

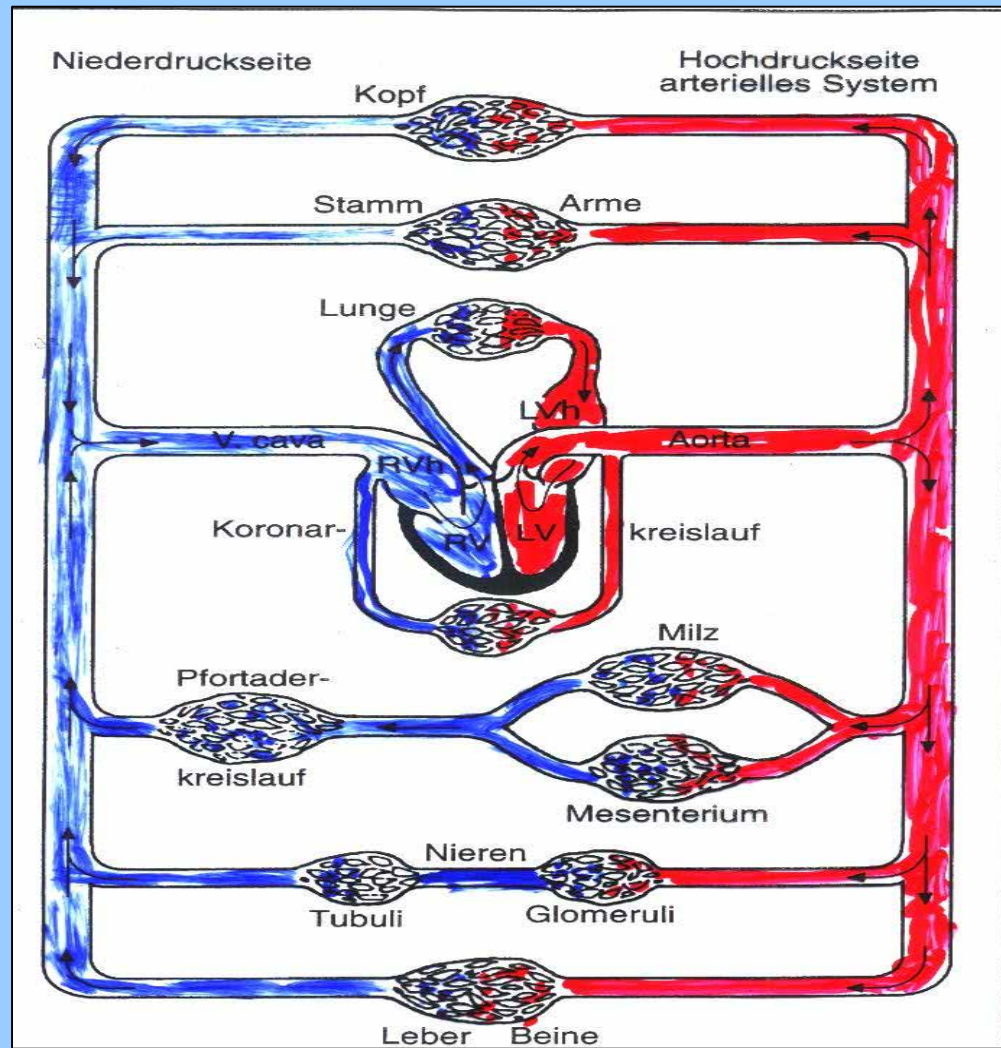
Herz-Kreislauf- System

Andreas Schmid

Medizinische Universitätsklinik Freiburg

Abt. Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

Herz-Kreislauf-System – Funktion

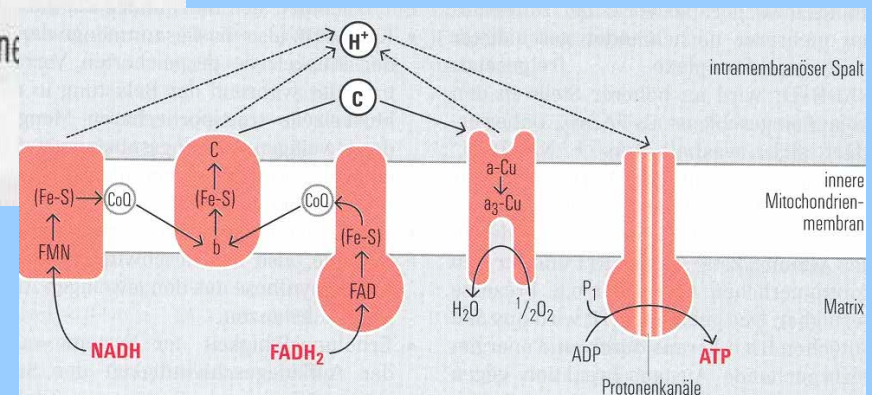
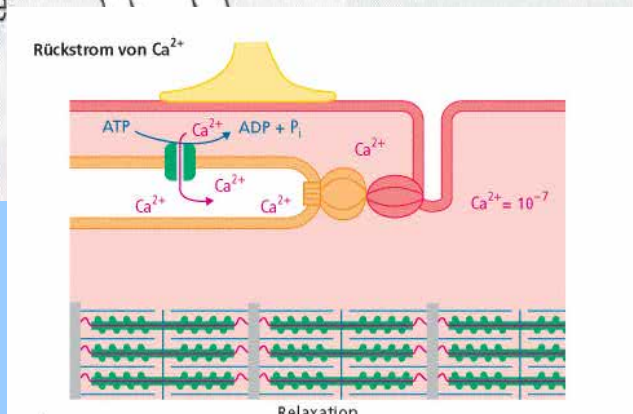
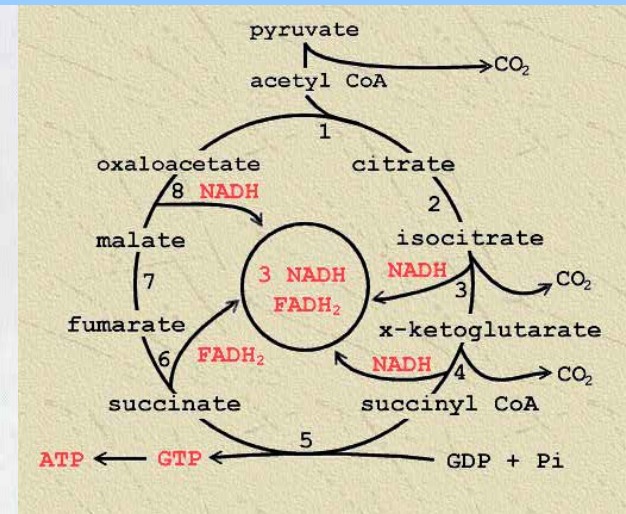
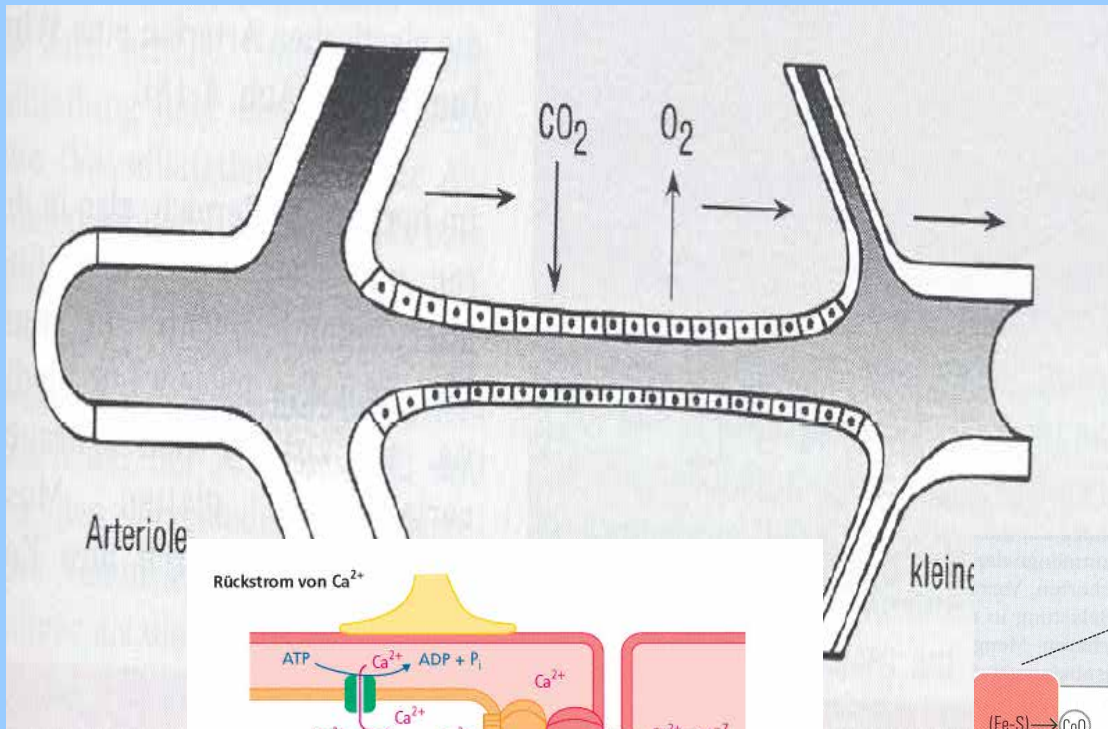


Venen

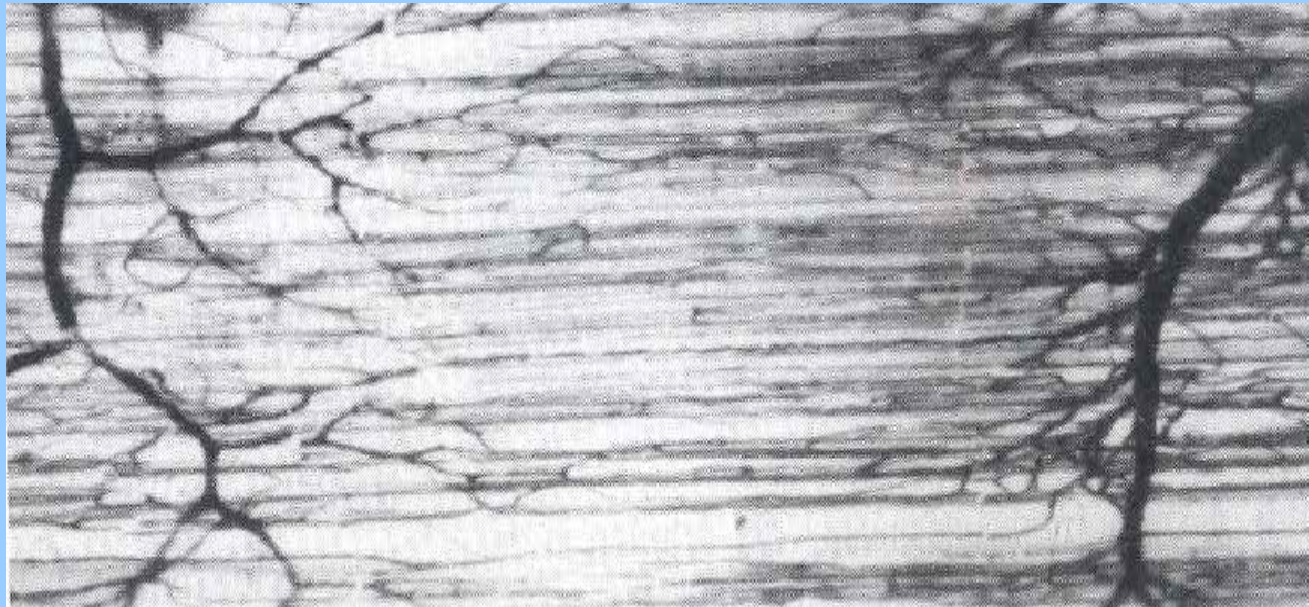
Arterien

Herz-Kreislauf-System – Aufgaben im Sport

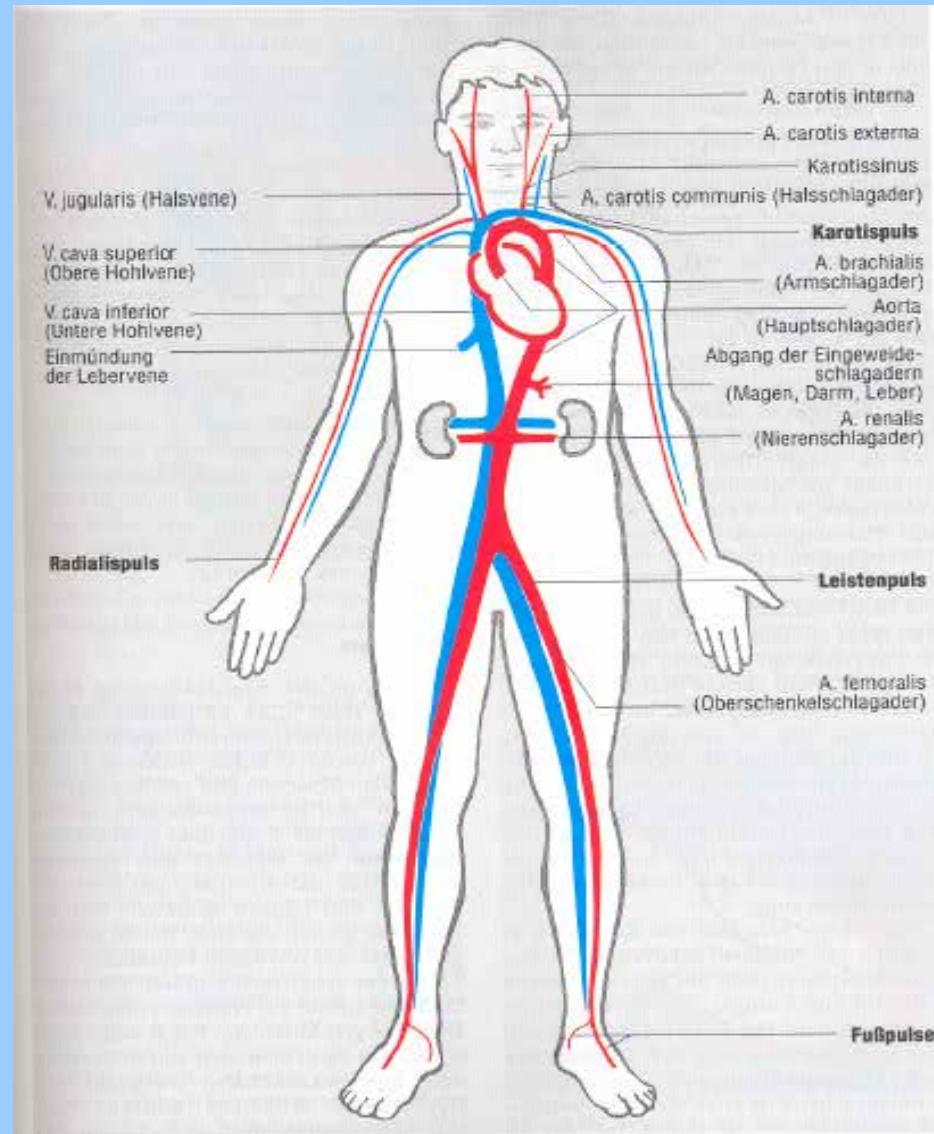
Energieträger



Herz-Kreislauf-System – Funktion



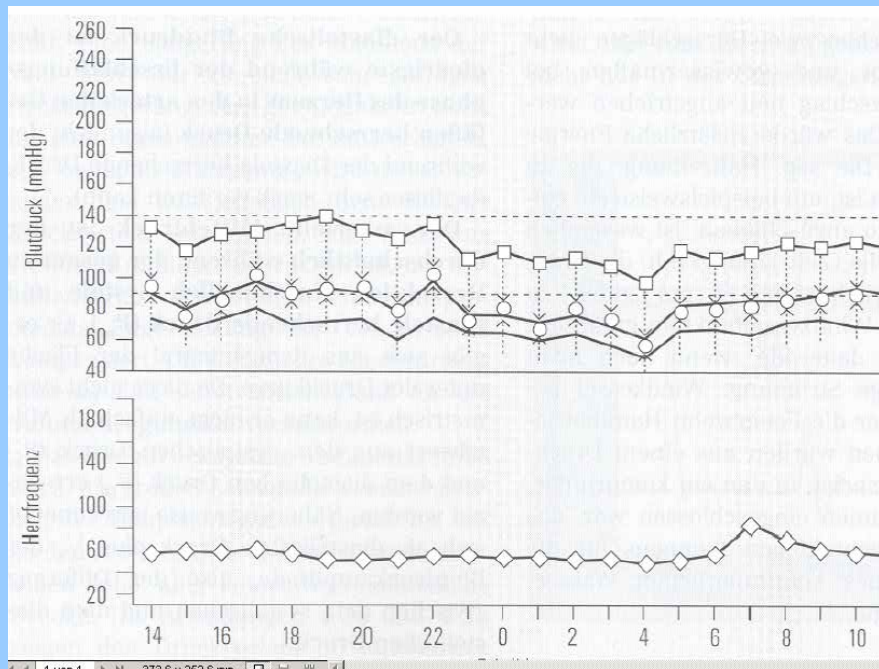
Herz-Kreislauf-System



Physiologie des Herzens

Physiologie der Gefäße

Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



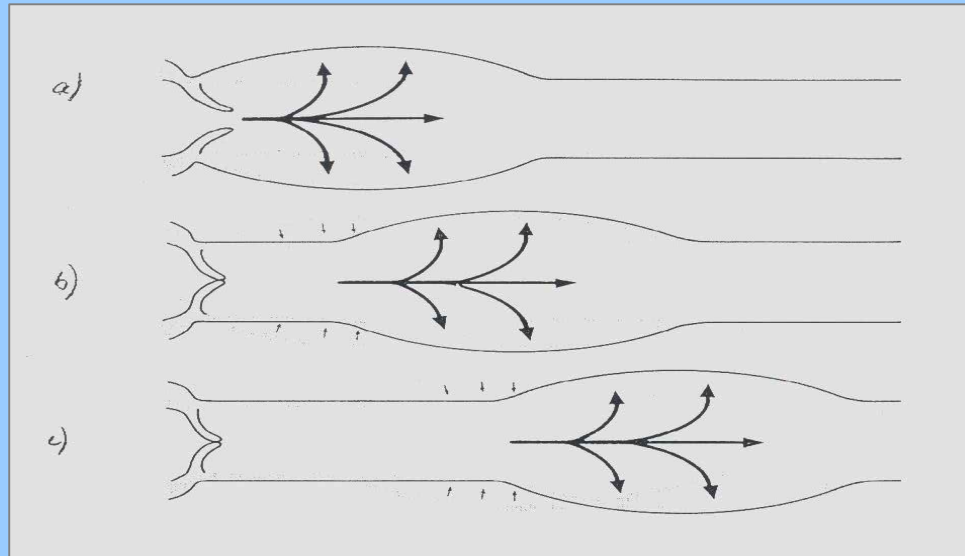
Systolischer Blutdruck
höchster Wert während
der Systole

Diastolischer Blutdruck
niedrigster Wert während
der Diastole

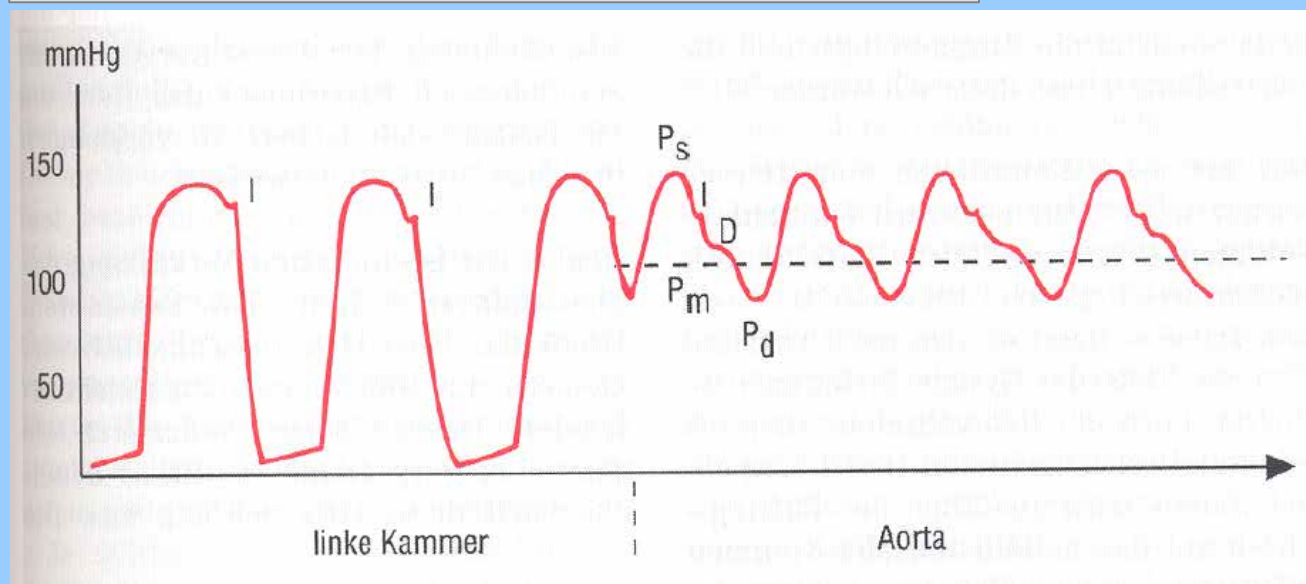
Arterieller Mitteldruck
Integral des Druckes
während Systole und
Diastole

$$P_m = P_D + 1/3 (P_S - P_D)$$

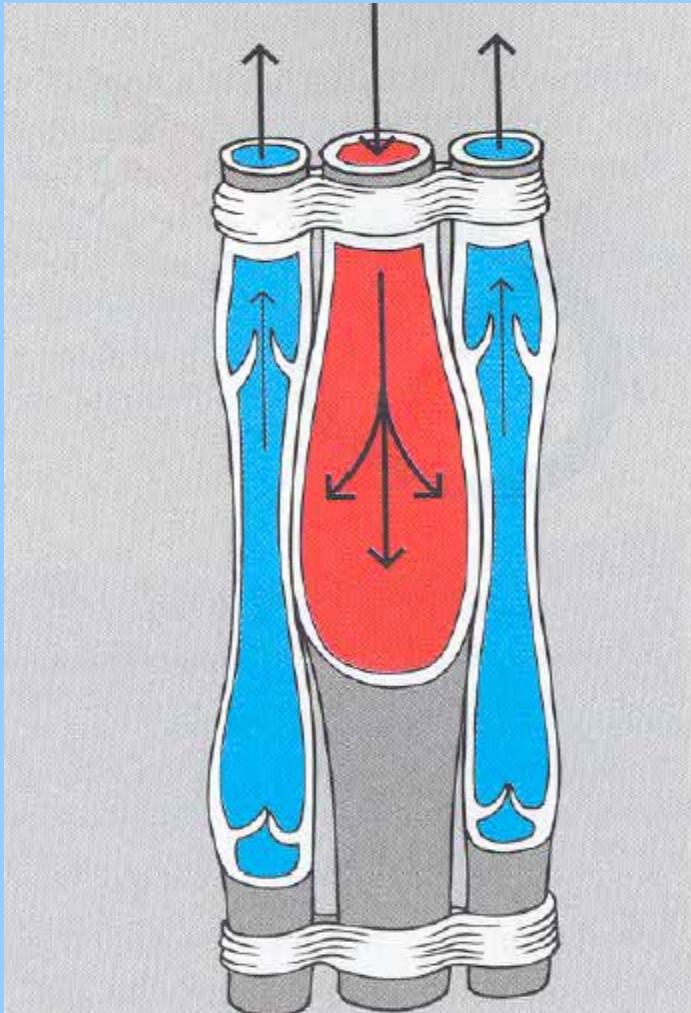
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



“Windkesselfunktion”
der Aorta



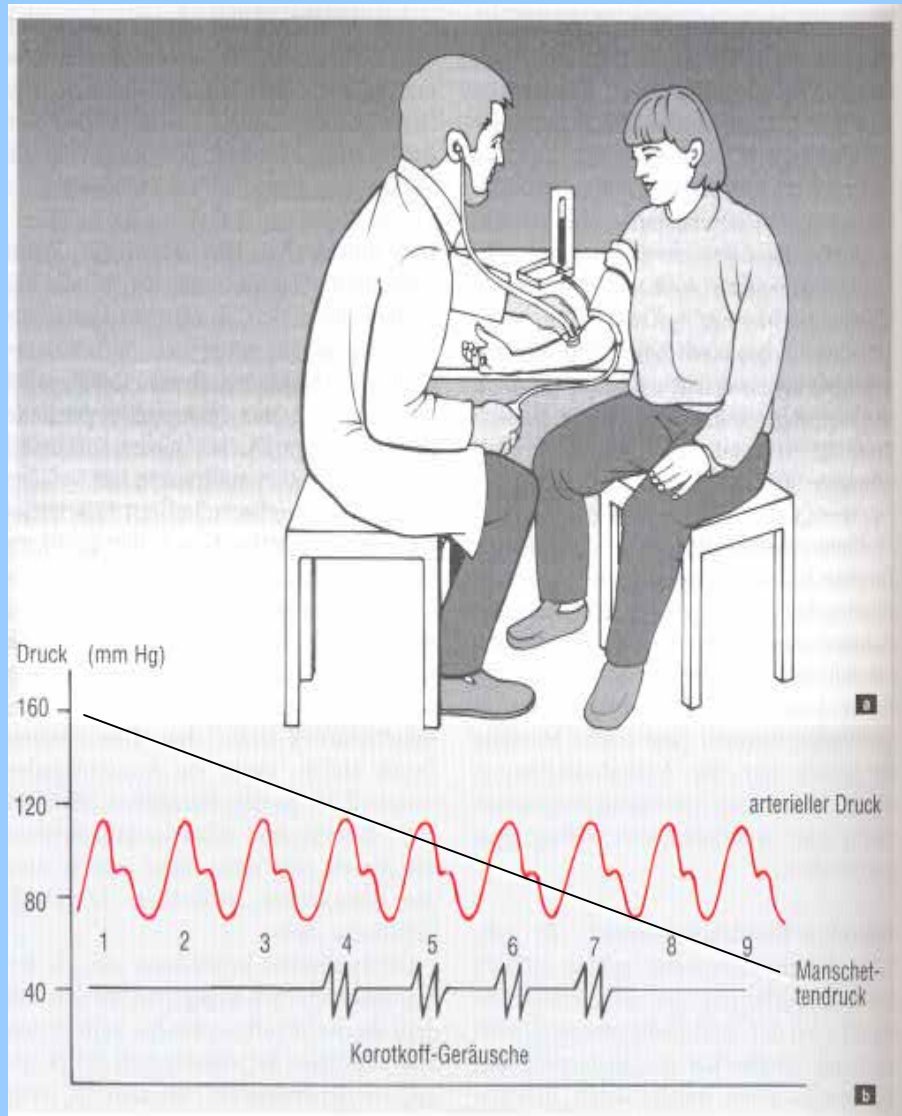
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



Venöser Rückfluß

- Ventilebenenmechanismus
“Drucksaugpumpe”
- “Muskelpumpe”
- arteriovenöse Koppelung
- Atmungspumpe

Herz-Kreislauf-System – Blutdruckmessung

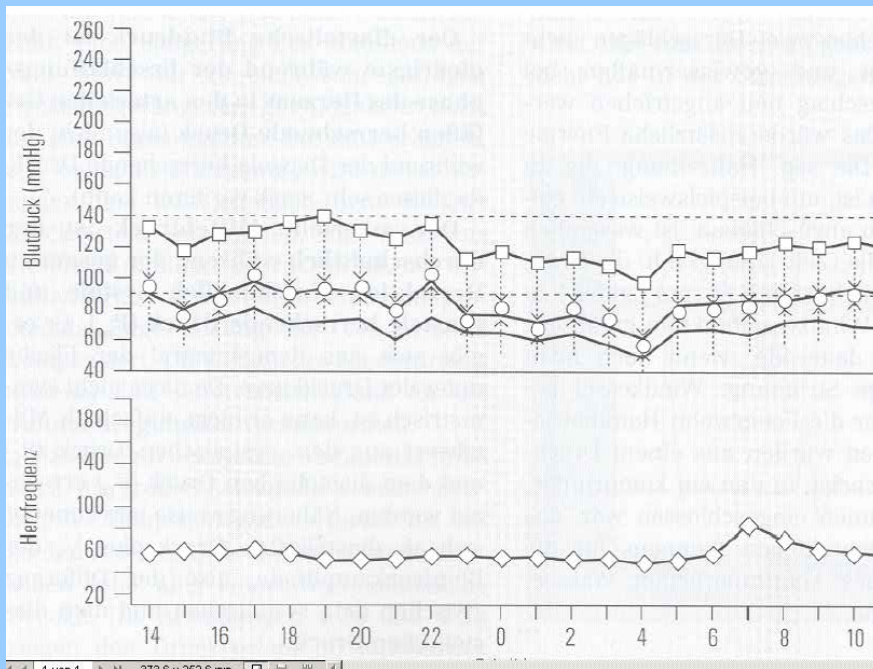


Direkte Blutdruckmessung
Katheter mit Manometer in
der Arterie

Indirekte Blutdruckmessung
Riva-Rocci-Verfahren

Korotkoff-Geräusch

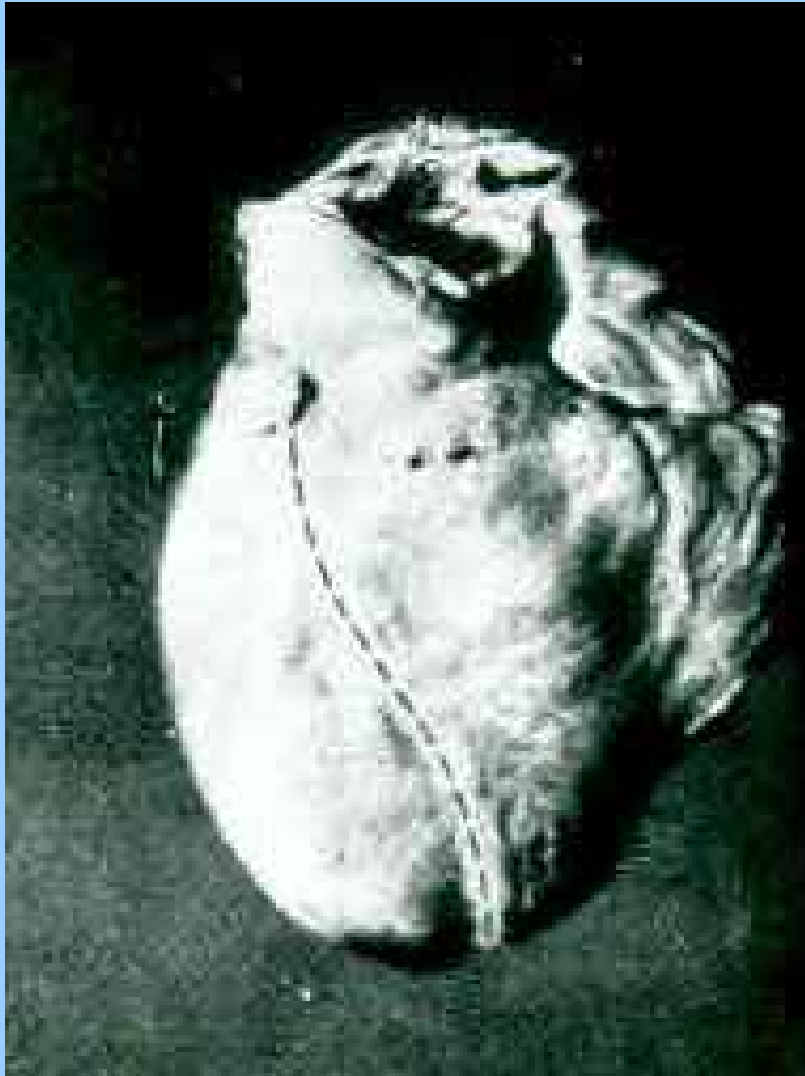
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



Blutdruck abhängig von

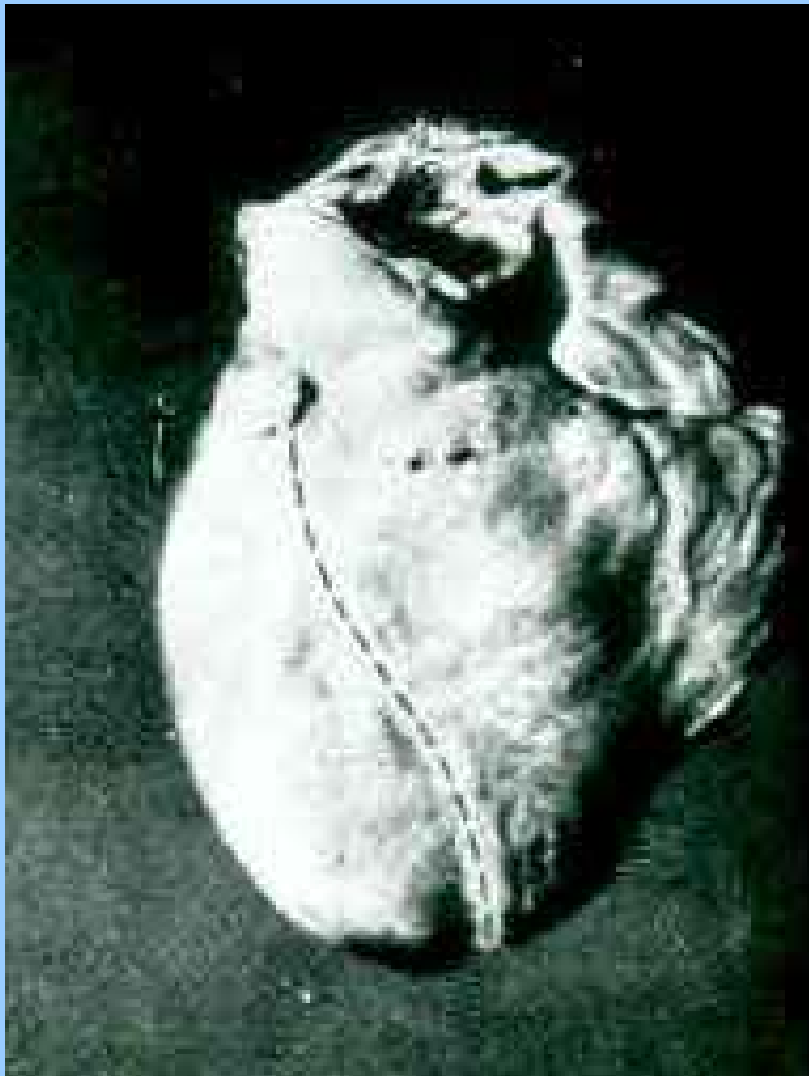
- Gefäßquerschnitt
“Widerstand”
- Blutvolumen
- Herzleistung

Herz – Warum schlägt das Herz ??



?

Herz – Warum schlägt das Herz ??

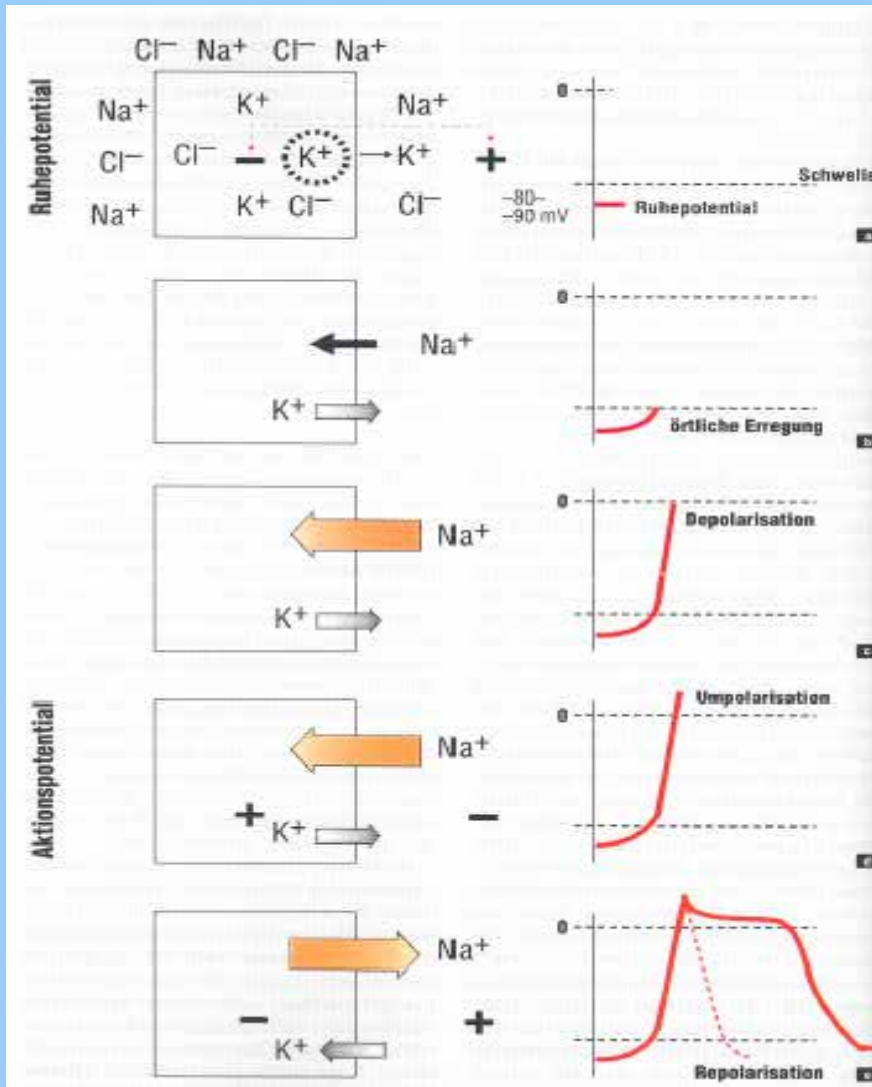


Muskel

Autorhythmie

“Schrittmacherzentren”
übergeordnet Sinusknoten

Herz – Warum schlägt das Herz ??

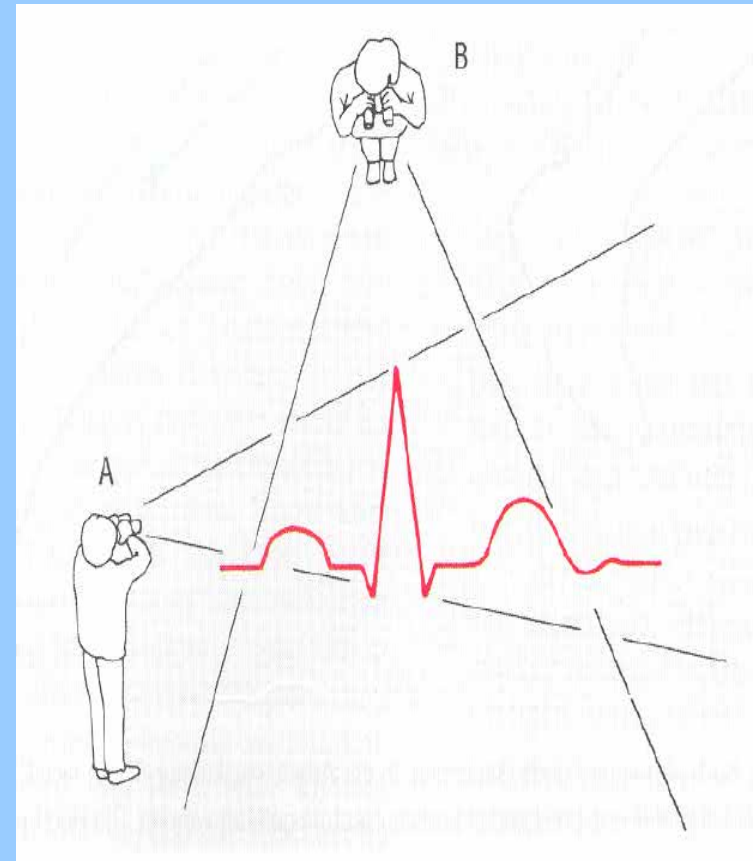
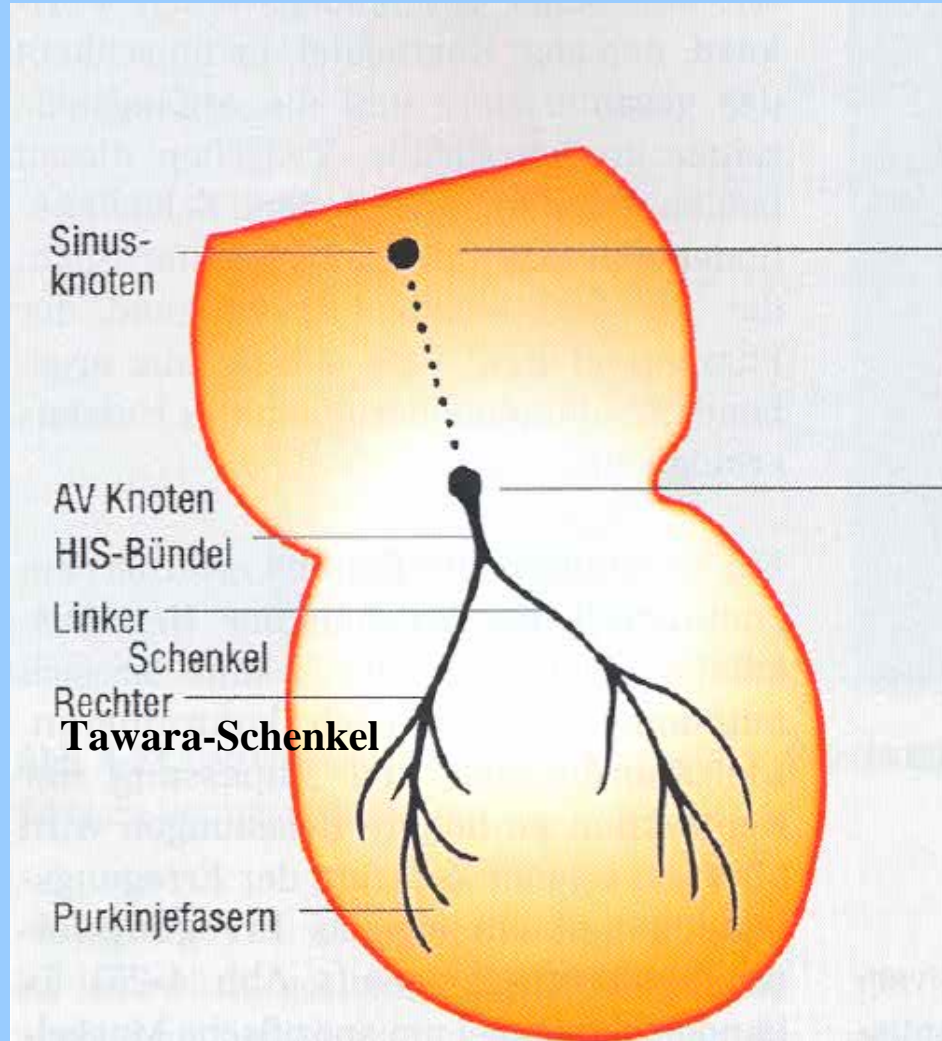


Spontane Depolarisation

Verlängerte Repolarisation
absolute Refraktärzeit

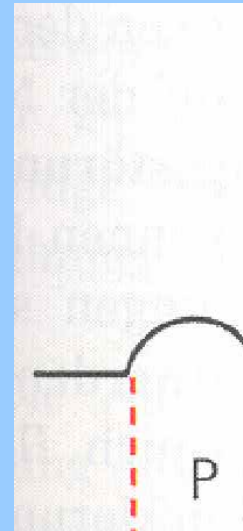
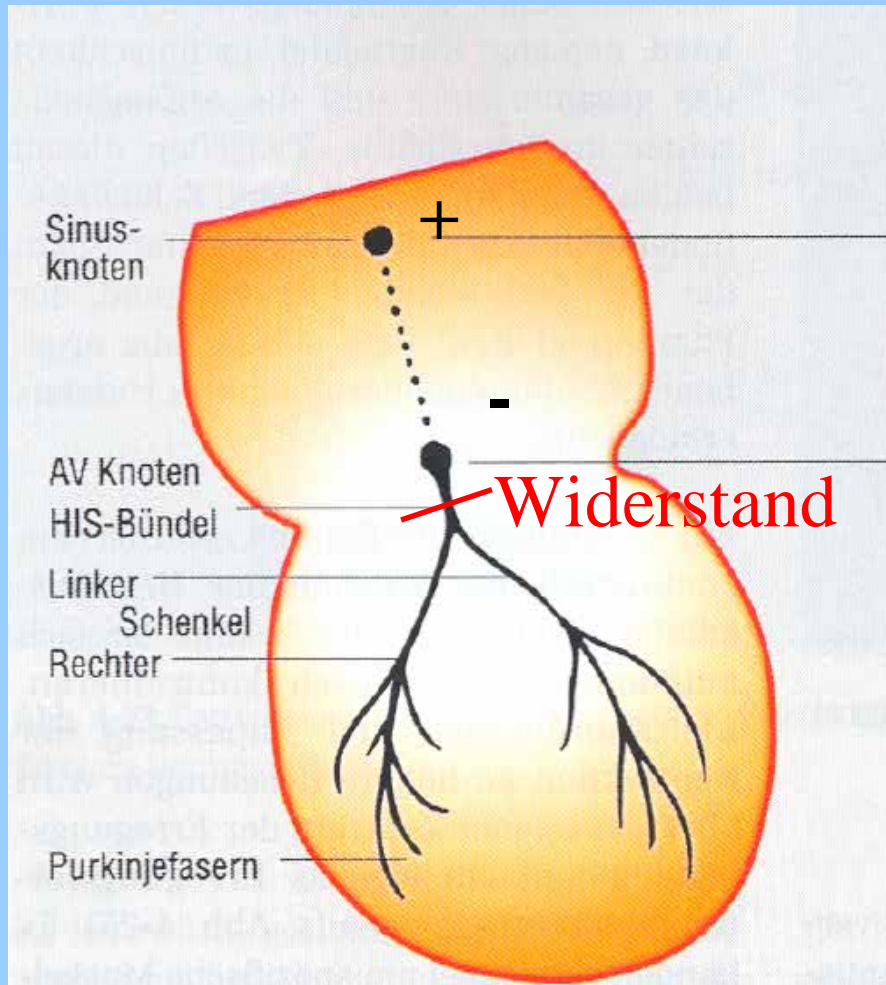
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



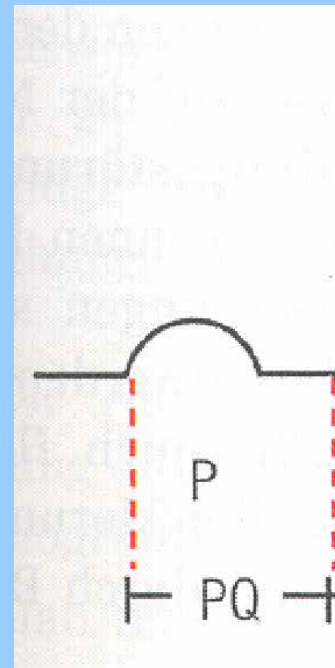
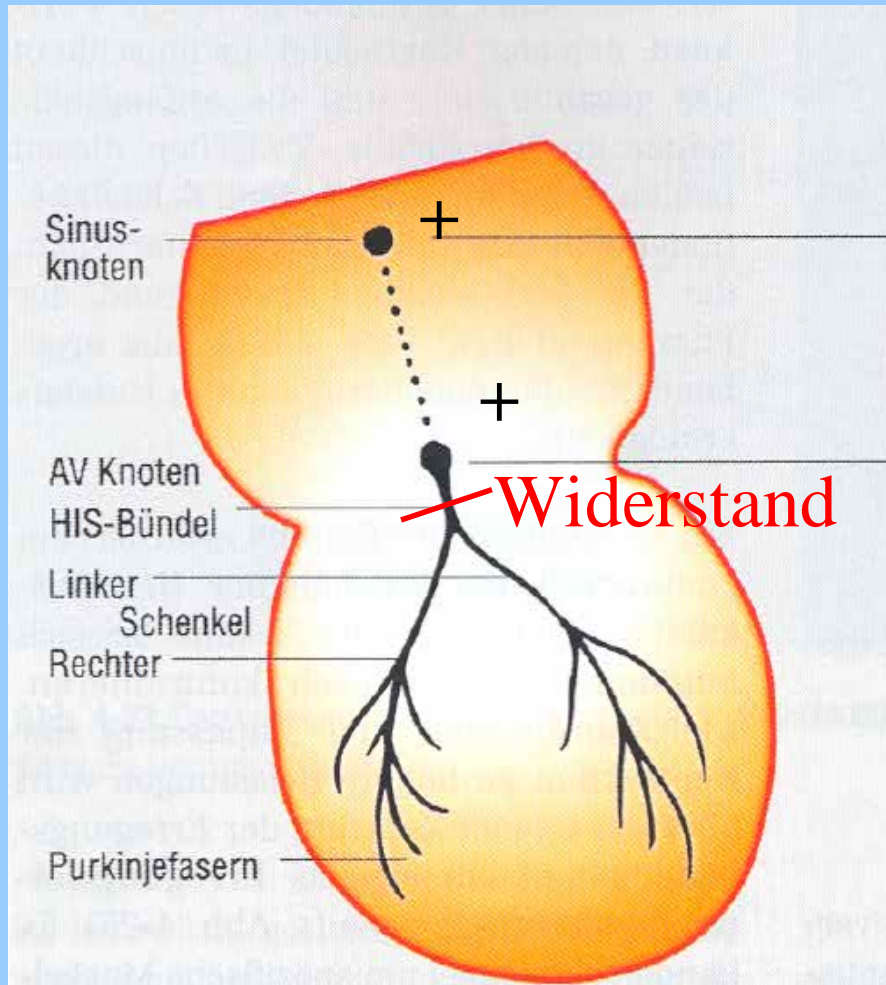
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



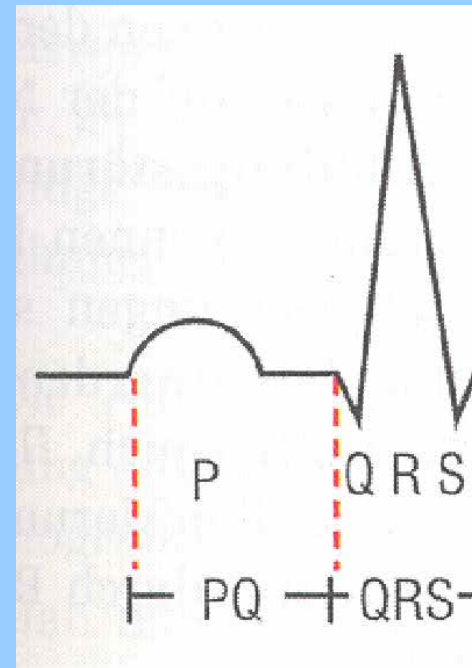
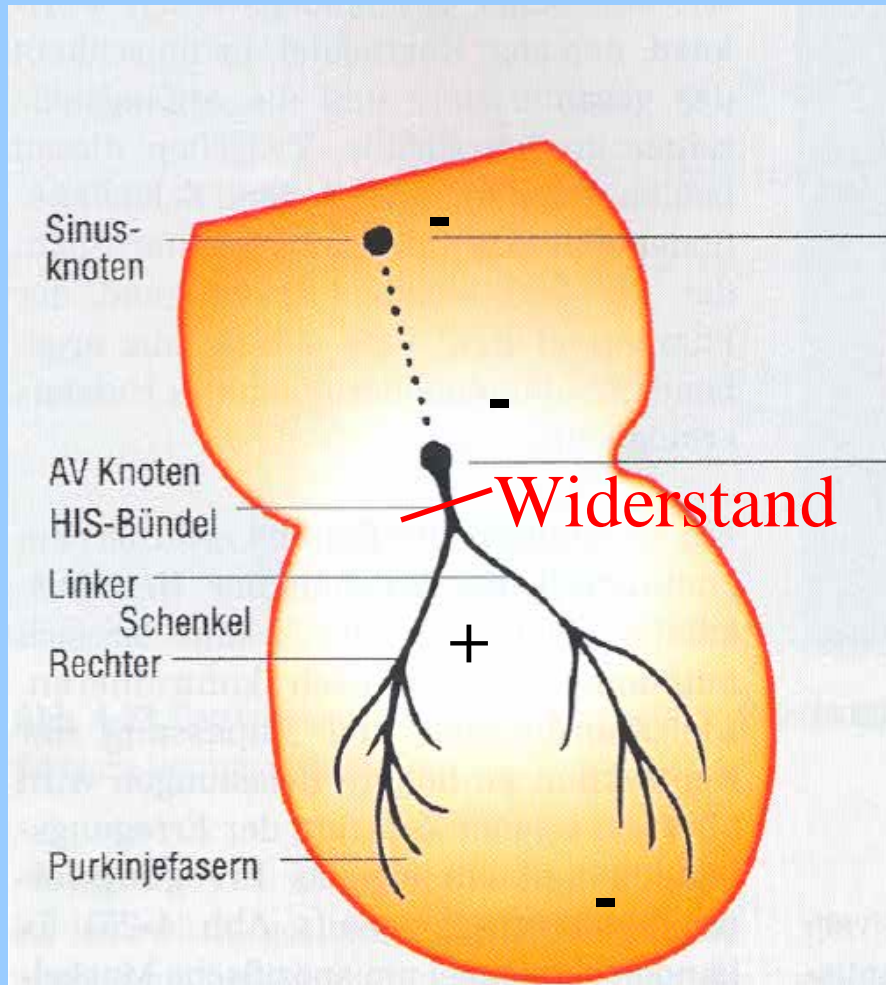
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



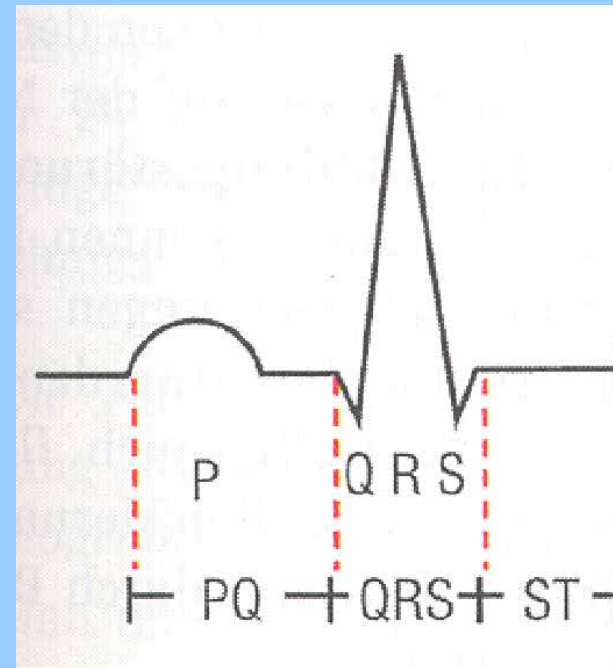
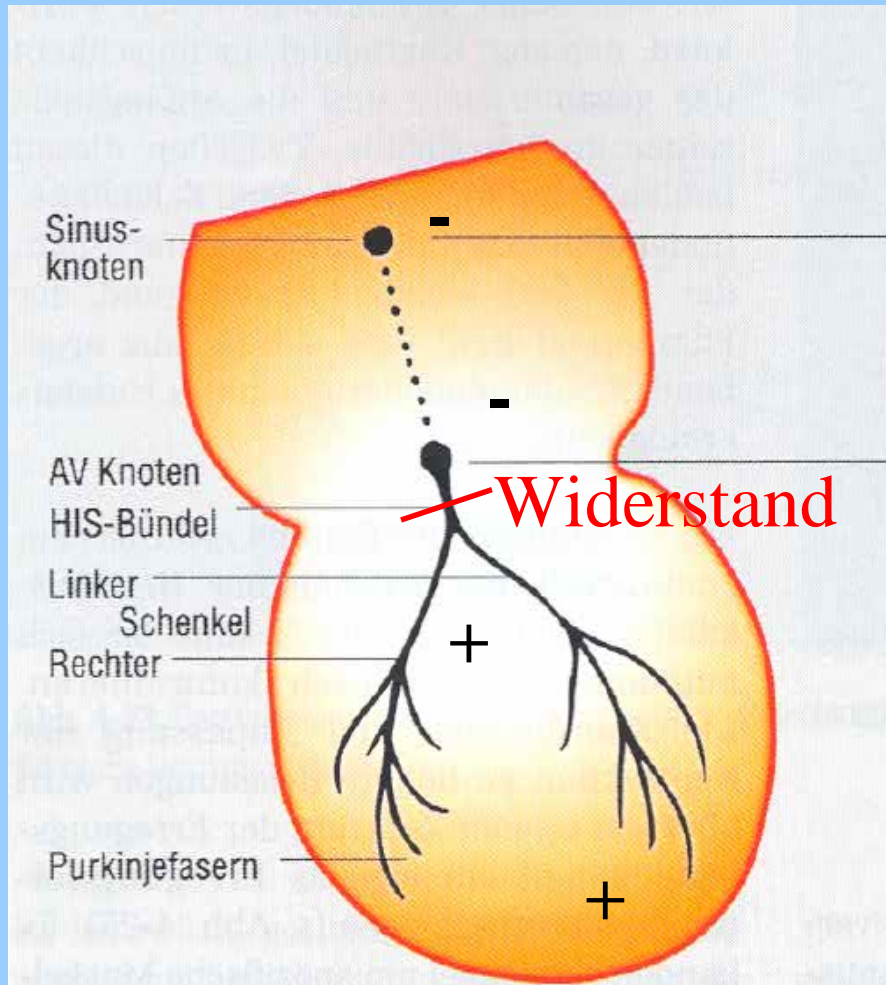
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



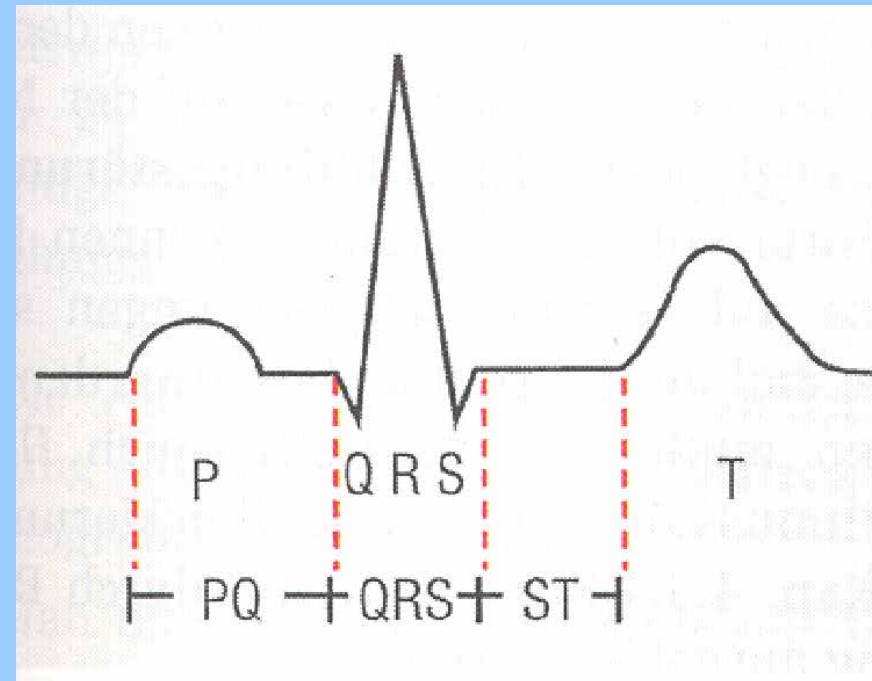
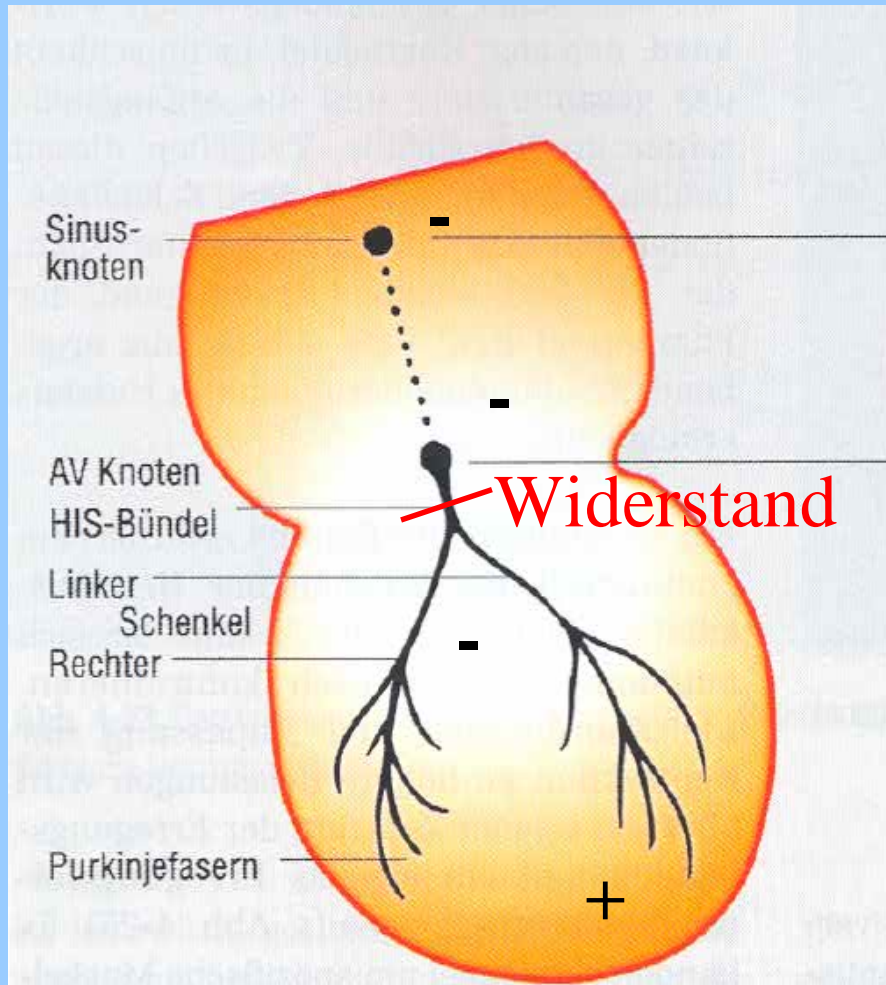
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



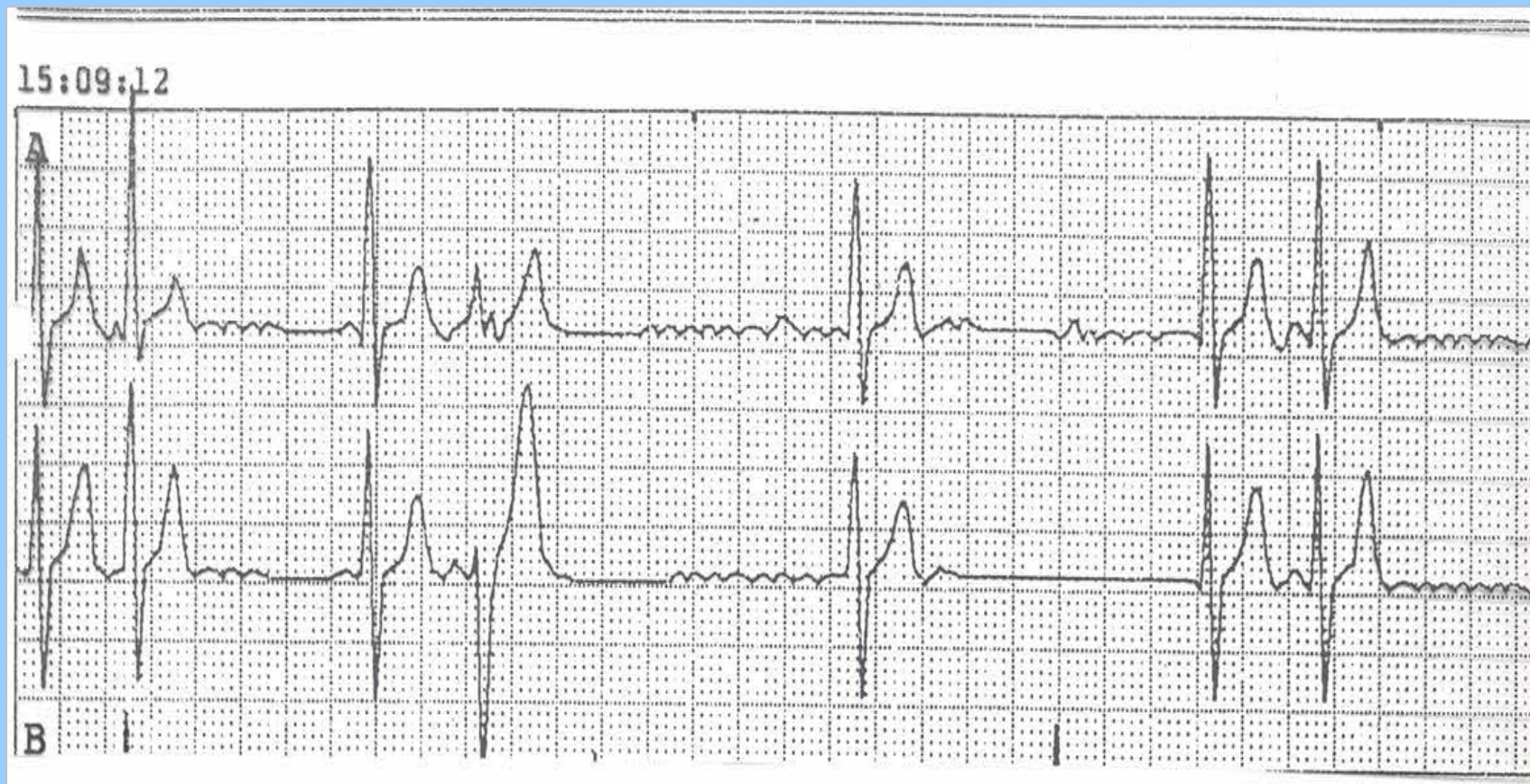
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)

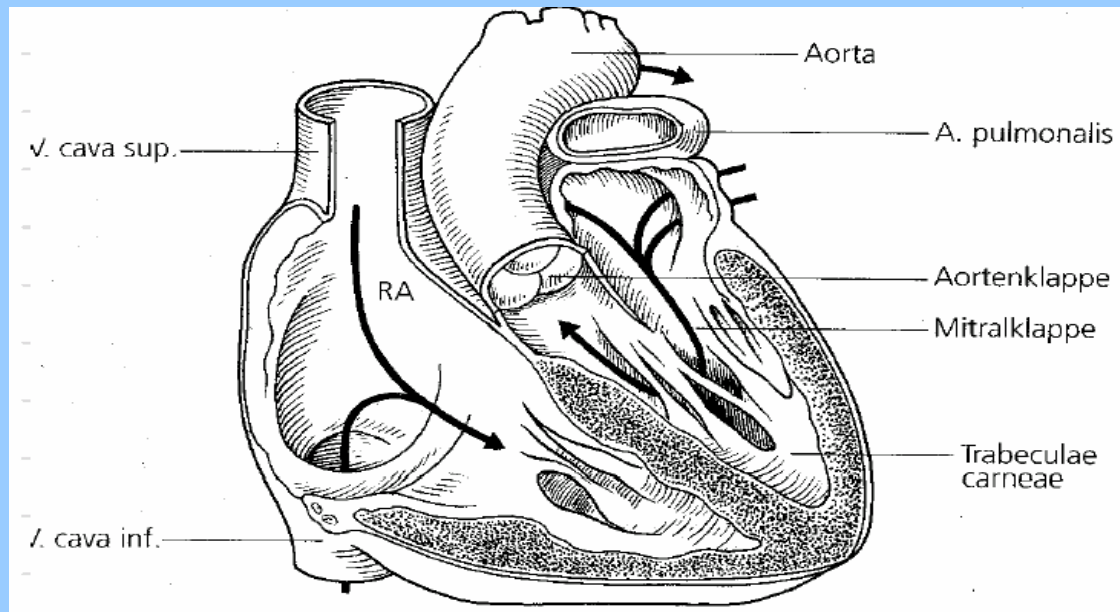
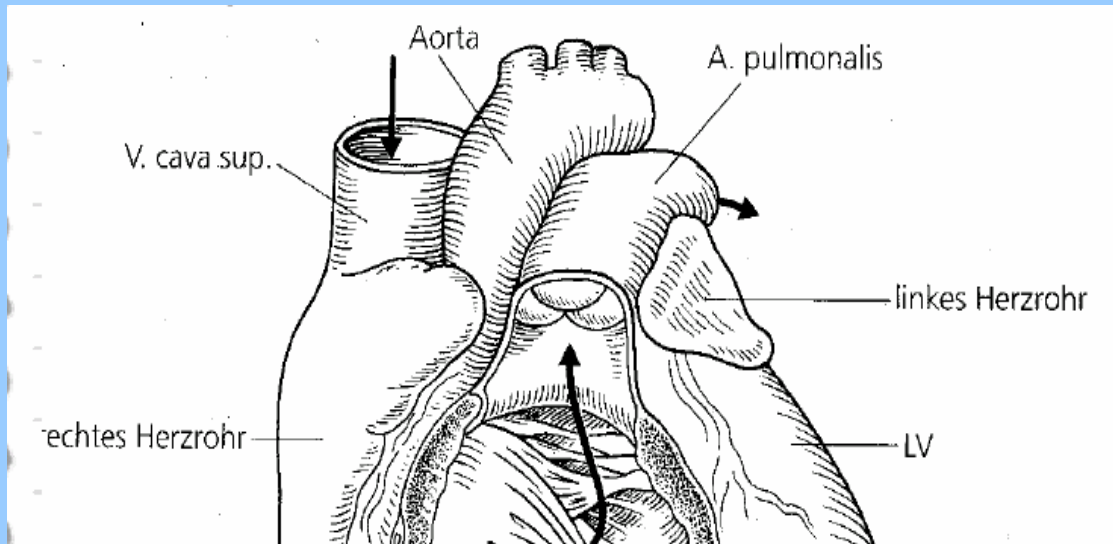


Herz - Reizleitungssystem

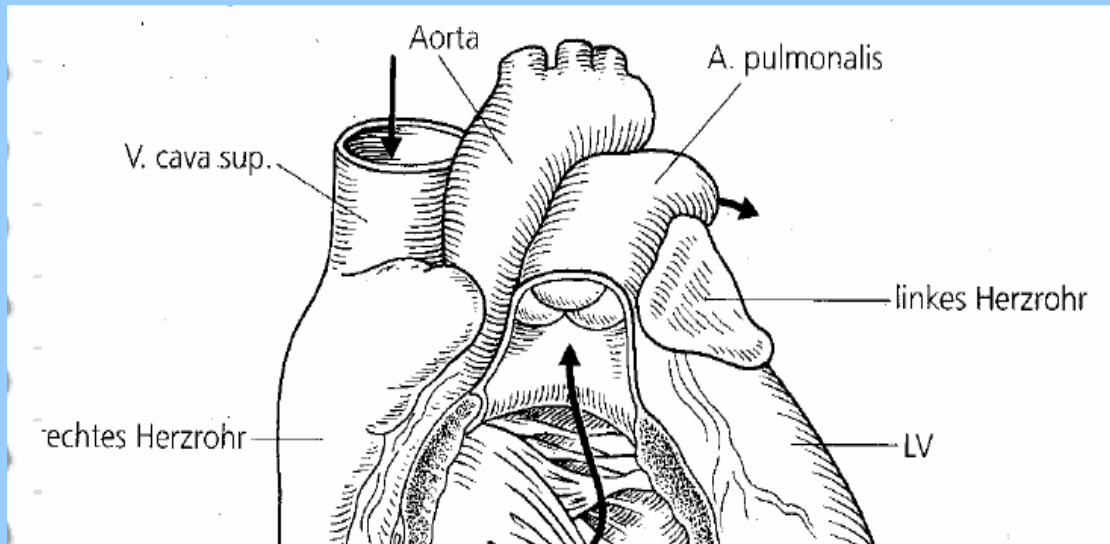
Elektrokardiogramm (EKG)



Herz - Herzklappen



Herz - Herzklappen

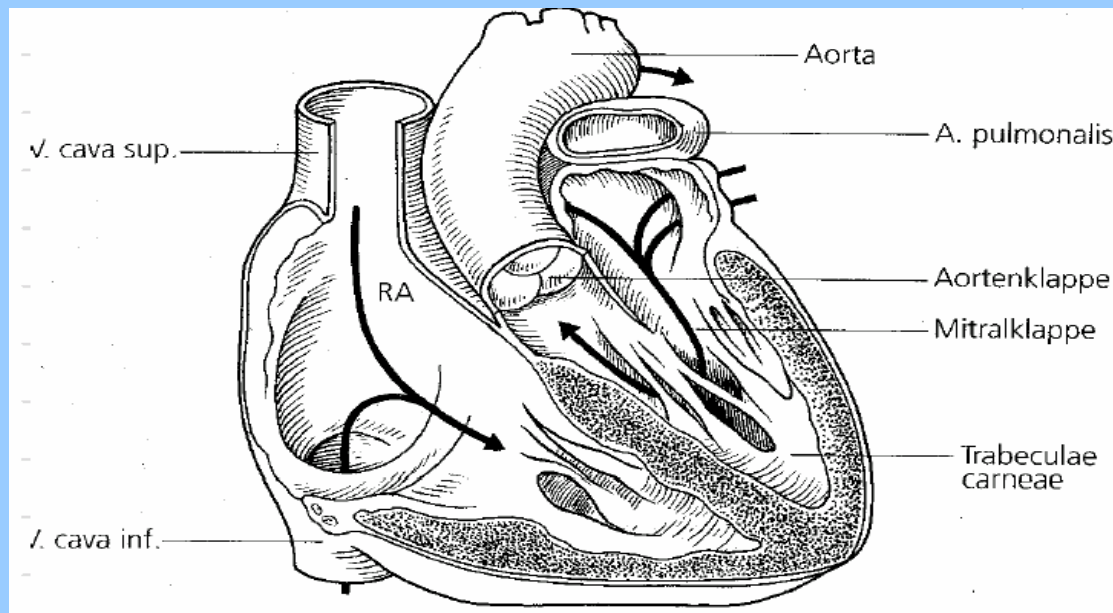


Aortenklappe

Ausgang linkes Herz

Pulmonalklappe

Ausgang rechtes Herz



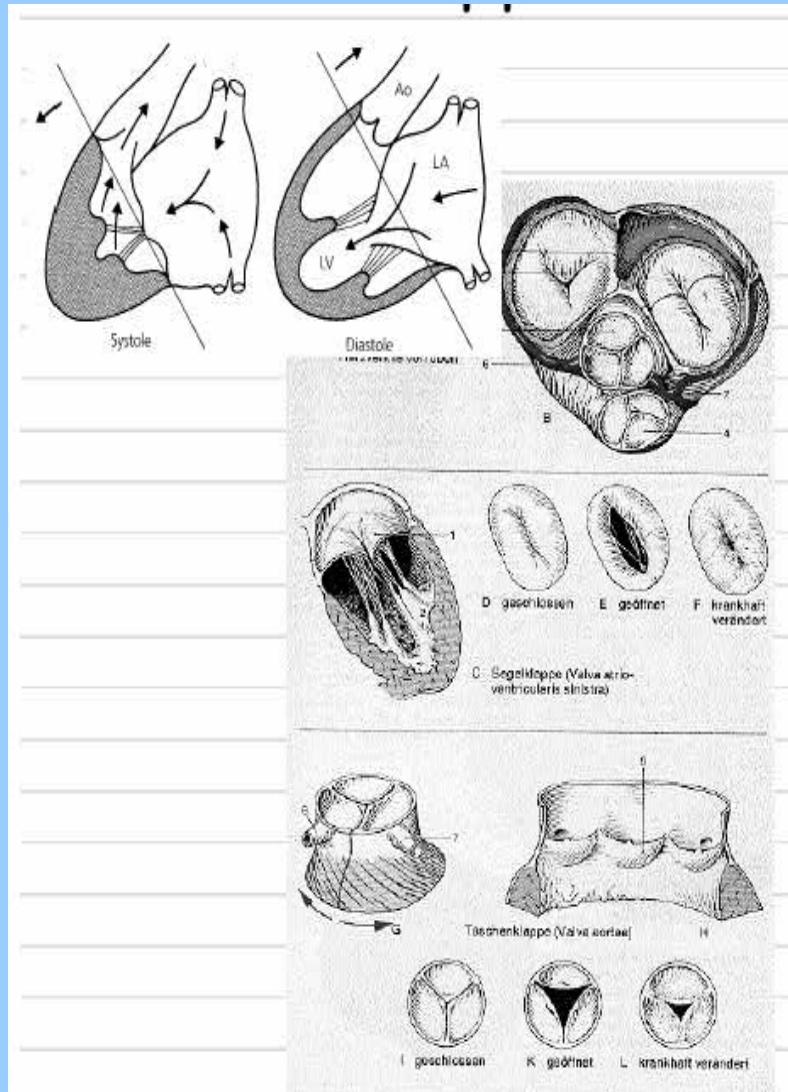
Mitralklappe

linker LA und LV

Trikuspidalklappe

rechter RA und RV

Herz - Herzklappen



Taschenklappen

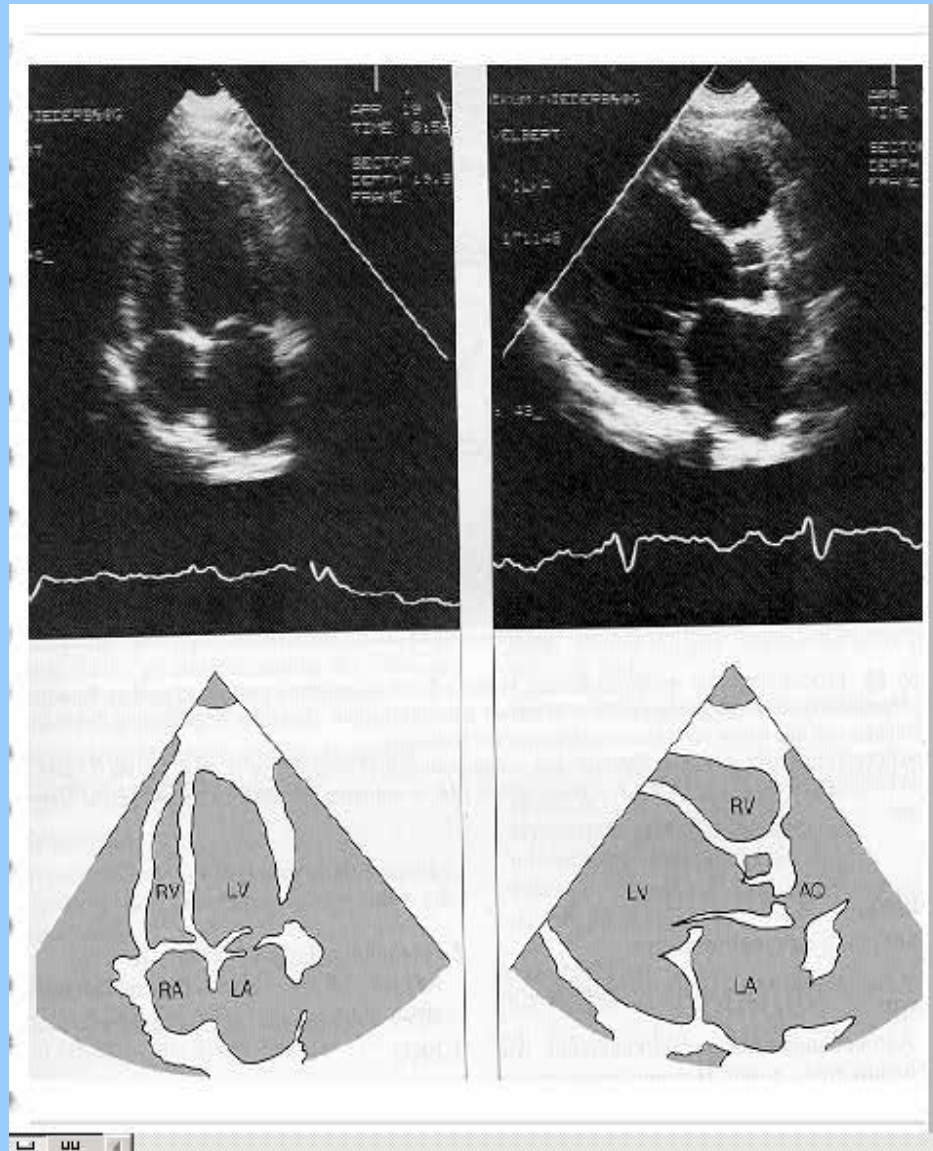
Aorten-, Pulmonalklappe

Segelklappen Mitral-,
Trikuspidalklappe

Stenose Verminderung
der Öffnungsfläche

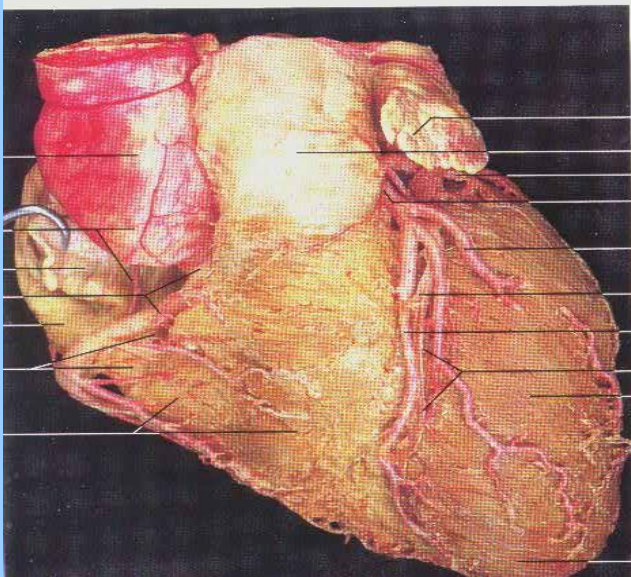
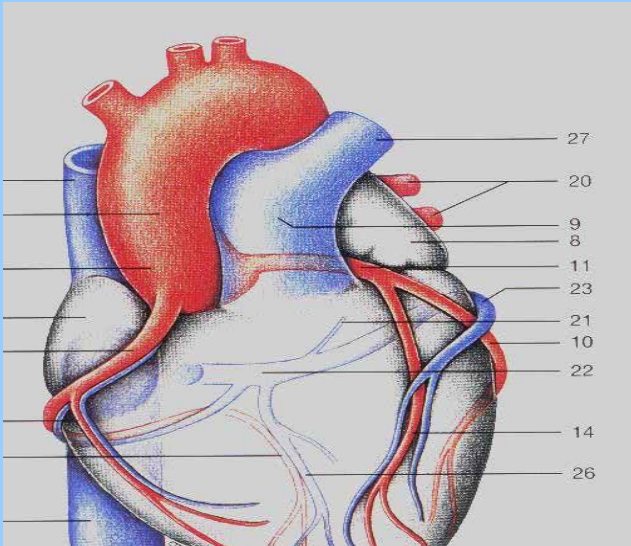
Insuffizienz inkompletter
Schluß

Herz - Herzklappen



Echokardiographie

Herz - Coronardurchblutung

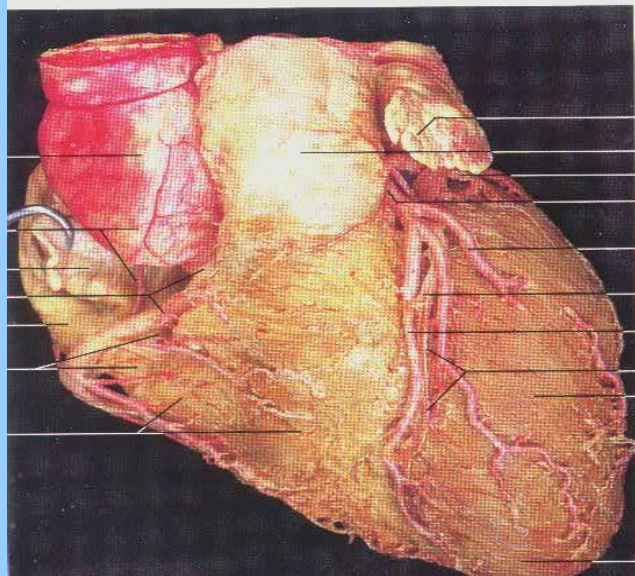
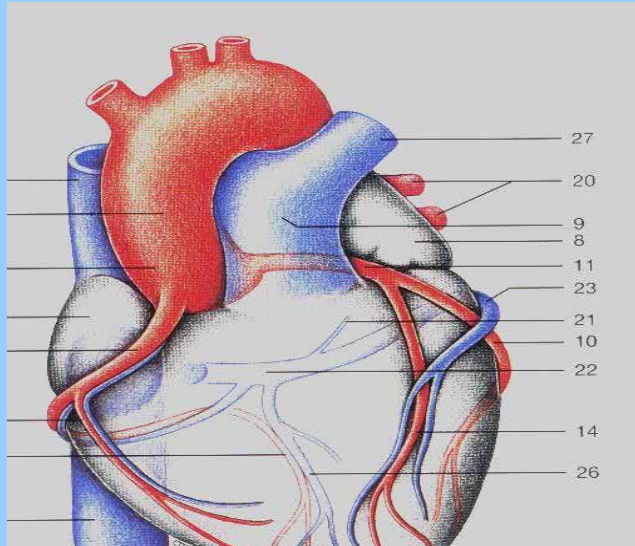


Sauerstoffverbrauch ca.
10 % des Gesamt-O₂
bei 0,5 % Körpermasse

während Systole
Coronarfluß gegen 0

Durchblutung v.a. in der
Diastole

Herz - Funktion



Schlagvolumen (SV):

Blutmenge, die bei jeder Systole ausgeworfen wird (in Ruhe um 80-90 ml)

Ejektionsfraktion:

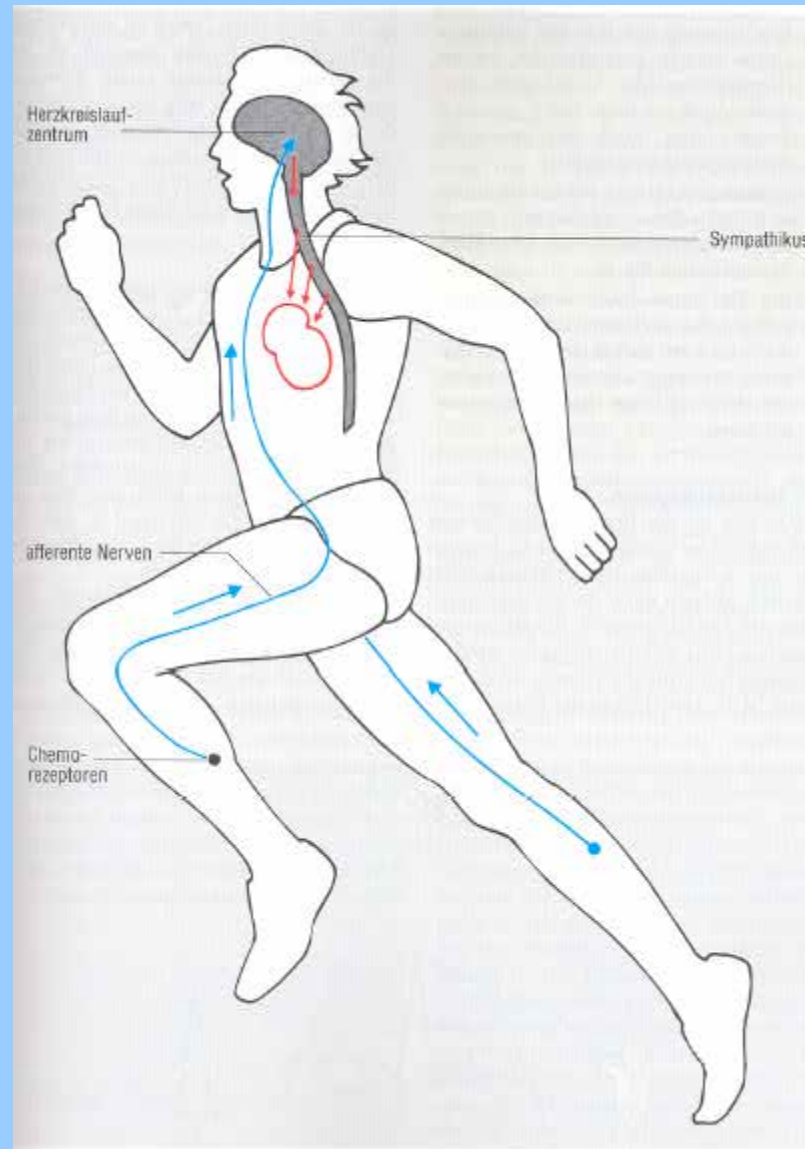
Pozentuale Anteil des Schlagvolumens am enddiastolischen Volumen (ca. 60-70 %)

Herzminutenvolumen (HMV):

Schlagvolumen x Herzfrequenz

| Gefäßbereich | Herzminutenvolumen (ml · min ⁻¹) | |
|--------------------|--|---------------------------------|
| | Ruhe (6%) | Maximale Belastung (100%) |
| Herzminutenvolumen | 6 000 | 30 000 |
| Gehirn | 720 (12%) | 720 (2%) |
| Myokard | 240 (4%) | 1 200 (4%) |
| Skelettmuskulatur | 1 260 (21%) | 26 400 (88%) |
| Niere | 1 320 (22%) | 300 (1%) |
| Leber | 1 560 (26%) | 300 (1%) |
| Haut | 540 (9%) | 900 (3%) |
| Sonstige | 360 (6%) | 180 (1%) |

Herz – unter Belastung



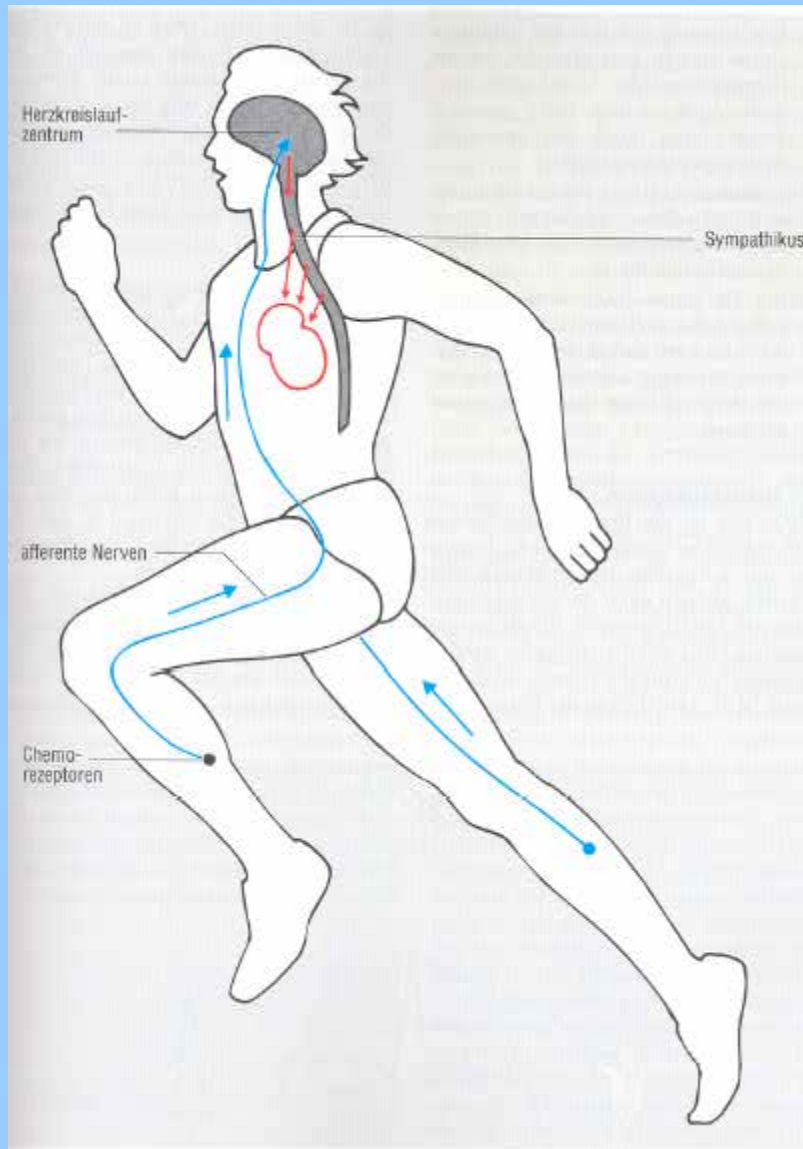
Reduktion Parasympathikus

“Ruhehormon” (Acetylcholin)

Aktivierung Sympathikus

Stresshormon (Adrenalin, Nor-)

Herz – unter Belastung



Aktivierung Sympathikus

Stresshormon (Adrenalin, Nor-)

- positiv inotrop

Kontraktionskraft steigern

- positiv chronotrop

Frequenz steigern

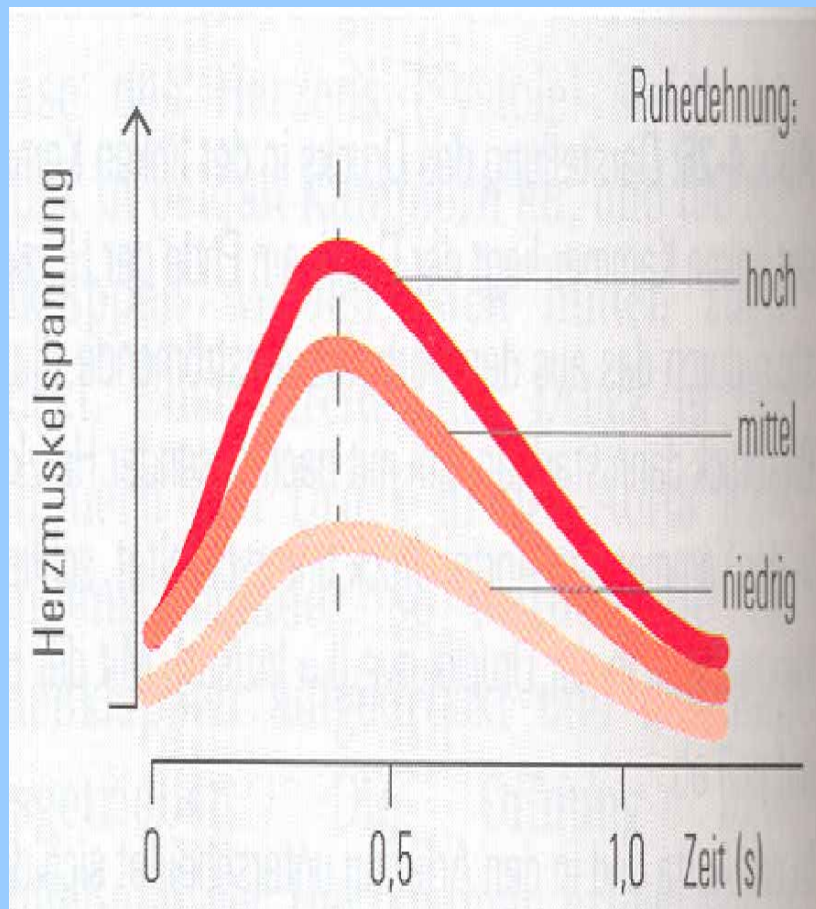
- positiv dromotrop

Leitungsgeschwindigkeit steigern

- positiv bathmotrop

Reizschwelle herabsetzen

Herz – unter Belastung

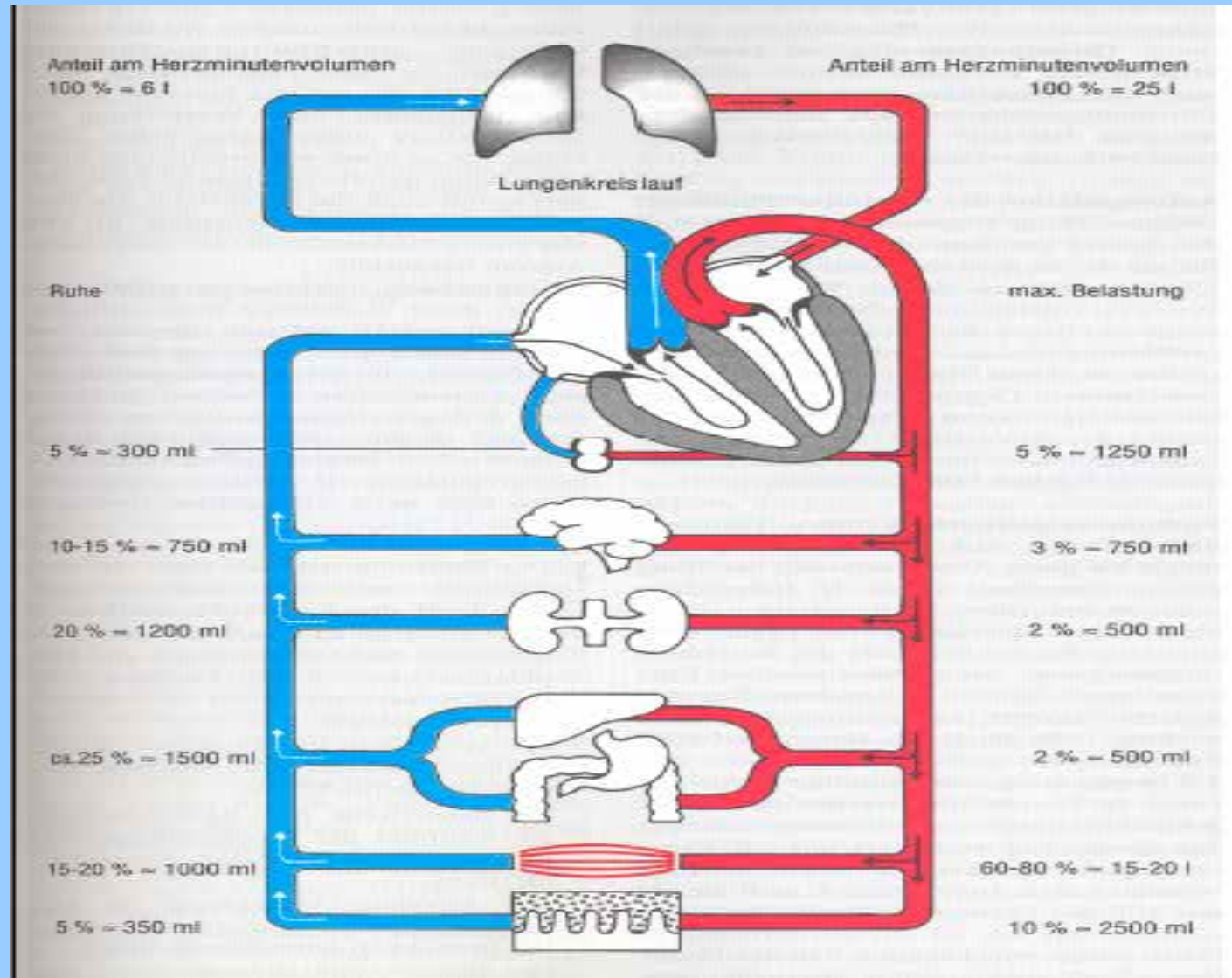


Frank-Starling-Mechanismus

Abhängigkeit der Auswurfleistung des Herzens vom enddiastolischen Ventrikelvolumen

Zunahme des Schlagvolumens (frequenzabhängig)

Kreislauf – unter Belastung



Kreislauf – unter Belastung

Lokale Mechanismen der arbeitenden Muskulatur zur
Weitstellung der Arteriolen

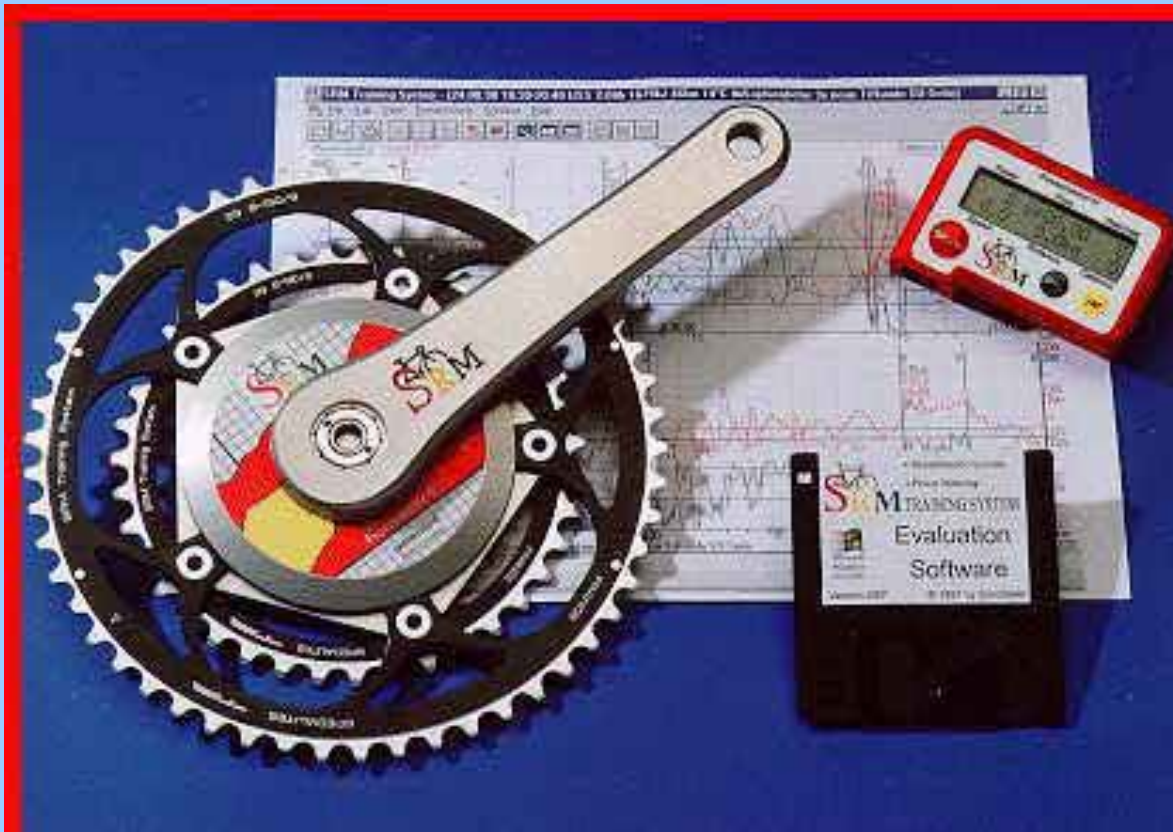
- Metaboliten, z.B. Adenosin, und K^+ -Ionen steigen an
- O_2 -Partialdruck fällt ab, CO_2 -Partialdruck steigt an
- Endothelvermittelte Faktoren, z.B. Stickstoffmonoxid (NO)
- Steigerung der Energiebereitstellung, dadurch s.o.

Kreislauf – unter Belastung

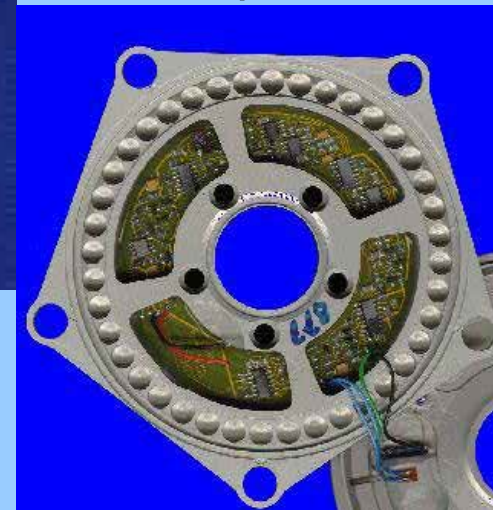
Mechanismen der nichtarbeitenden Muskulatur zur
Engstellung der Arteriolen

- Erhöhung des Sympathikotonus, dies führt v.a. im venösen Gebiet zur Entspeicherung von Blutvolumen (u.a. mit höherem Schlagvolumen)

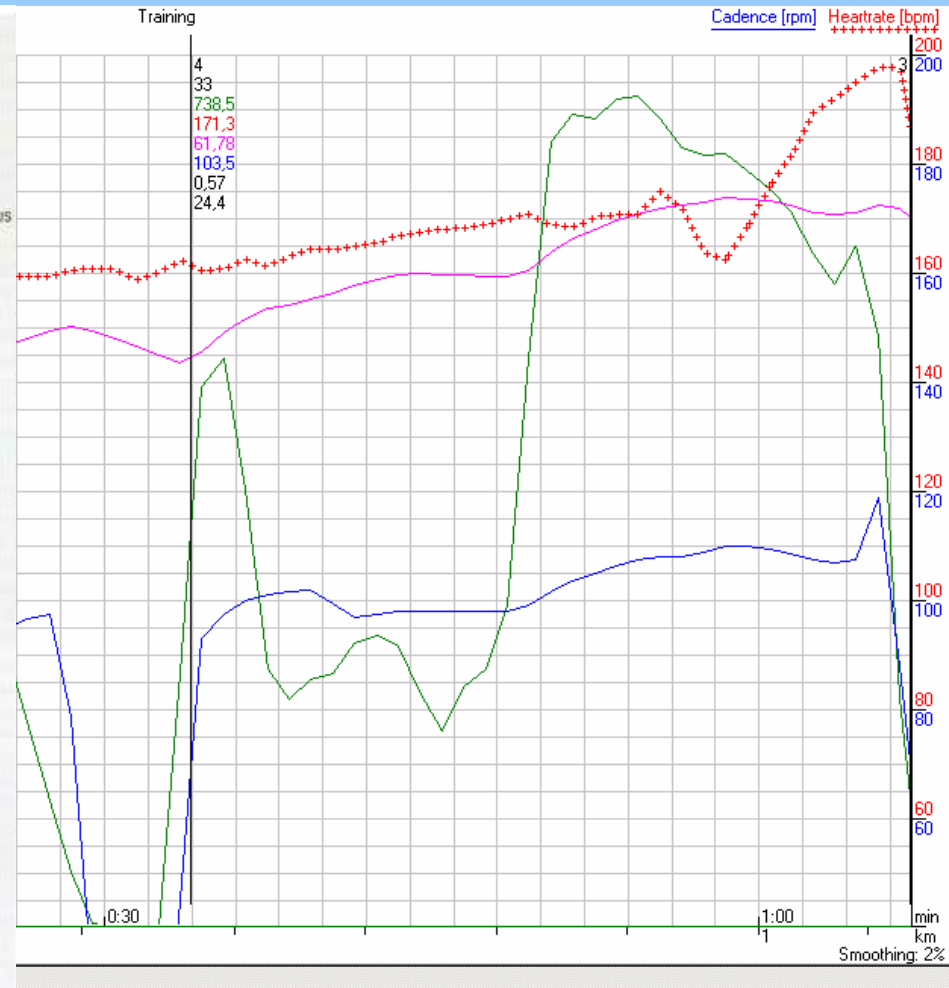
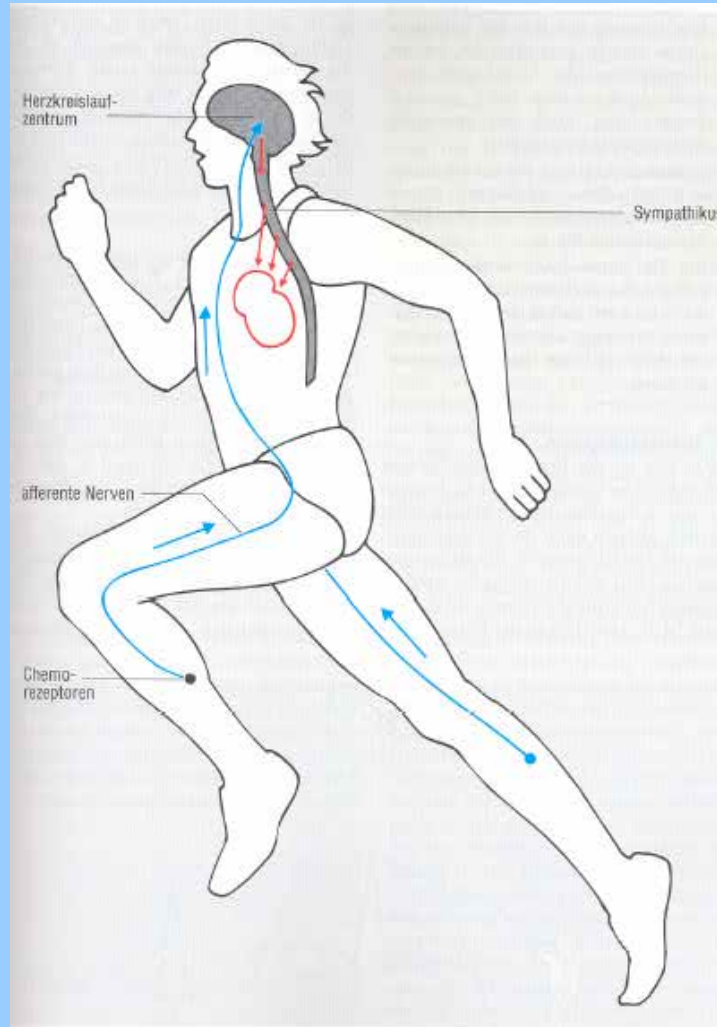
SRM Leistungsmessung



- Leistung [Watt]
- Herzfrequenz [1/min]
- Tretfrequenz [1/min]
- Geschwindigkeit [km/h]
- Auswertung und Nachbearbeitung am Computer

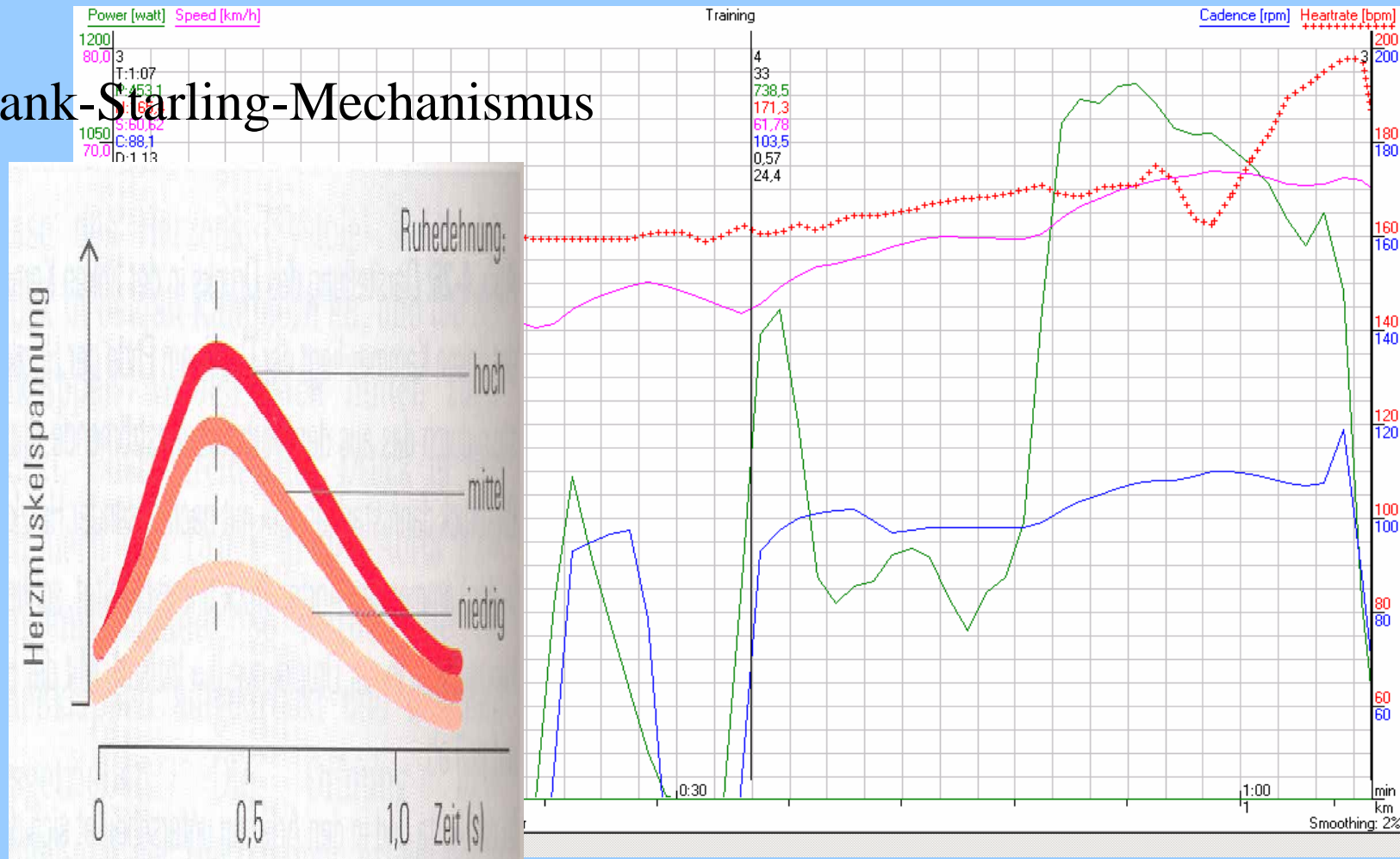


Kreislauf – unter Belastung

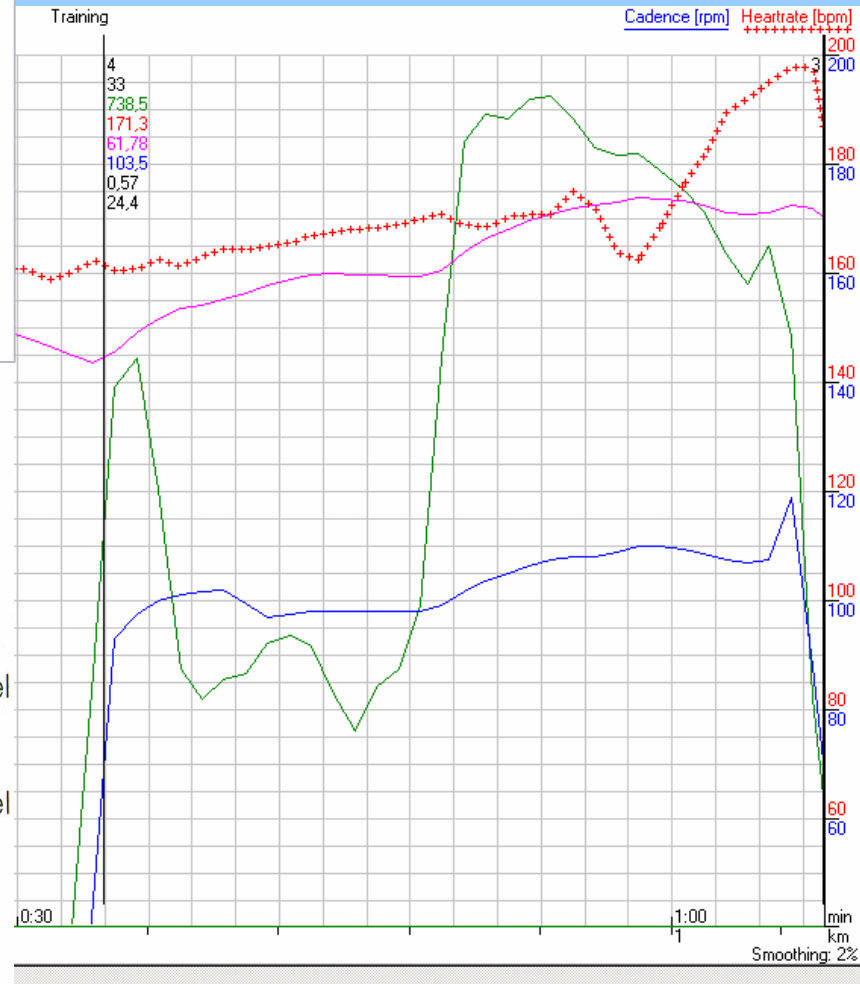
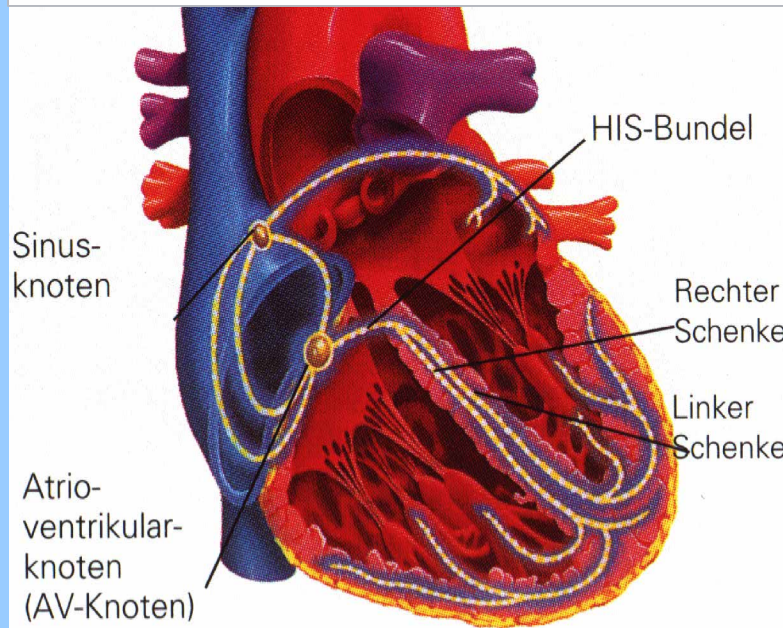
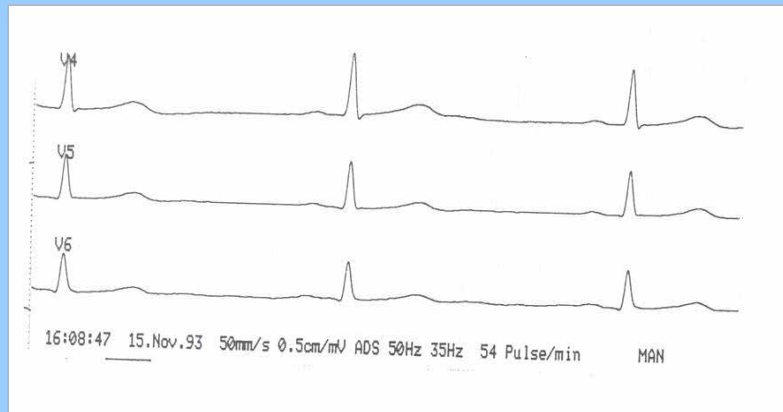


Kreislauf – unter Belastung

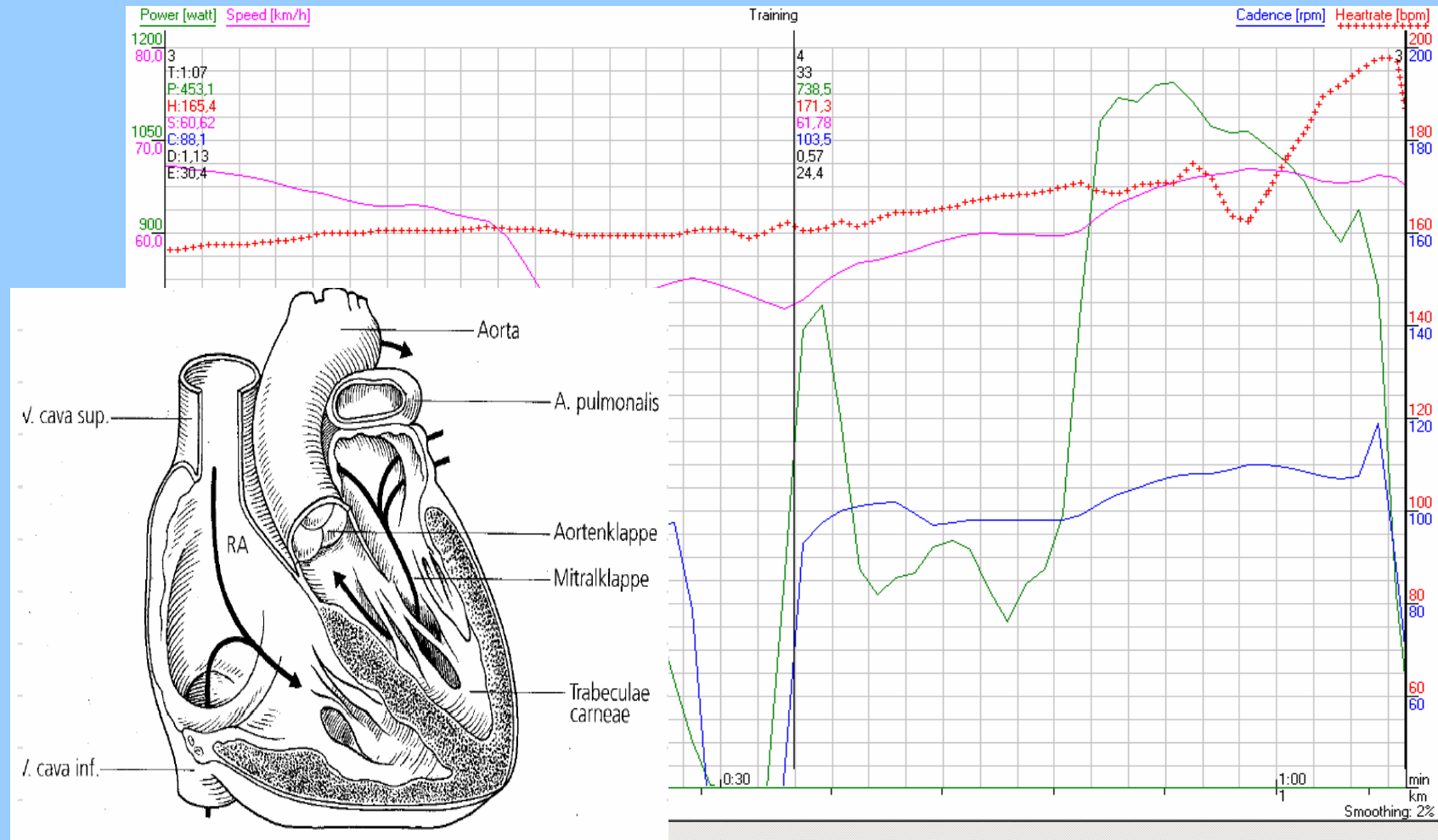
Frank-Starling-Mechanismus



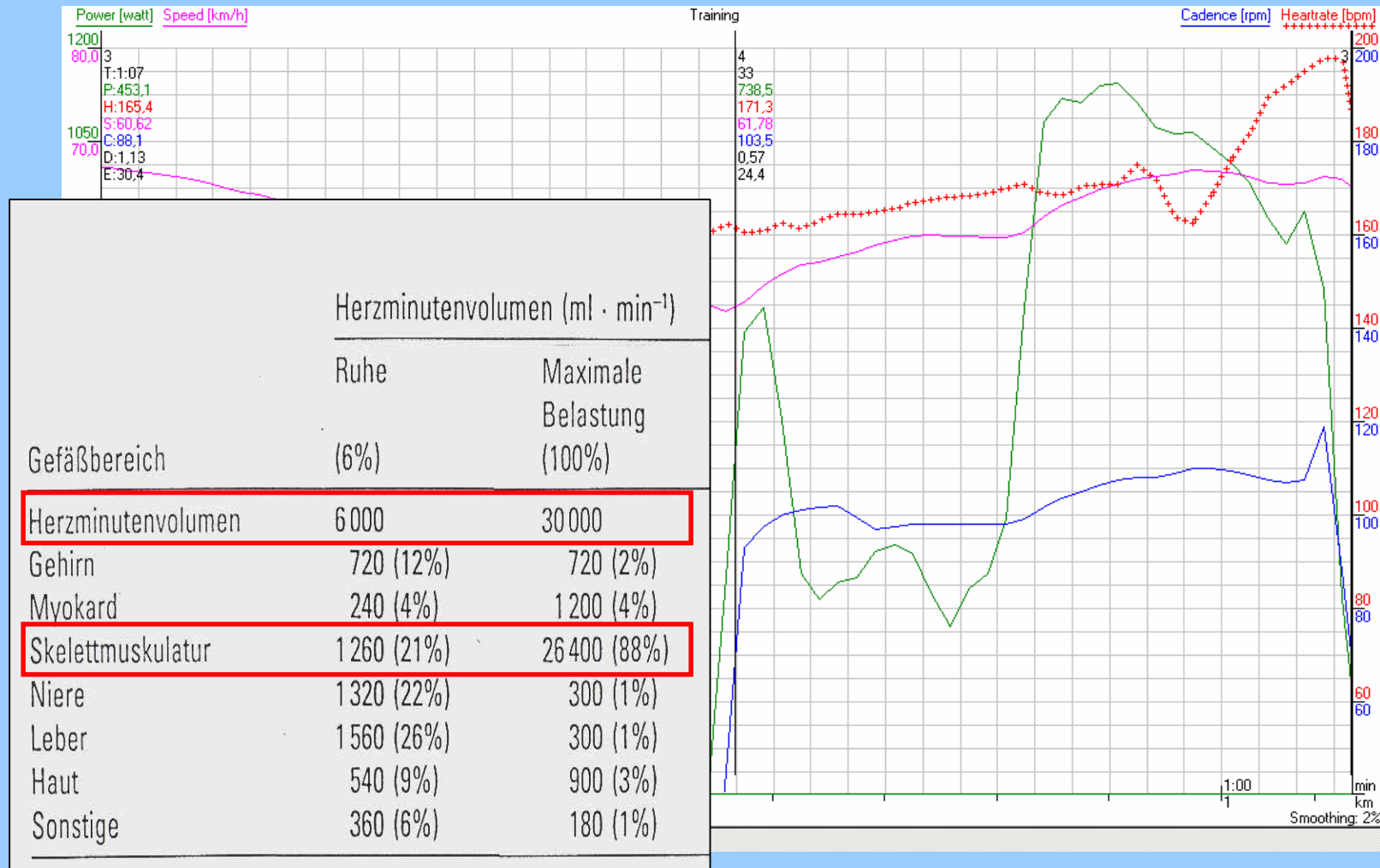
Kreislauf – unter Belastung



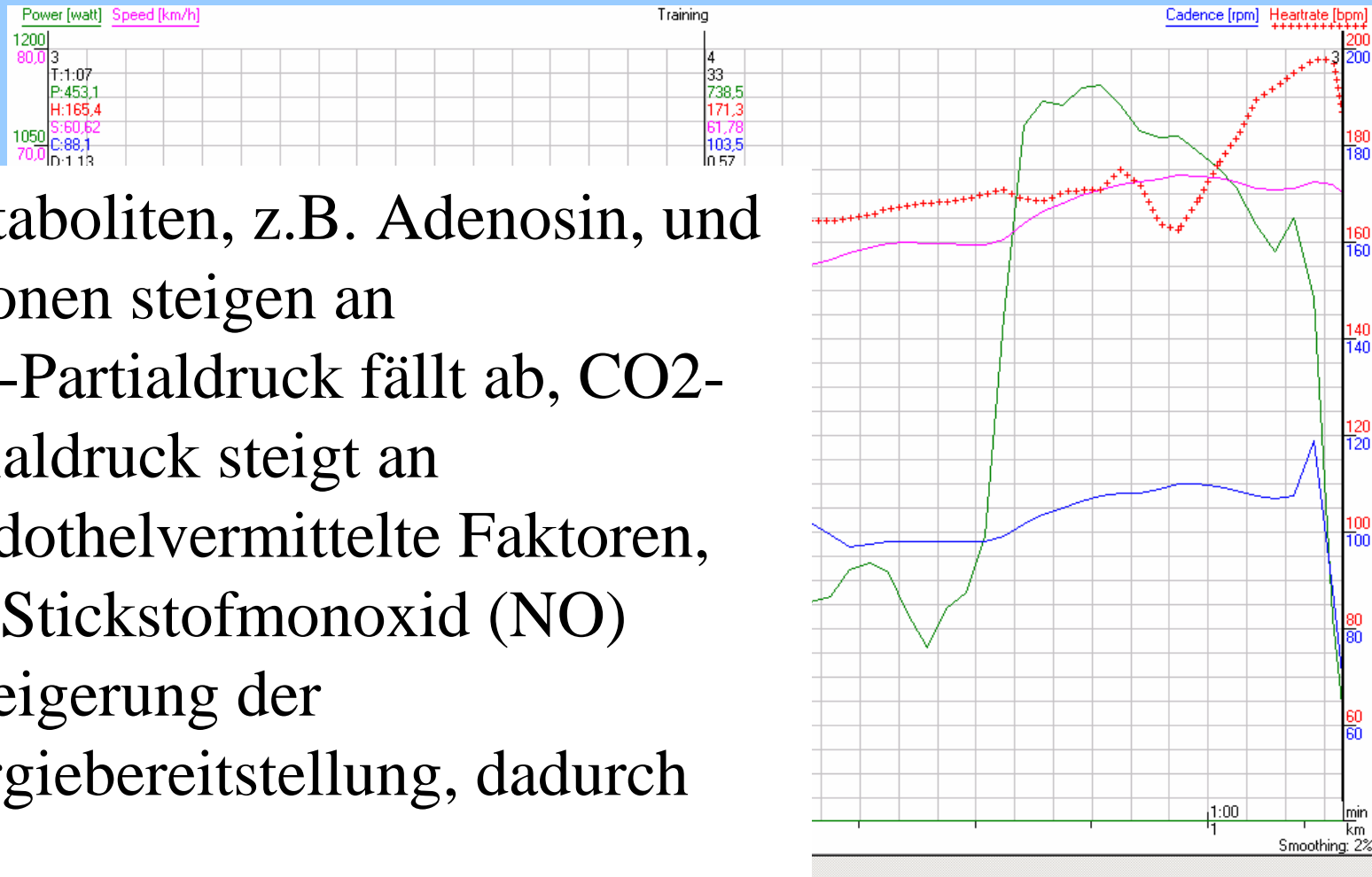
Kreislauf – unter Belastung



Kreislauf – unter Belastung



Kreislauf – unter Belastung



- Metaboliten, z.B. Adenosin, und K⁺-Ionen steigen an
- O₂-Partialdruck fällt ab, CO₂-Partialdruck steigt an
- Endothelvermittelte Faktoren, z.B. Stickstoffmonoxid (NO)
- Steigerung der Energiebereitstellung, dadurch S.O.

Adaptation Herz-Kreislauf – Das Sportherz



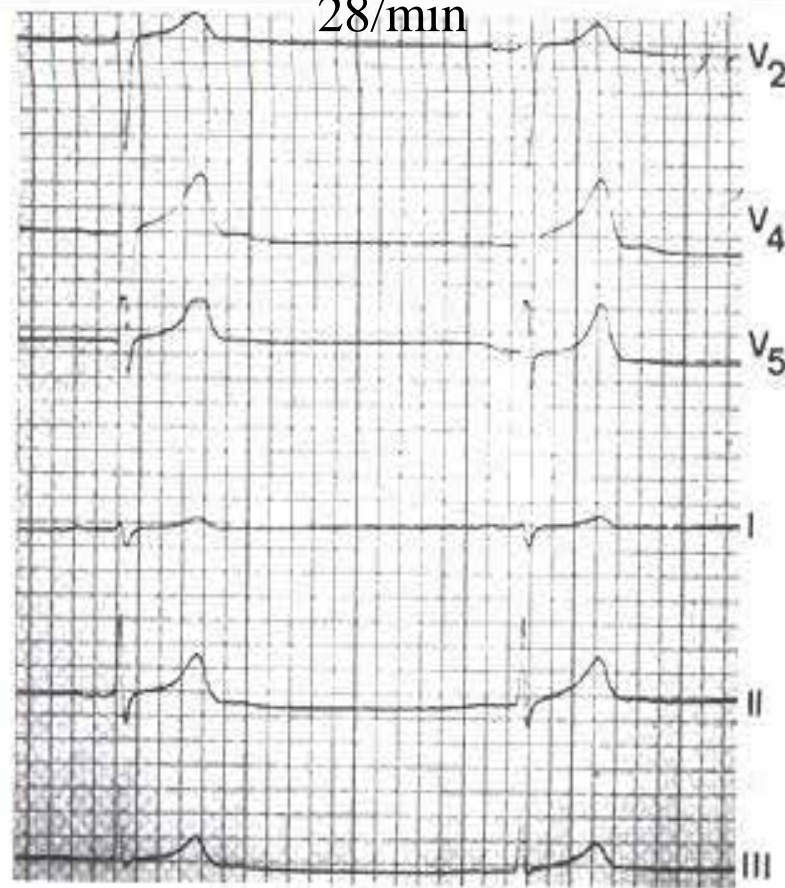
static exercise

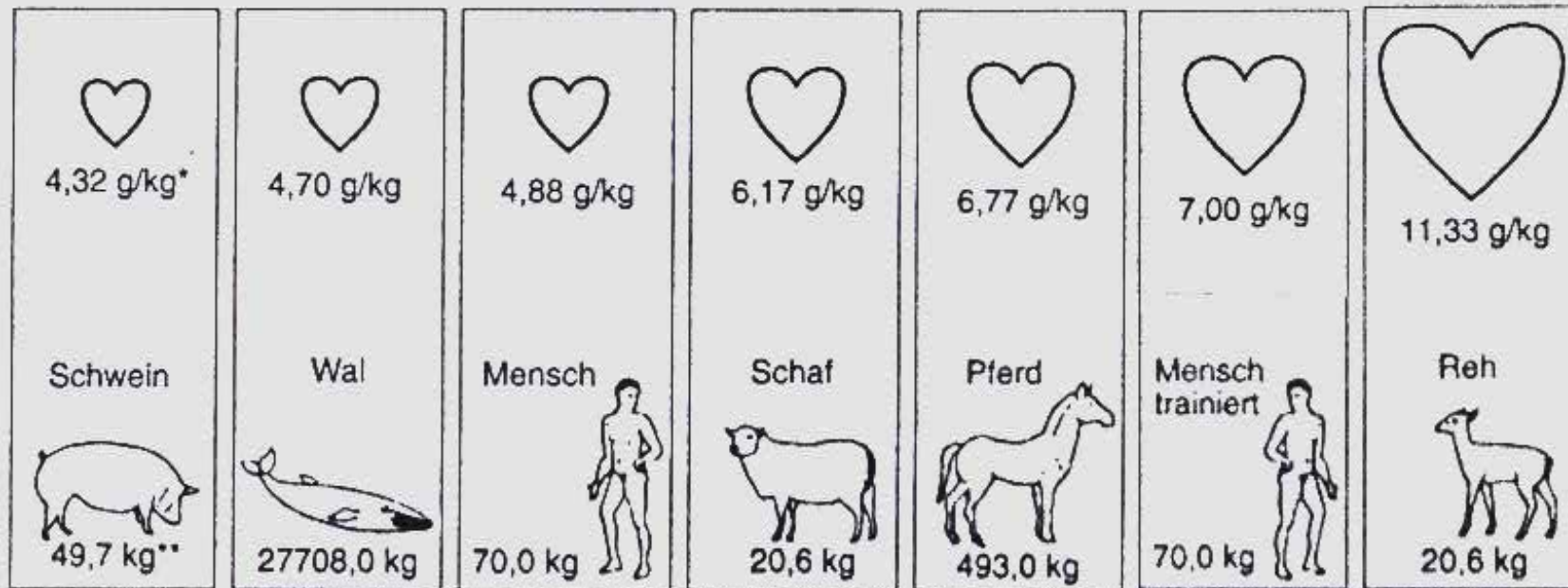
63/min



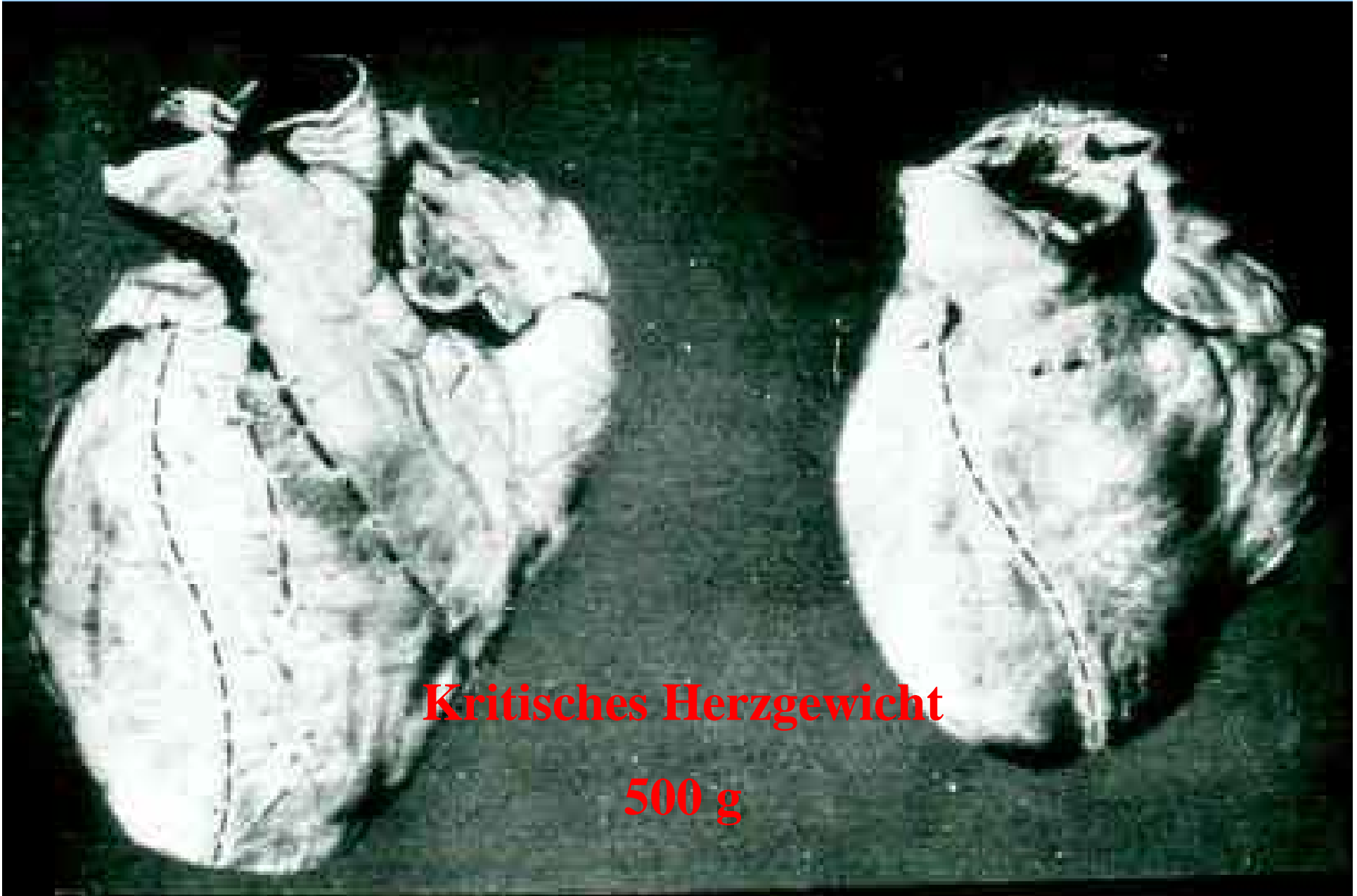
chronic dynamic exercise

28/min





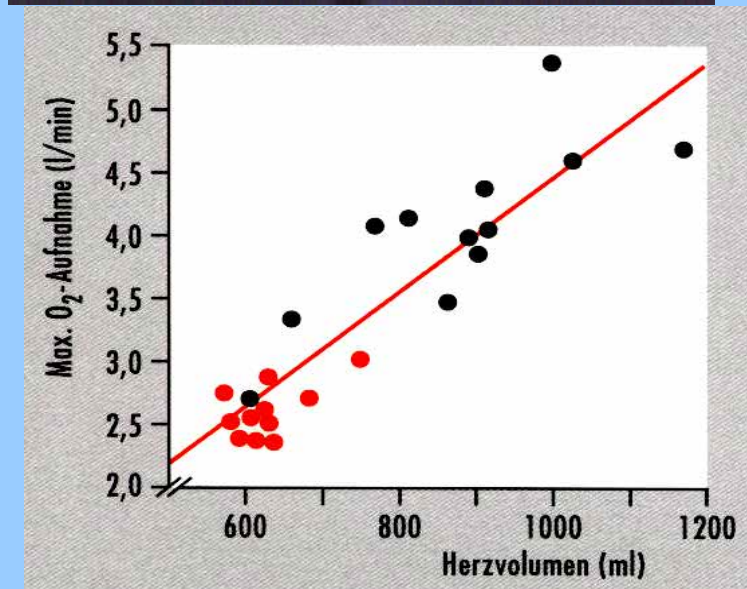
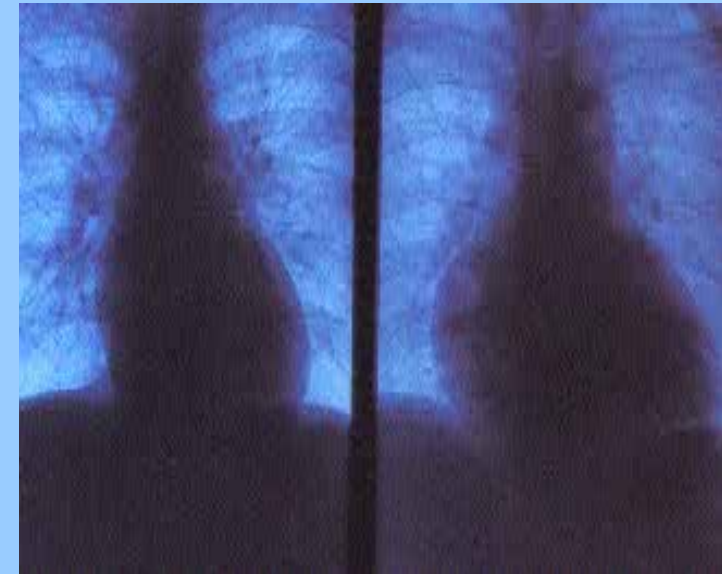
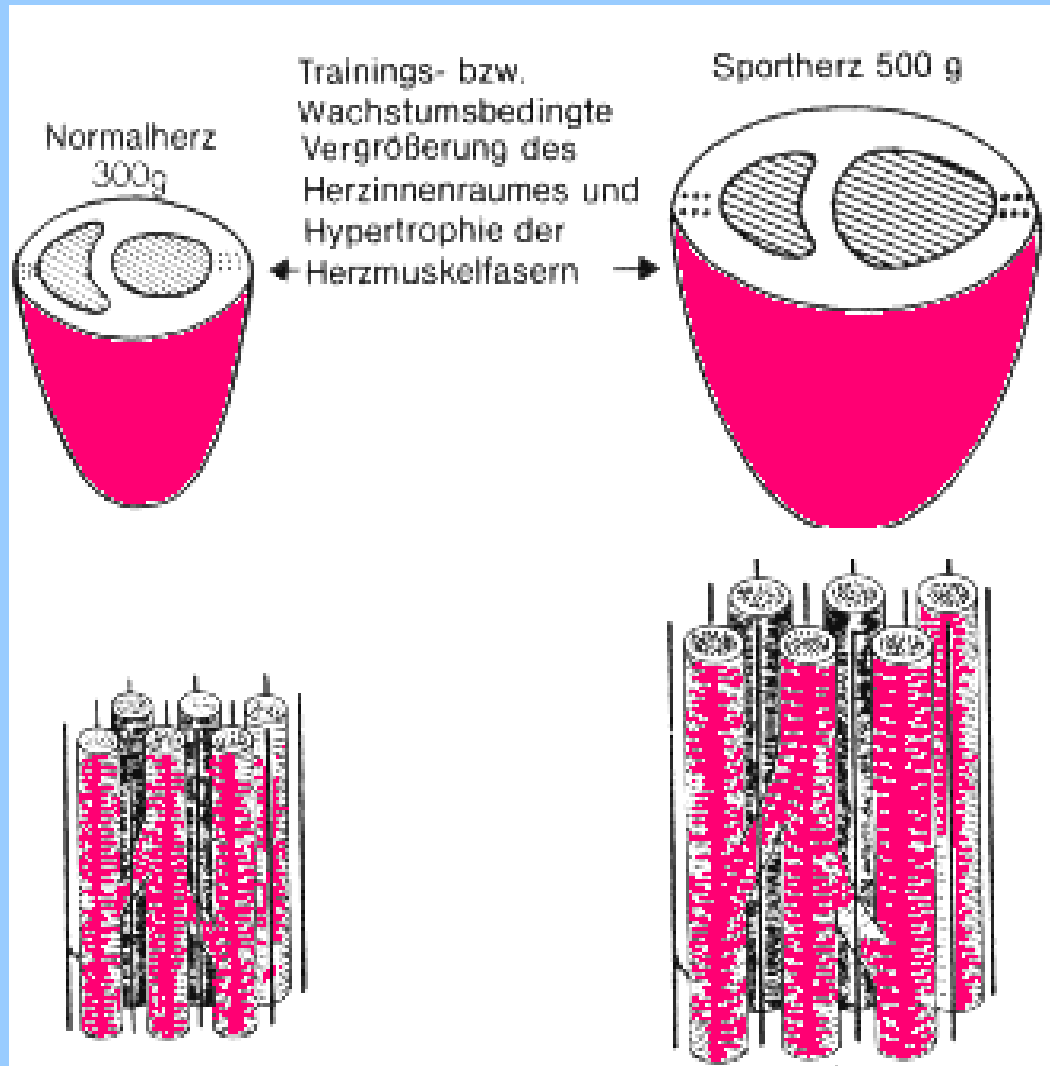
* Herzgewicht in Gramm pro Kilogramm Körpergewicht



Kritisches Herzgewicht

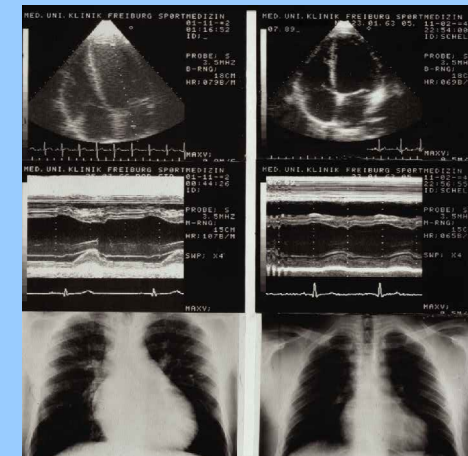
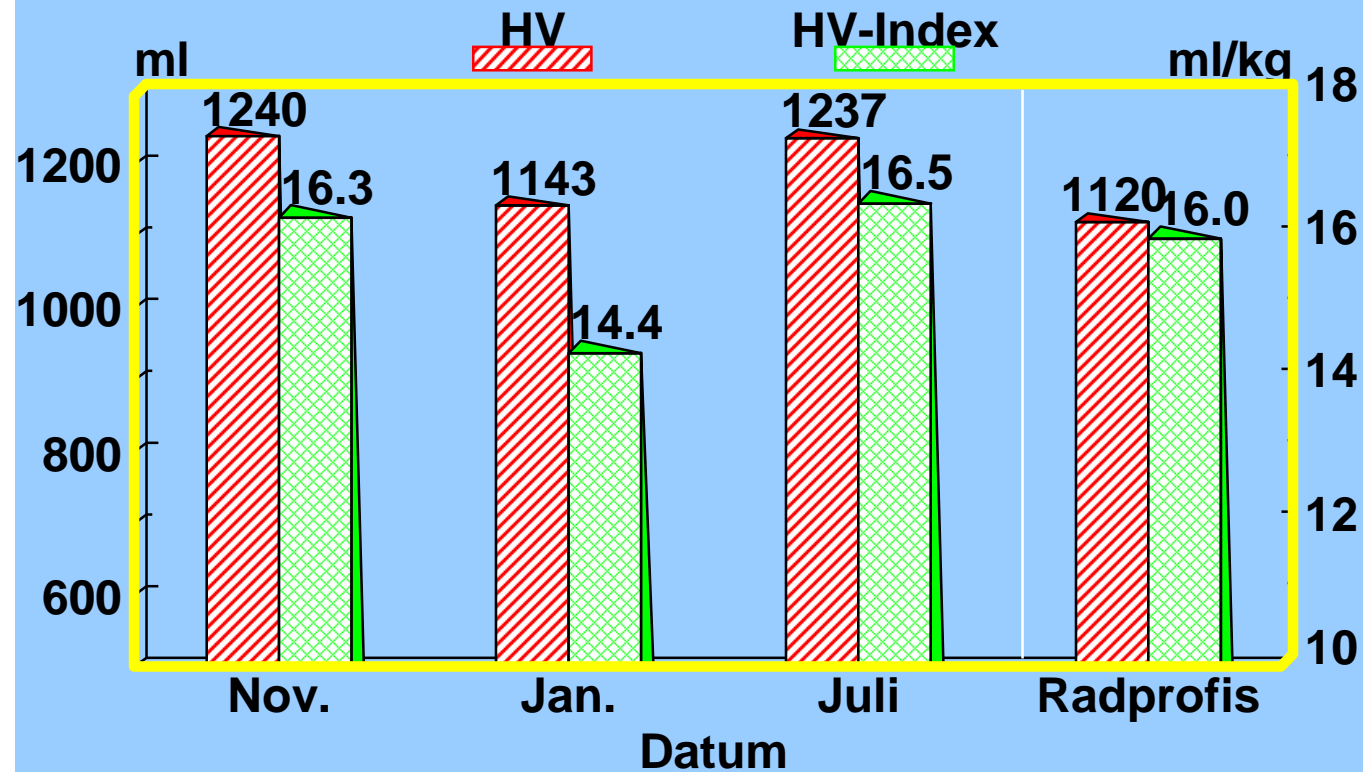
500 g

Adaptation Herz-Kreislauf - Das Sportherz

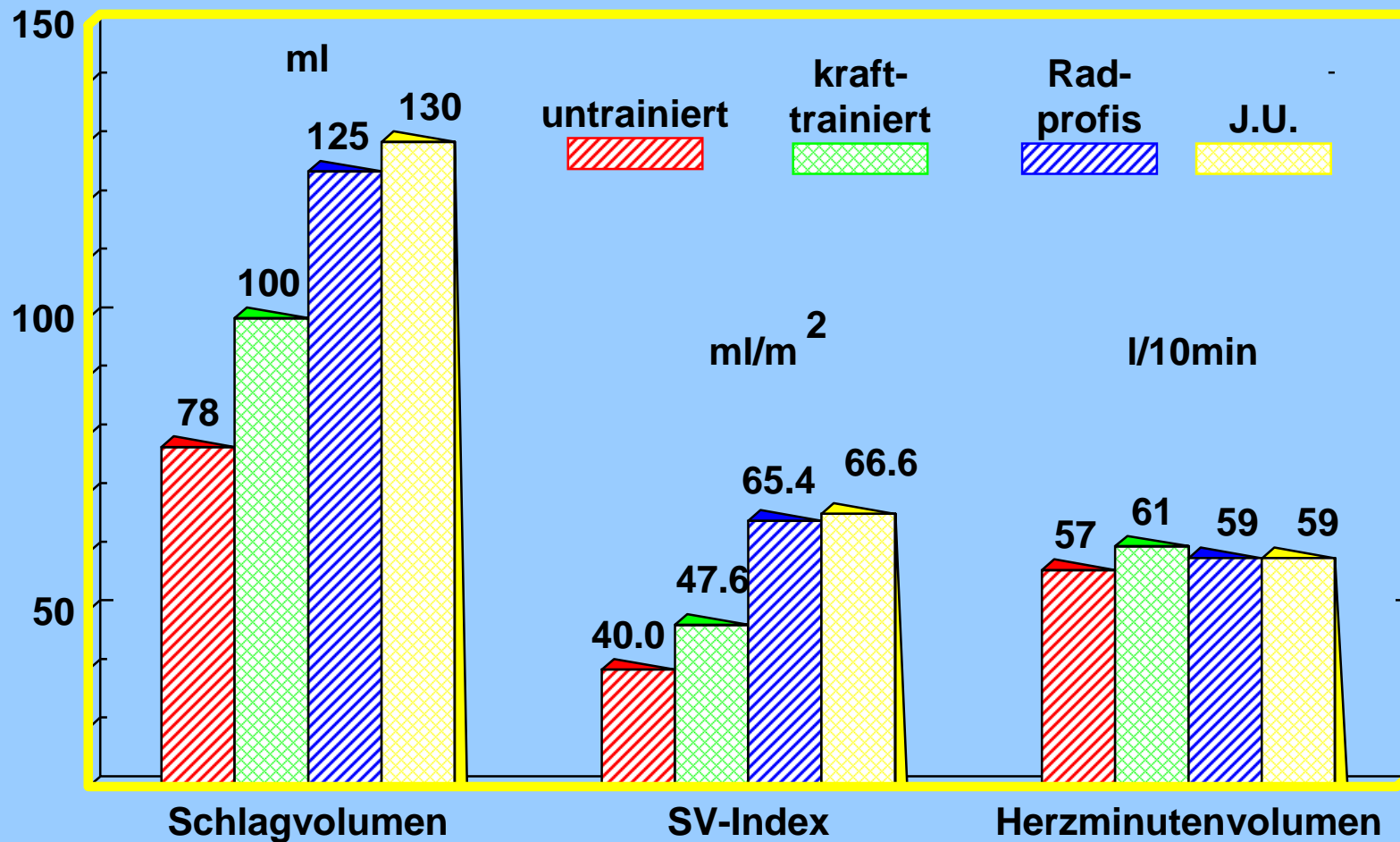


Adaptation Herz-Kreislauf - Das Sporthertz

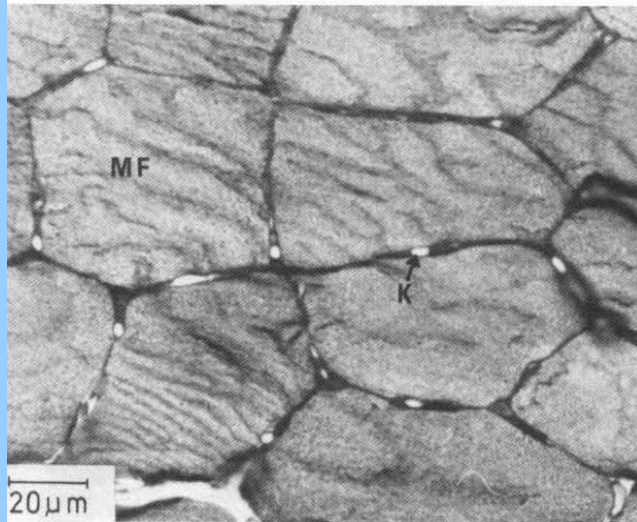
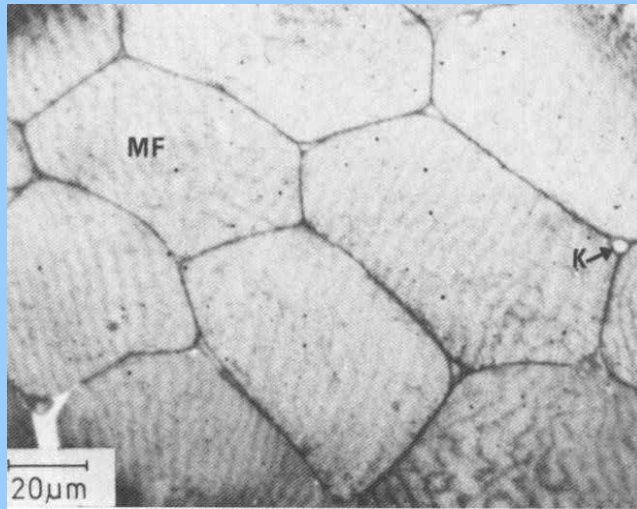
Normbereich < 700ml bzw. < 12 ml/kg KG



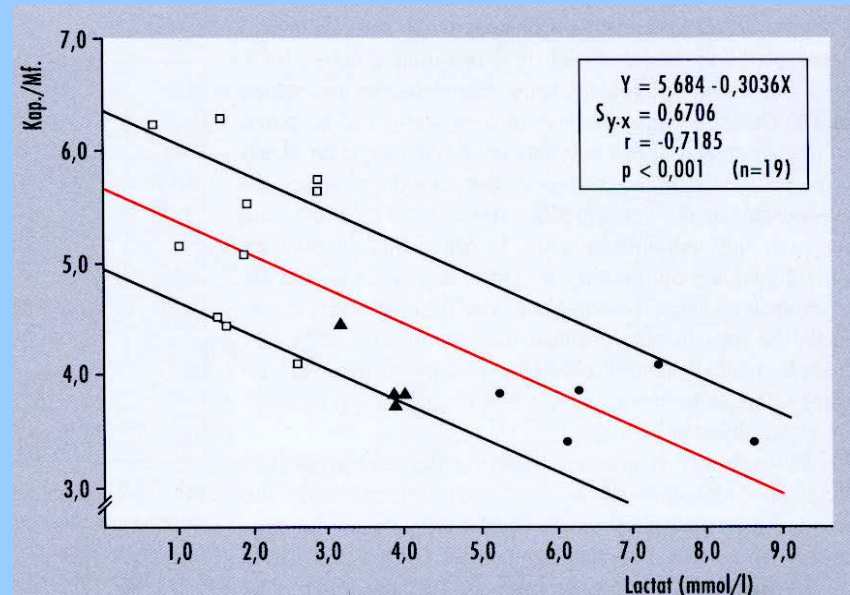
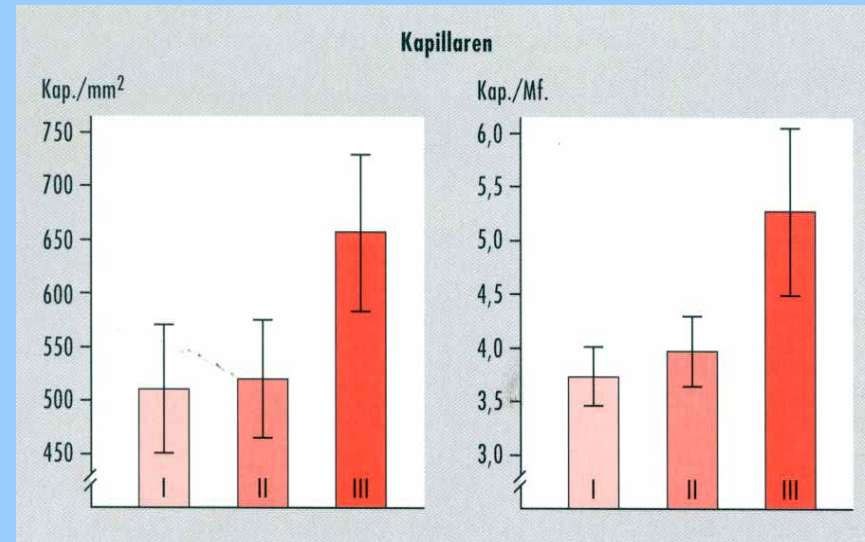
Absolutes und relatives kardiales Schlag- und Herzminutenvolumen



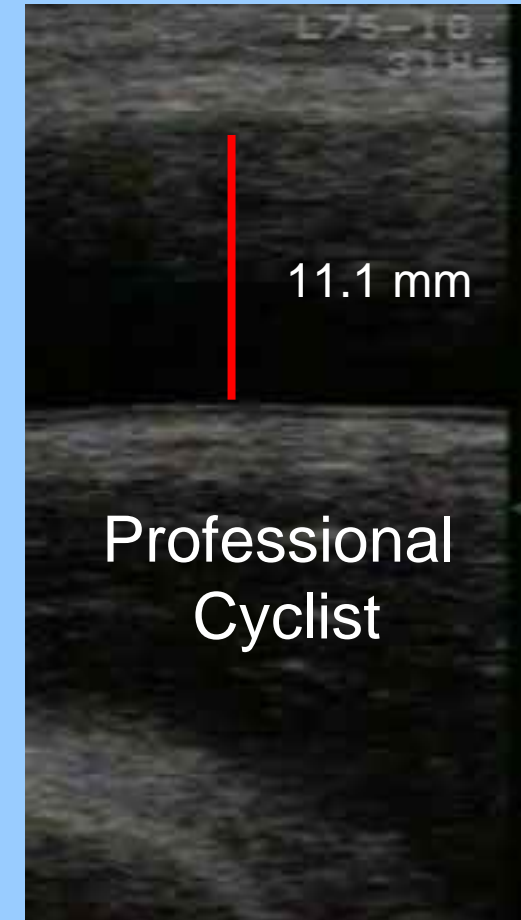
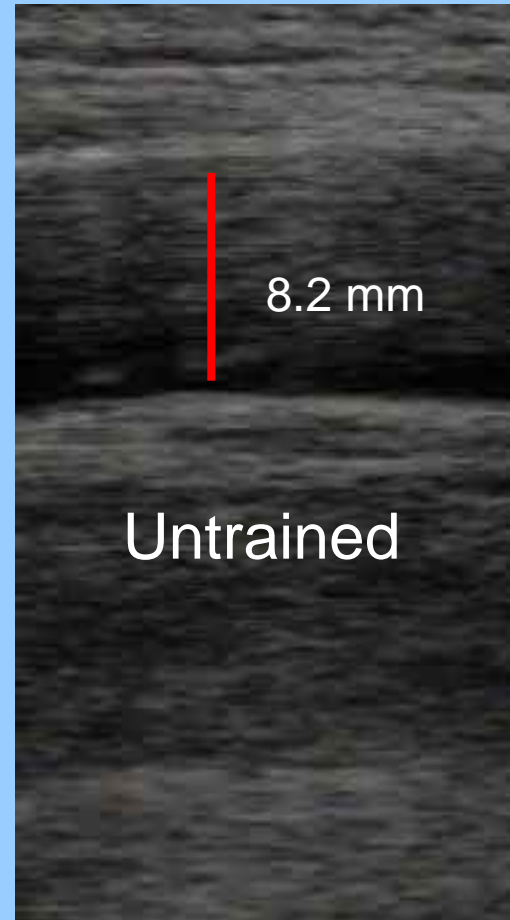
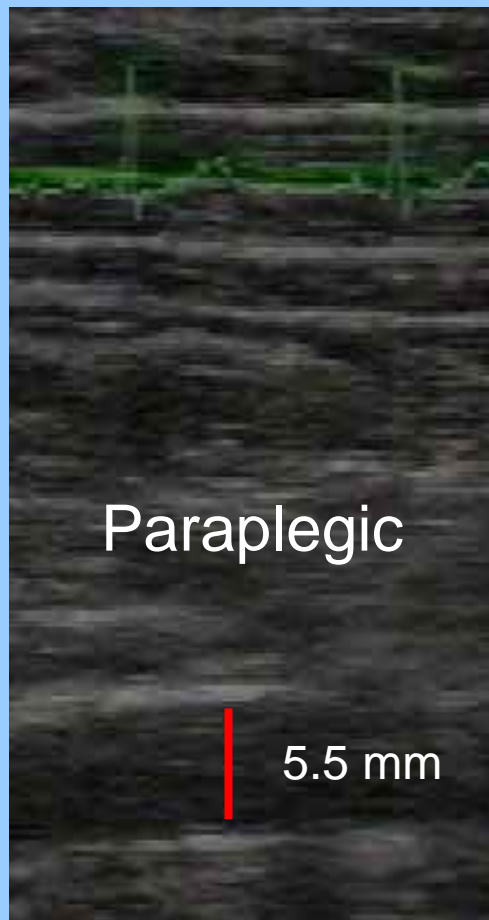
Adaptation Herz-Kreislauf - Kapillarisation



bb. 2.5-9. Querschnitt durch den M. vastus lateralis eines Untrainierten (oben) und eines Marathonläufers (unten). MF = Muskelfaser; K = Kapillare; Originalvergrößerung 720:1 (nach Schön et al., 1978).



Adaptation Herz-Kreislauf – Volumenerweiterung Arterien vom muskulären Typ

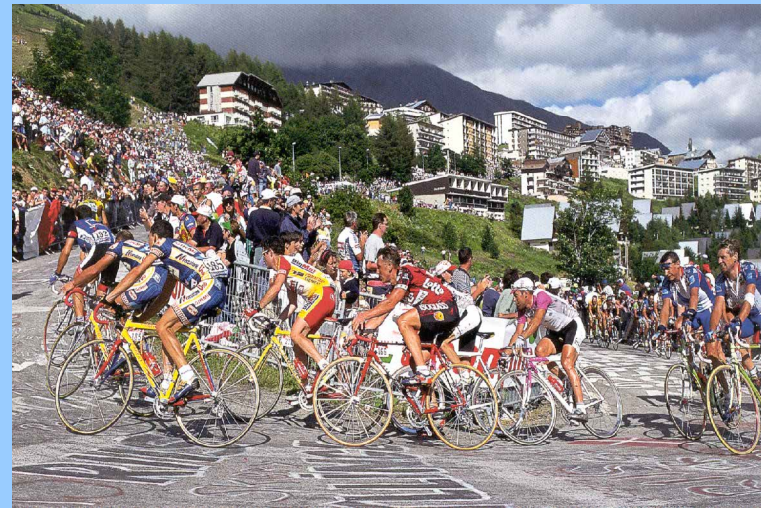


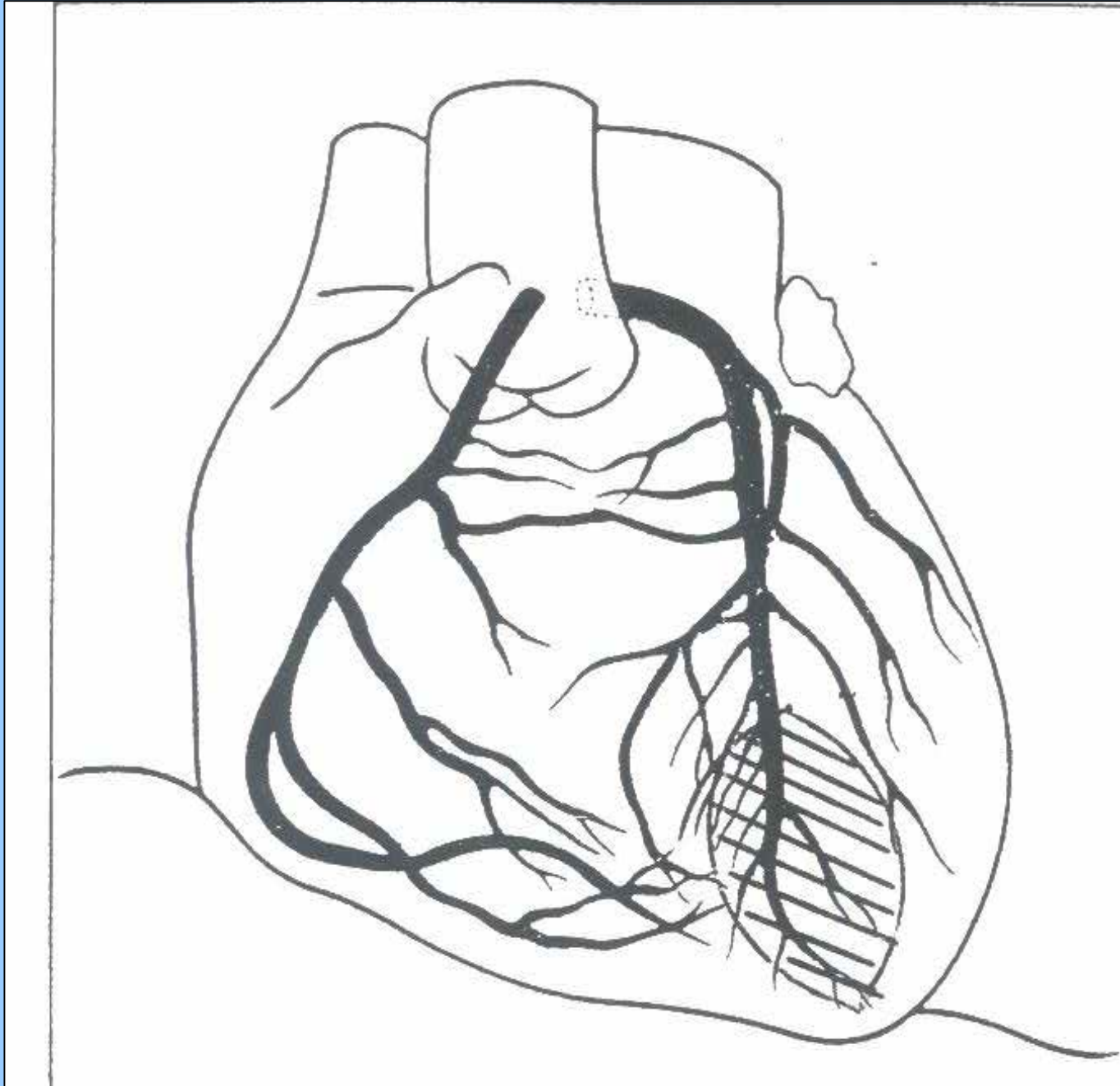
Schmidt-Trucksäss et al. J Appl Physiol 2000; 89, 1956-1963

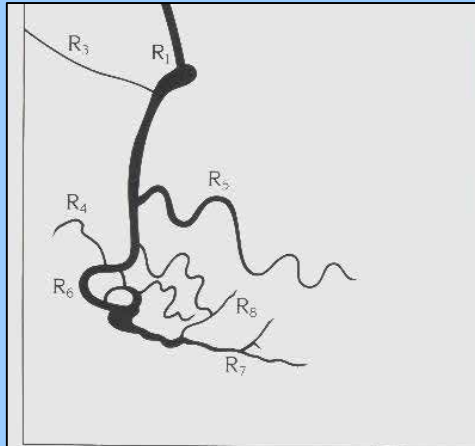
Training und Adaptation

Ausdauertraining/Zusammenfassung

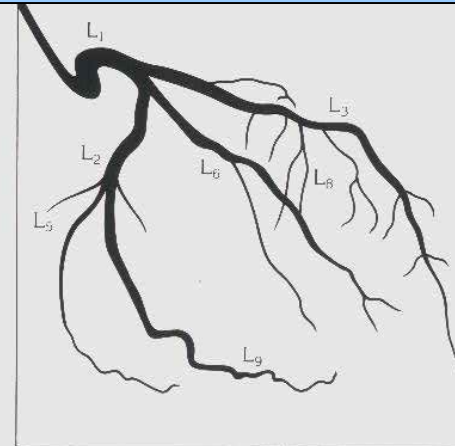
| Ausdauertraining | | |
|---------------------------------|--|----------------|
| Kardiozirkulatorische Anpassung | | |
| Breitensport | | Leistungssport |
| ↓ | Sympathoadrenerger Antrieb | ↓↓ |
| ↓ | Herzfrequenz | ↓↓ |
| ↓ | Blutdruck | ↓ |
| ↓ | Kontraktilität | ↓ |
| ↓ | Myokardialer O ₂ -Verbrauch | ↓↓ |
| ∅ | Herzgröße | ↑↑ |
| ↑ | Schlagvolumen | ↑↑ |
| (↑) | Kapillarisation | ↑ |



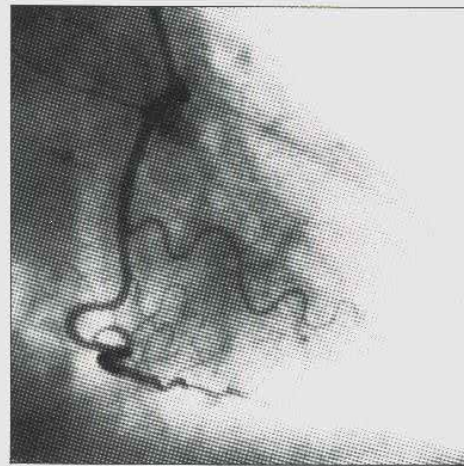




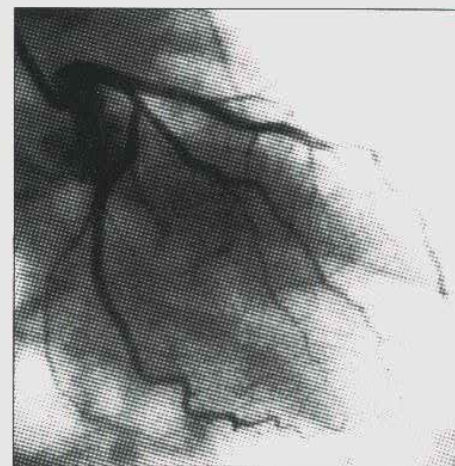
rechte Koronararterie



linke Koronararterie



rechter Koronararterienbaum in RAO



linke Koronararterienbaum in RAO

Art der funktionellen Störung

- Stenose
- Insuffizienz

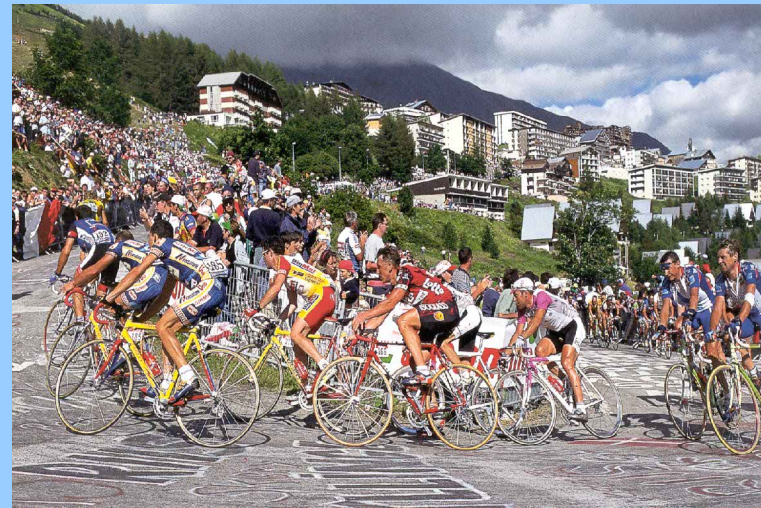
Auswirkung der funktionellen Störung

- Druckbelastung
- Volumenbelastung

Training und Adaptation

Ausdauertraining/Zusammenfassung

| Ausdauertraining | | |
|---------------------------------|--|----------------|
| Kardiozirkulatorische Anpassung | | |
| Breitensport | | Leistungssport |
| ↓ | Sympathoadrenerger Antrieb | ↓↓ |
| ↓ | Herzfrequenz | ↓↓ |
| ↓ | Blutdruck | ↓ |
| ↓ | Kontraktilität | ↓ |
| ↓ | Myokardialer O ₂ -Verbrauch | ↓↓ |
| ∅ | Herzgröße | ↑↑ |
| ↑ | Schlagvolumen | ↑↑ |
| (↑) | Kapillarisierung | ↑ |



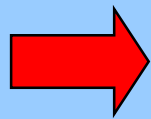
| Ausdauertraining | | |
|------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Metabolische Anpassung | | |
| Breitensport | | Leistungssport |
| ↓ | Catecholamine | ↓↓ |
| ↑ | O ₂ -Aufnahmefähigkeit | ↑↑ |
| ↑ | Leistung/anaerobe Schwelle | ↑↑ |
| ∅ | Glykolyse | (↑) |
| ↓ | Lactatproduktion | ↓↓ |
| (↑) | Lipolyse | ↑ |
| ↑ | Lipidutilisation | ↑↑ |
| ↑ | HDL-/LDL-Cholesterin | ↑ |



Adaptation Herz-Kreislauf - Das Sportherz

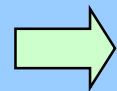
- ➡ Ökonomisierung der Herzarbeit ↑
- ➡ maximale Sauerstoffaufnahme ↑
- ➡ Normalisierung des Blutdruckes ↑
- ➡ Balancierung des Vegetativums ↑

Adaptation Herz-Kreislauf - Das Sportherz

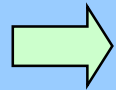


Sympathikotonus ↓

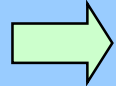
Vagotonus ↑



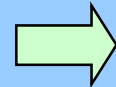
Vasodilatation ↑



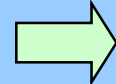
Herzfrequenz ↓



Blutdruck ↓



Kontraktilität ↓



Myokardialer O₂-Verbrauch ↓