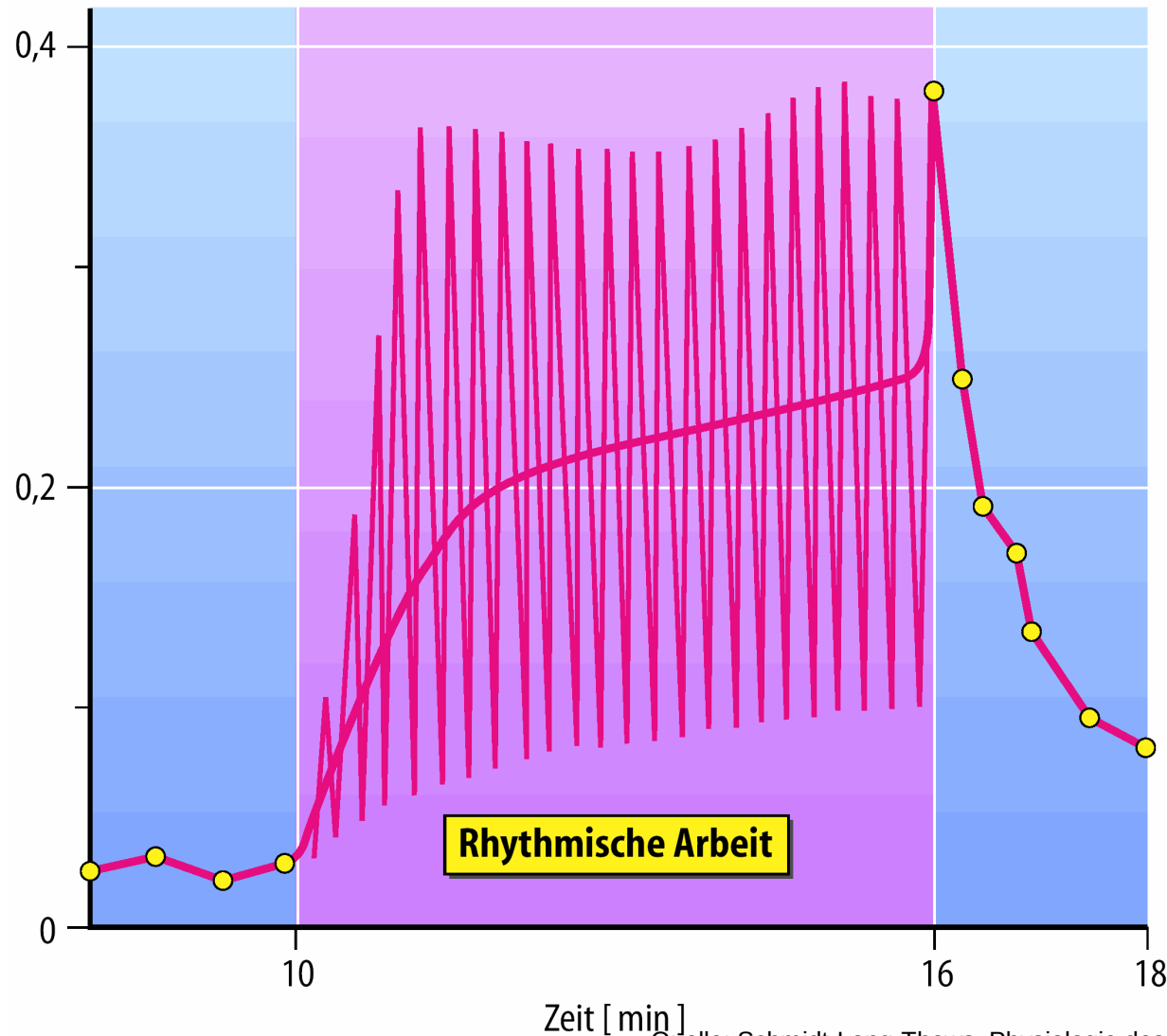
“Endotheliale” Autoregulation: NO-Synthese



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 23

Autoregulation durch Gewebemetabolite und Autokaide

Muskeldurchblutung [$\text{ml} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]

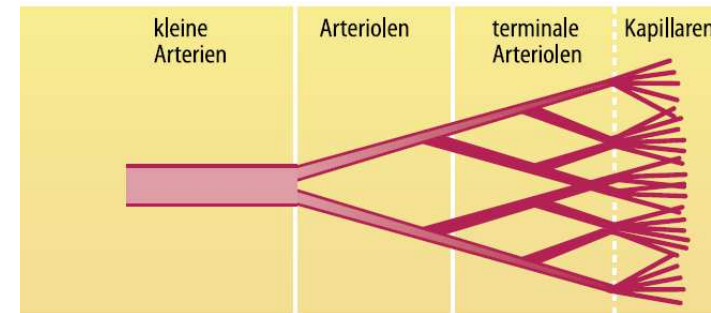


$\text{H}^+ \uparrow$,
 $\text{CO}_2 \uparrow$,
 $\text{O}_2 \downarrow$,
 $\text{K}^+ \uparrow$,
Osmolarität $\uparrow$,
Autokaide $\uparrow$
(Histamin,
Serotonin,
Bradykinin,
Thromboxan,
 PGE_2 , ATP, ...)

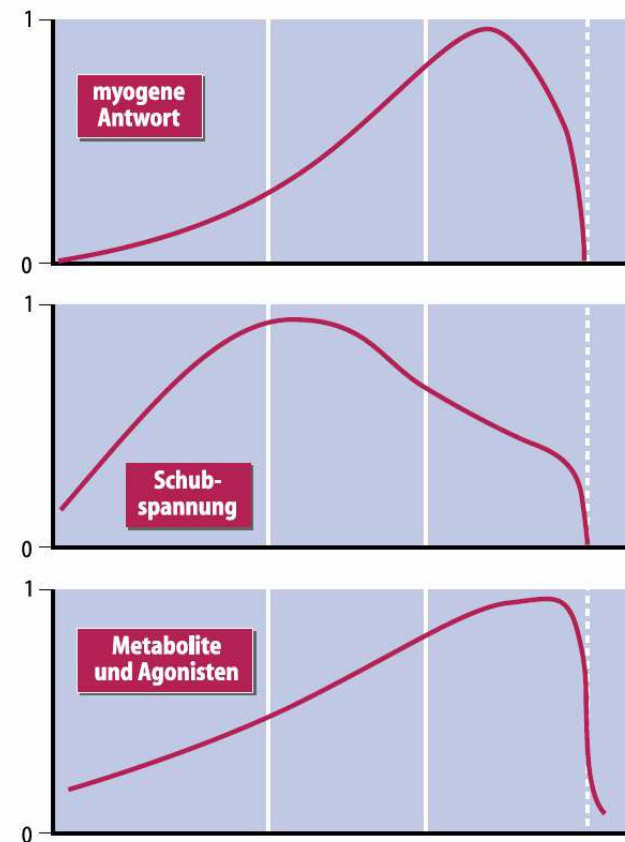
Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005

Durchblutungsregulation

Zusammenspiel von endothelialer, myogener und metaboler Autoregulation der lokalen Durchblutung

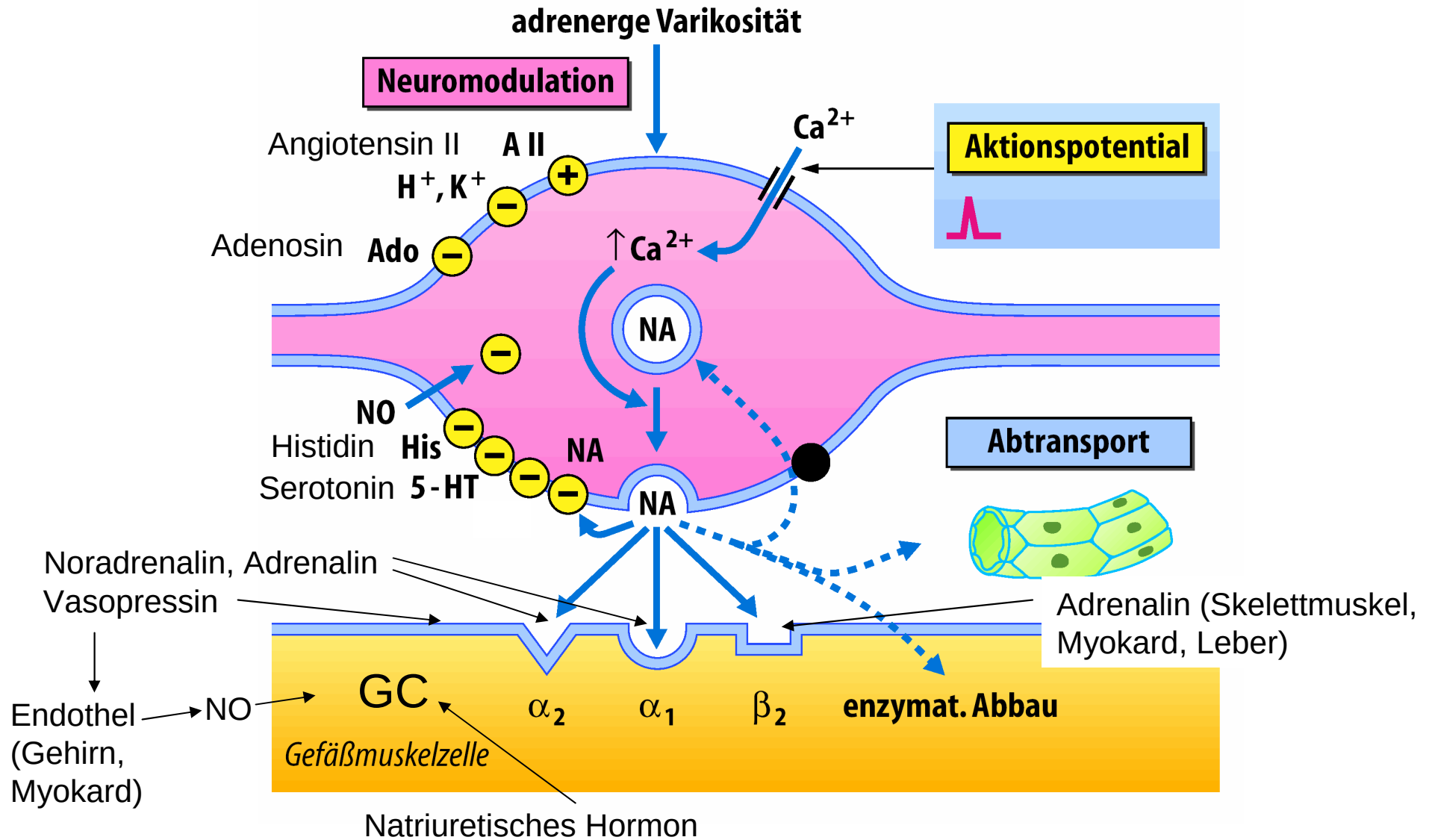


Relative Empfindlichkeit



Quelle: Schmidt-Lang-Thews, Physiologie des Menschen, Springer-Verlag, 2005 25

Modulation des Gefäßtonus durch zirkulierende Hormone



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

Durchblutungsregulation

Welche Behauptung ist falsch ?

Die lokale Durchblutung eines Organs wird in der Regel gesteuert durch :

- a) Parasympathischen Gefäßtonus
- b) Metabolite und Autokaide
- c) myogene Autoregulation
- d) Wandschubspannung
- e) O₂-Bedarf des Organs

Ödeme können entstehen durch:

- a) Erhöhung der Plasma-Eiweißkonzentration (Hungerödeme)
- b) Erhöhung des intravenösen Drucks (langes Stehen im Museum)
- c) Erhöhung der Endothel-Durchlässigkeit
- d) Verlegung der Lymphabflüsse durch Operationen
- e) Infektionen (Elephantiasis)

Das Niederdrucksystem:

- a) arbeitet mit mittleren Drücken < 20 mm Hg
- b) beinhaltet den Lungenkreislauf
- c) speichert einen Großteiles des Blutes
- d) hat eine hohe Gefäßwandcompliance
- e) verwendet Gefäße ohne glatte Gefäßmuskelzellen