

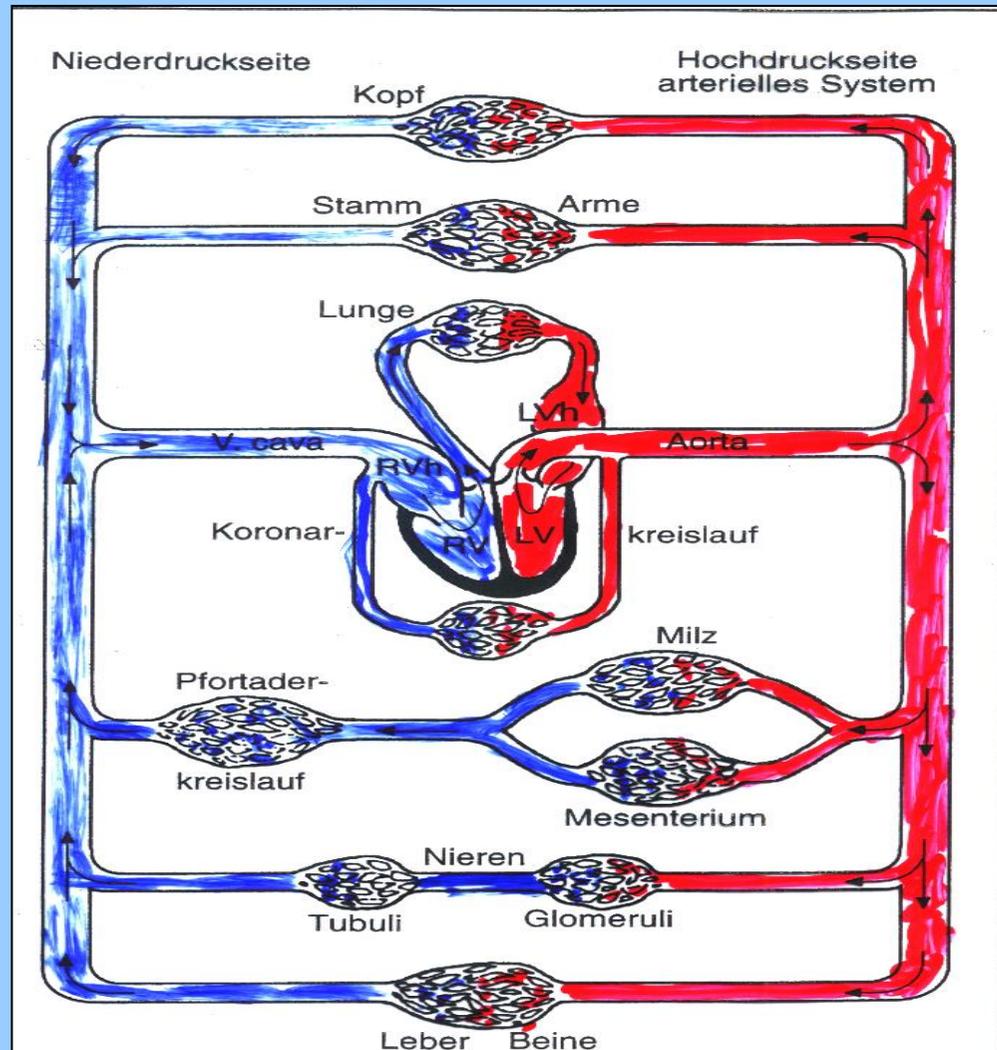
Herz-Kreislauf- System

Andreas Schmid

Medizinische Universitätsklinik Freiburg

Abt. Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

Herz-Kreislauf-System – Funktion

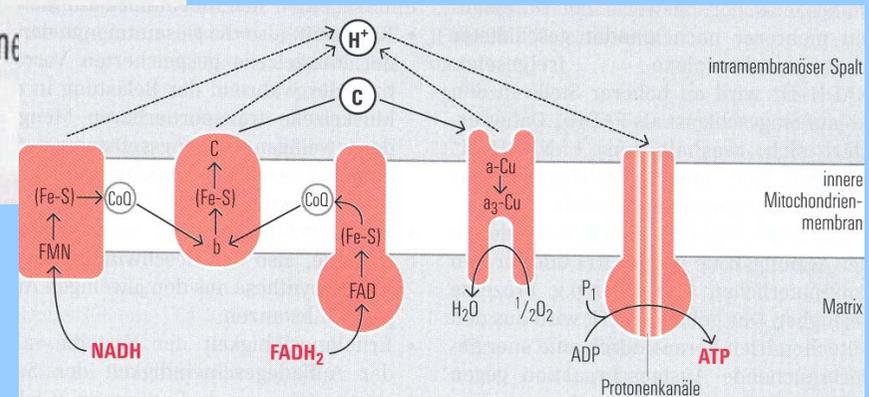
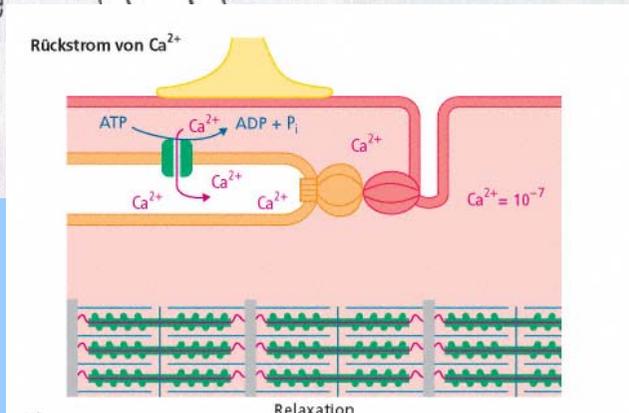
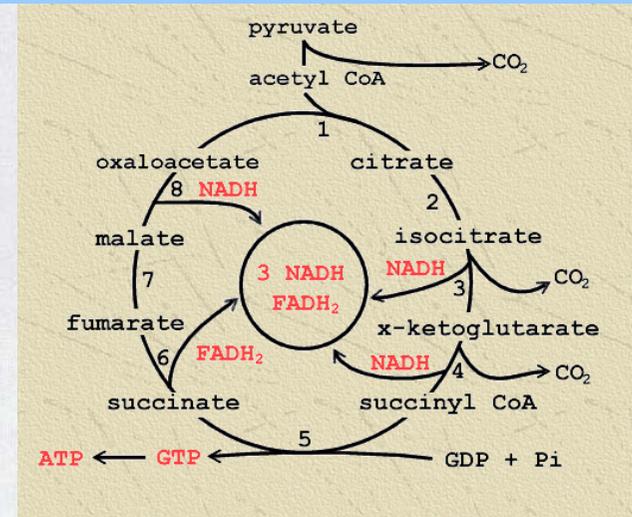
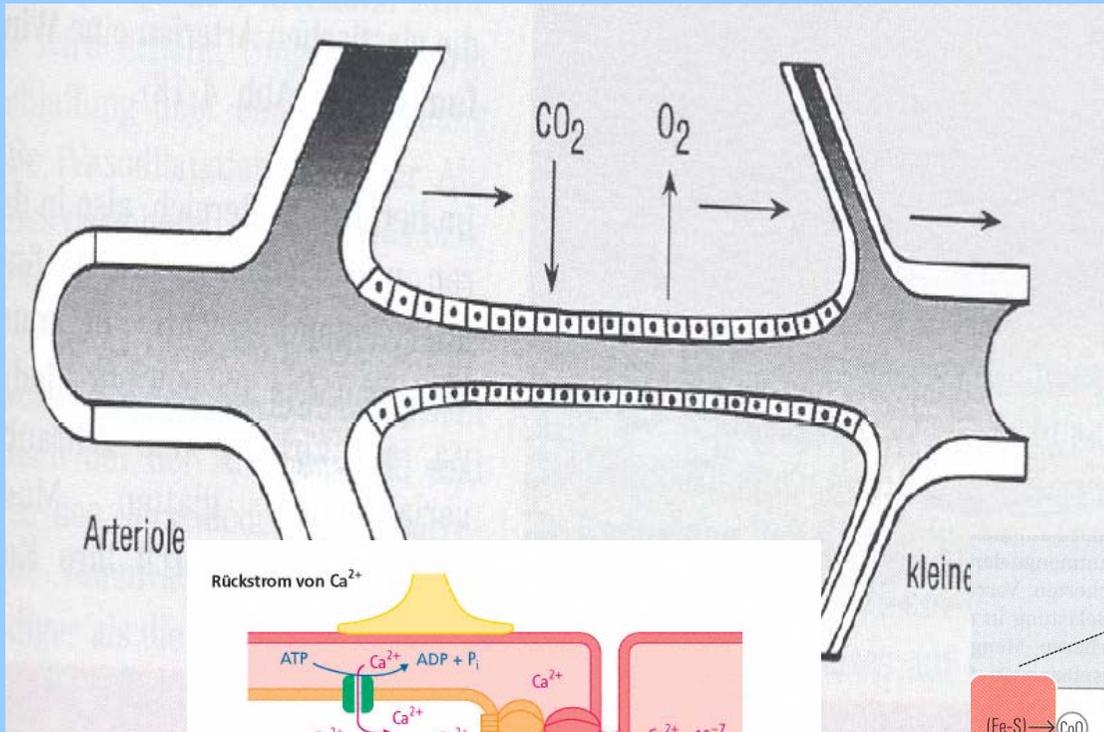


Venen

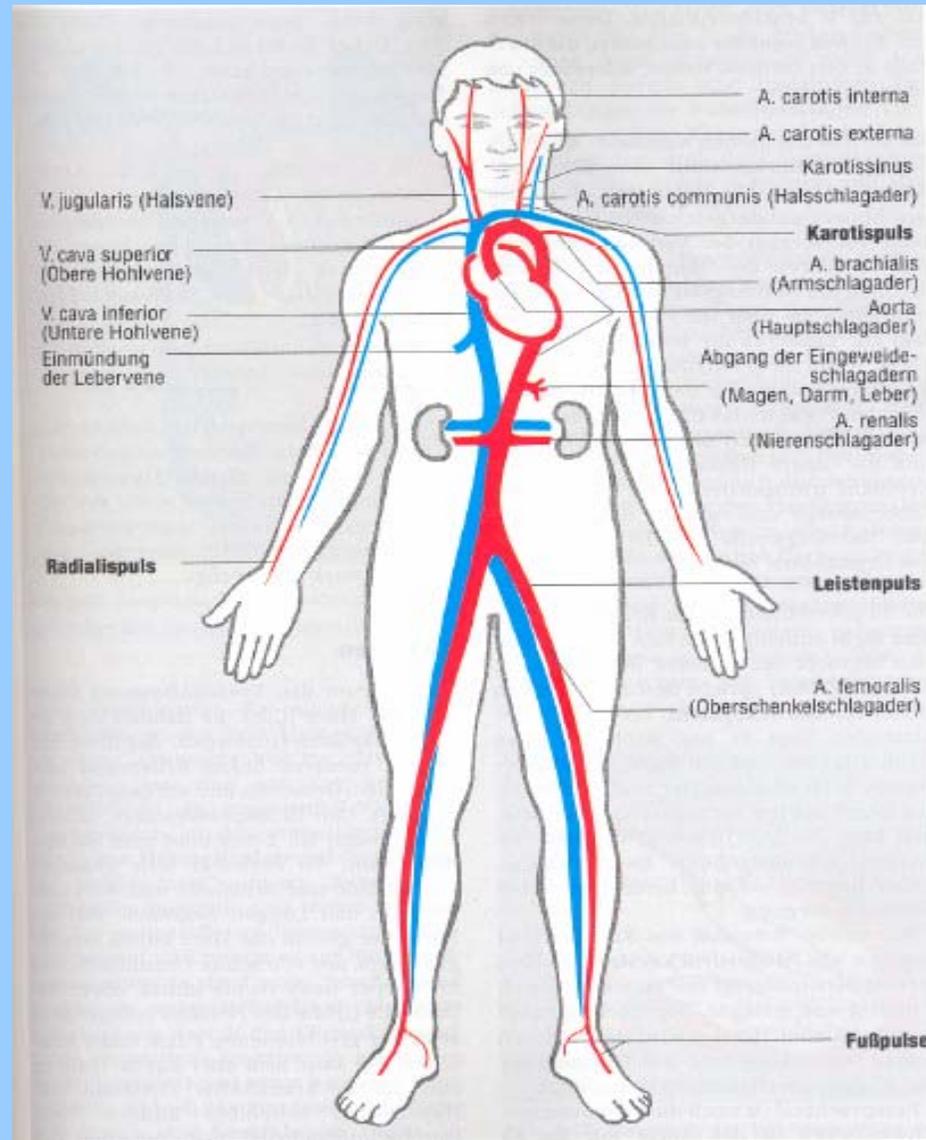
Arterien

Herz-Kreislauf-System – Aufgaben im Sport

Energieträger



Herz-Kreislauf-System



Physiologie des Herzens

Physiologie der Gefäße

Herz – Warum schlägt das Herz ??



Herz – Warum schlägt das Herz ??



Muskel

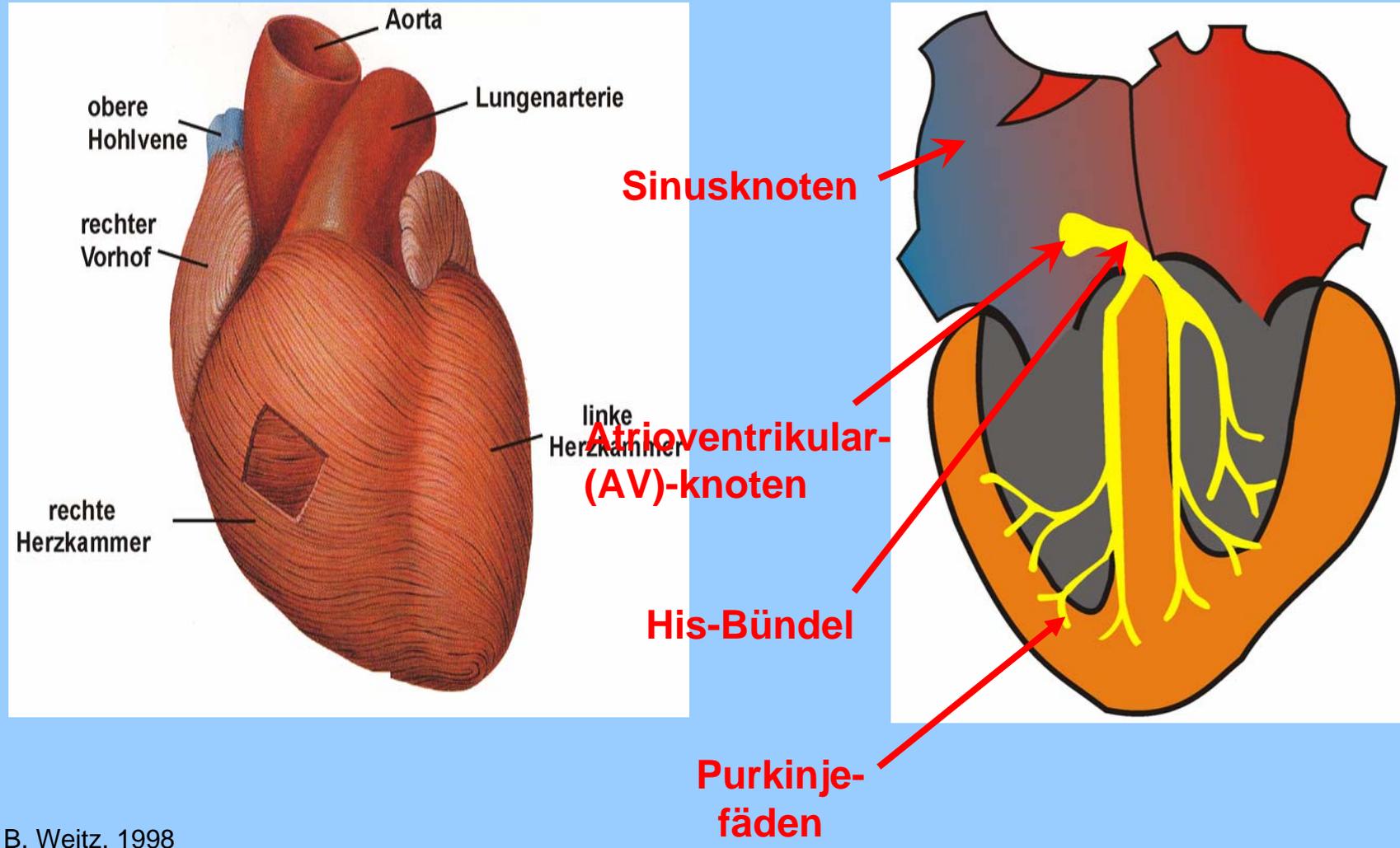
Autorhythmie

“Schrittmacherzentren”
übergeordnet Sinusknoten

Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung

- Spontane Reizentstehung, d.h. ohne Nervenimpuls, und dadurch Kontraktion
- Wirkungsvolle Kontraktion durch ein Netzwerk von spezialisierte Muskelfasern mit besserer elektrophysiologische Leitfähigkeit als Kontraktionsfähigkeit (niedrigere spontane Erregungsschwelle als die übrigen Zellen, daher kontrollieren und synchronisieren sie den Kontraktionsvorgang)

Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung



Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung

- Das Erregungsleitungssystem besteht aus
 - Sinusknoten
 - AV-Knoten (Atrioventrikulärknoten)
 - Hissches Bündel
 - Kammerschenkel (rechter und linker Tawara-Schenkel)
 - Purkinje Fasern

Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung

Sinusknoten

- Die Erregungsimpulse gehen vom Sinusknoten aus (Pacemaker = Schrittmacher), liegt im rechten Vorhof an der Einmündungsstelle der V. cava superior. Vom Sinusknoten wird ein autonomer Kontraktionsrhythmus erzeugt, 60-80 Erregungen/Minute. Die Zellen des Sinusknoten leiten die Erregung an die Muskelzellen der Arbeitsmuskulatur des Vorhofs weiter.

Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung

AV-Knoten

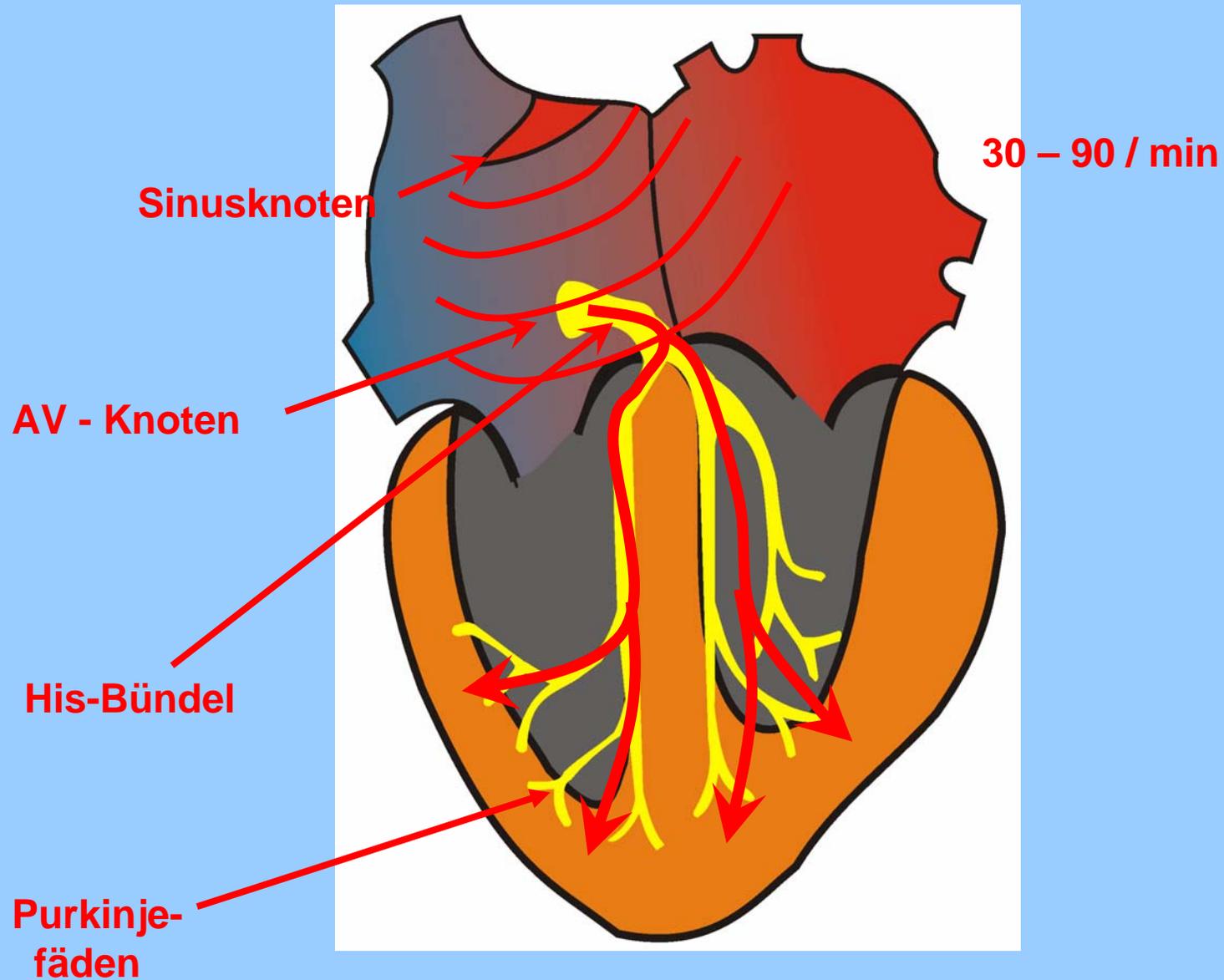
- Der AV-Knoten liegt in der Vorhofscheidewand. Der AV-Knoten erhält die Erregung vom Sinusknoten und leitet sie über das His'sche Bündel weiter. Dabei verzögert der AV-Knoten die Weiterleitung der Erregung zur Herzkammer hin um etwa 1/10 sek.
- Der AV-Knoten hat eine Eigenerregung mit einer Frequenz von 40 Schlägen/Minute. Fällt der Sinusknoten aus, übernimmt der AV-Knoten die Erregungsbildung.

Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung

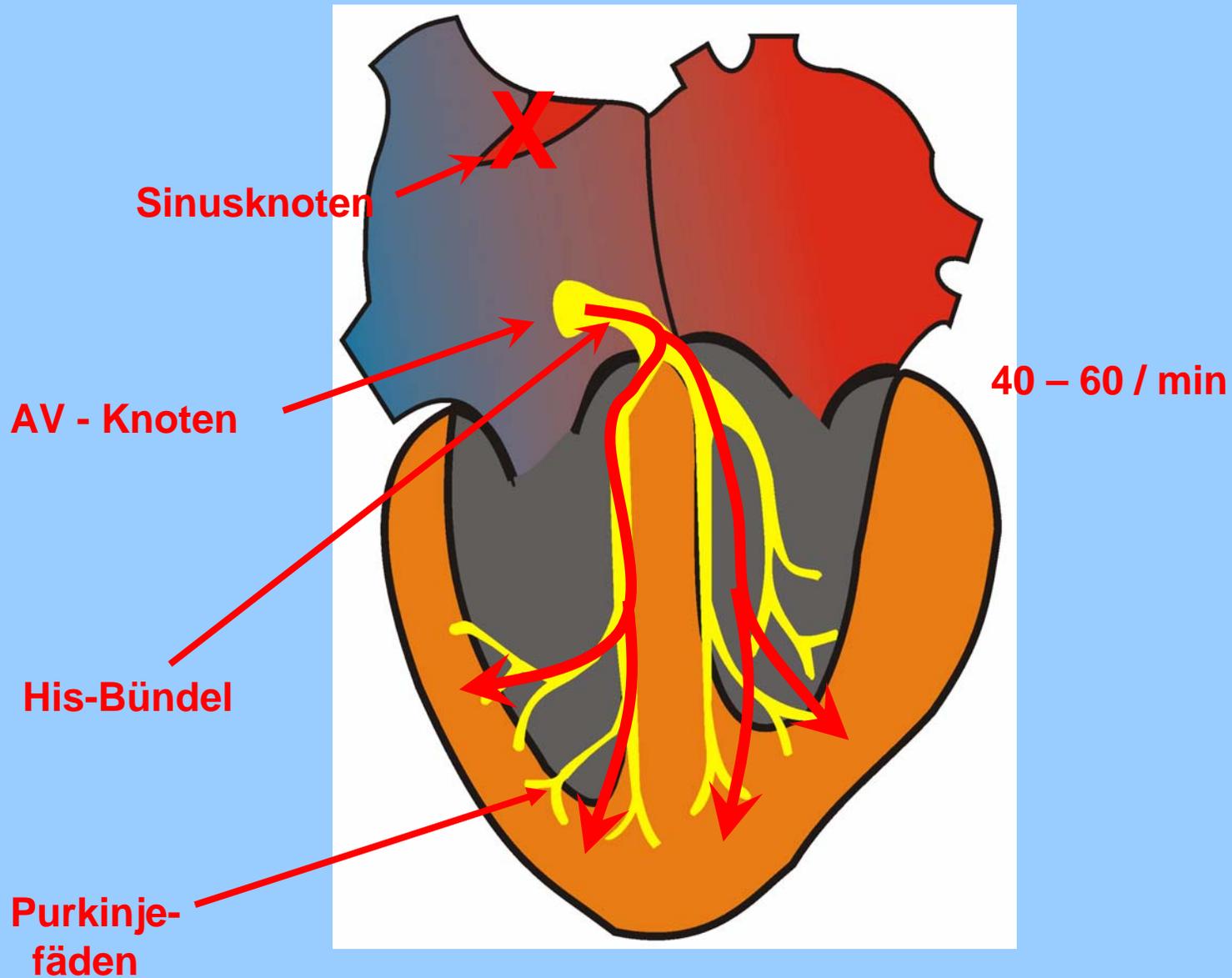
His'sches Bündel und Purkinje Fasern

- Das His'sche Bündel verbindet den Vorhof mit der Herzkammer.
- Die Ausläufer der beiden Kammerchen werden Purkinje-Fasern genannt.
- Innervation der Muskulatur der Herzkammer.

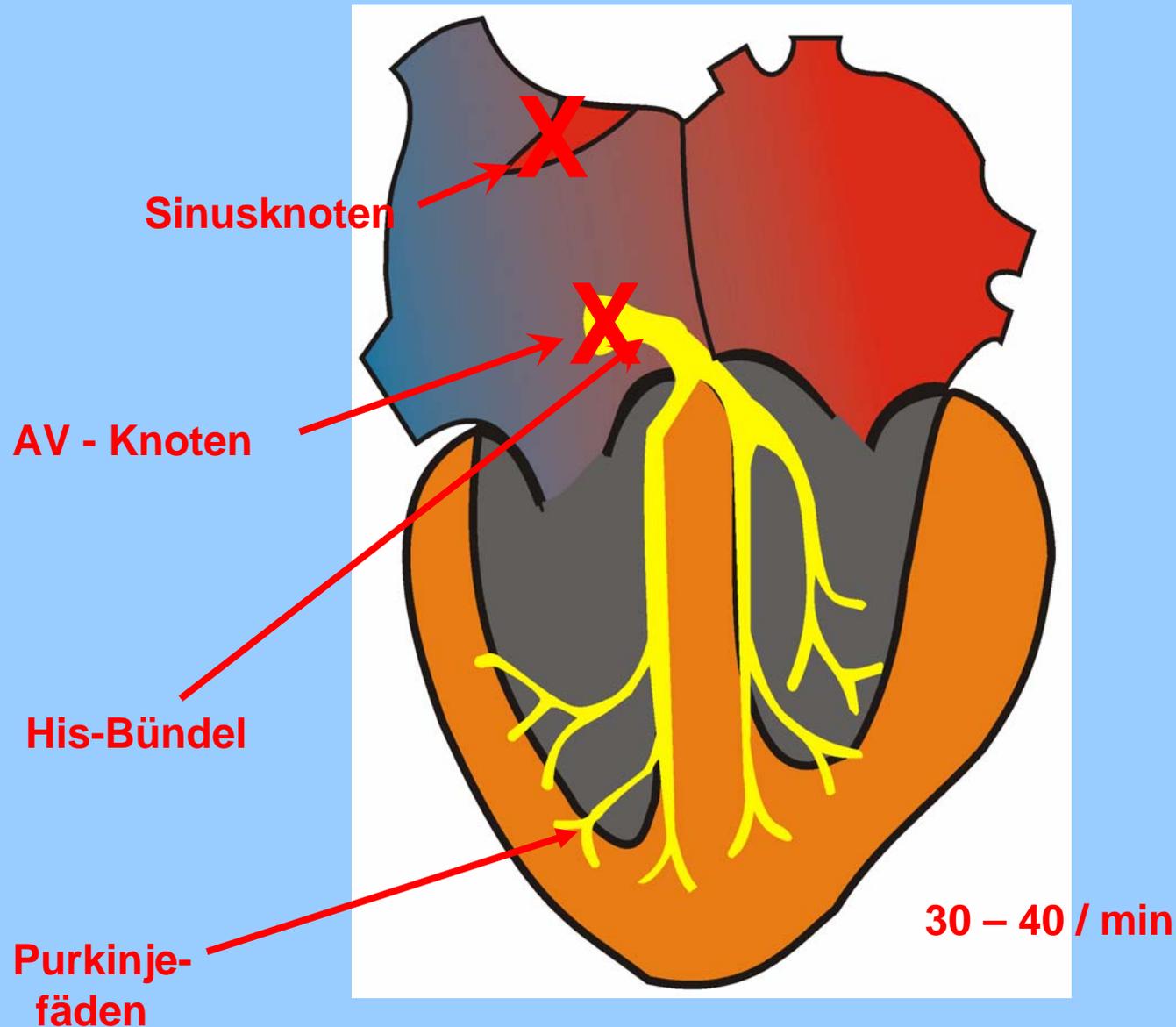
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



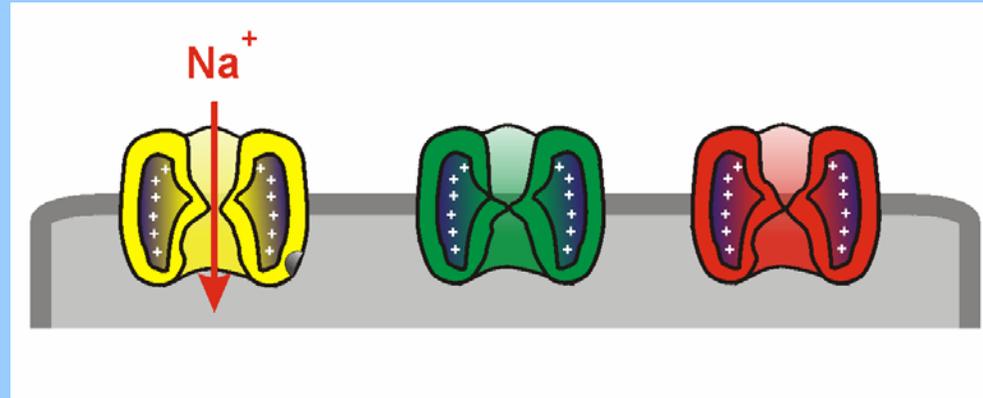
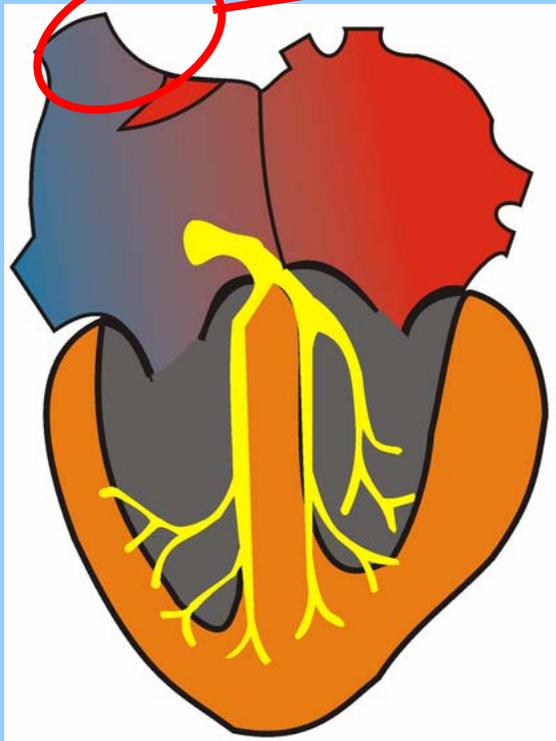
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum

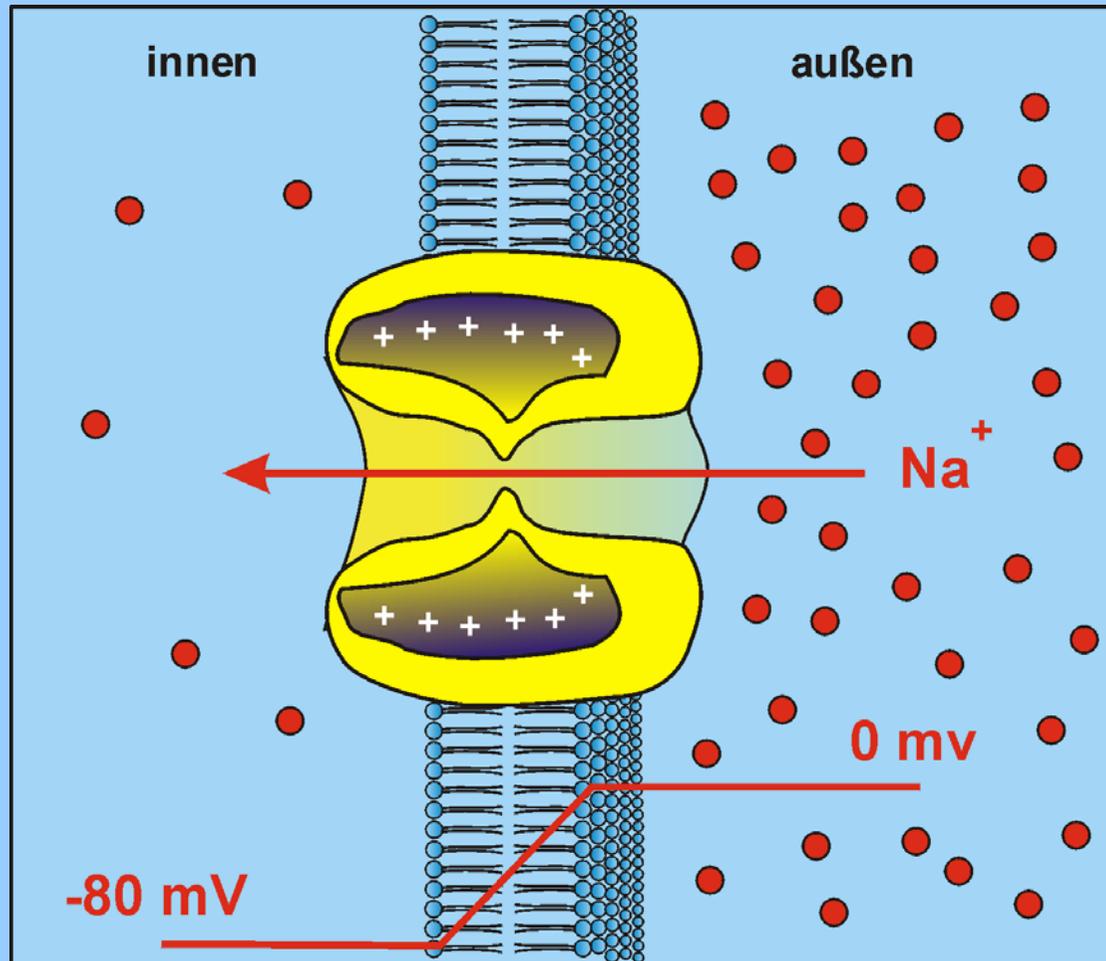


Spontane Depolarisation

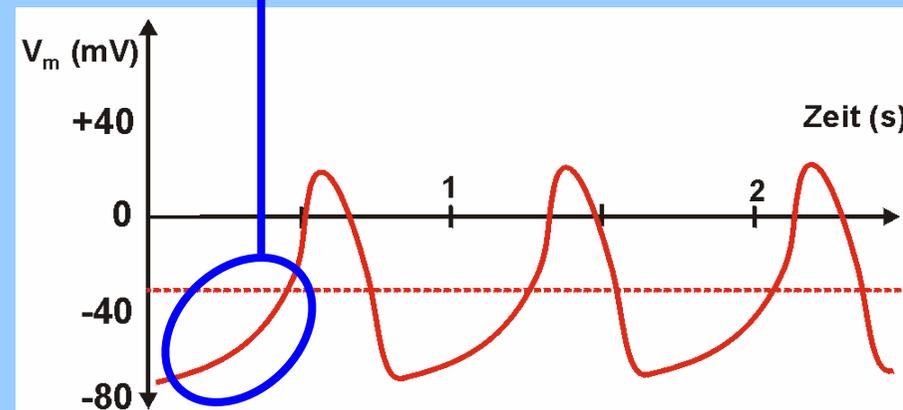
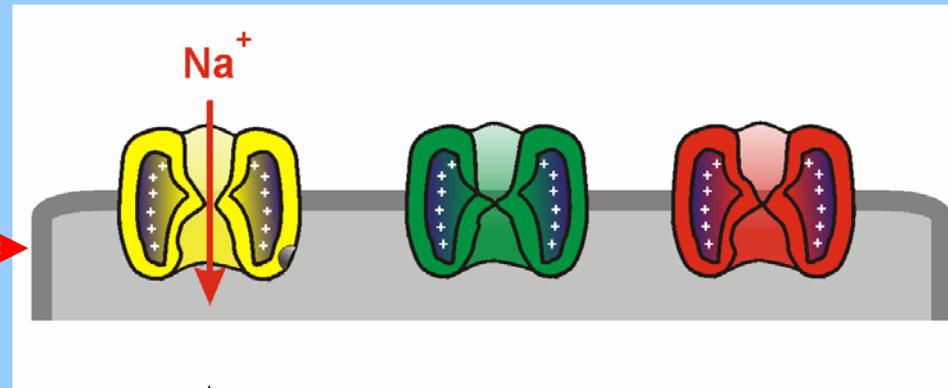
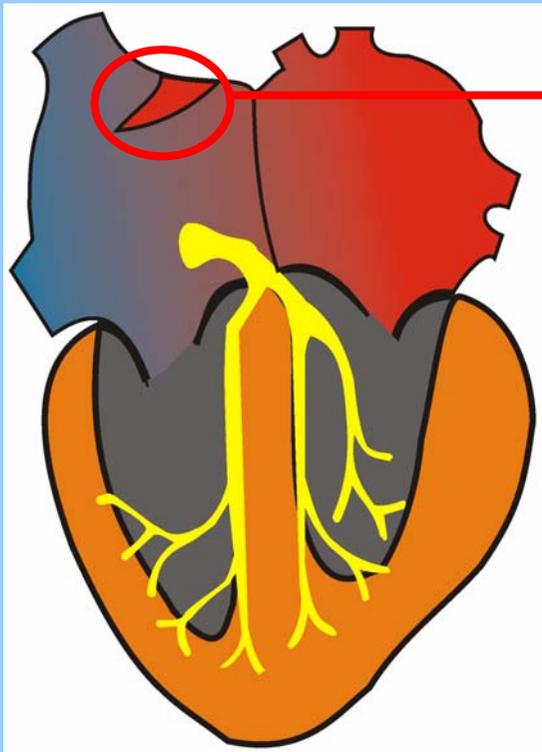
Autonomer

Kontraktionsrhythmus

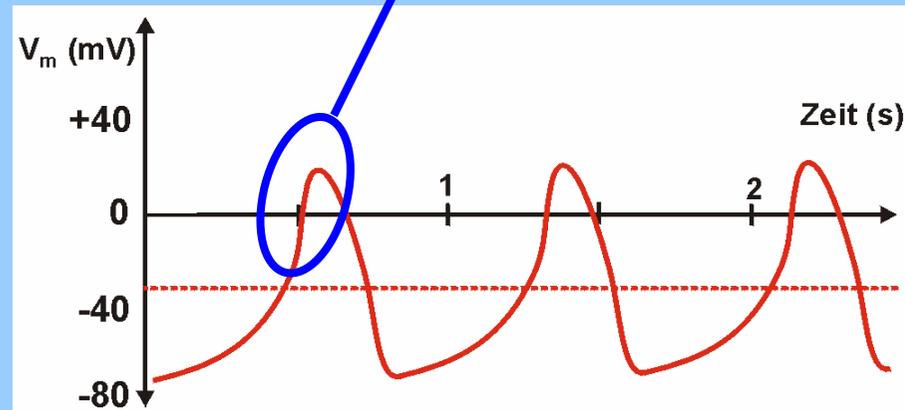
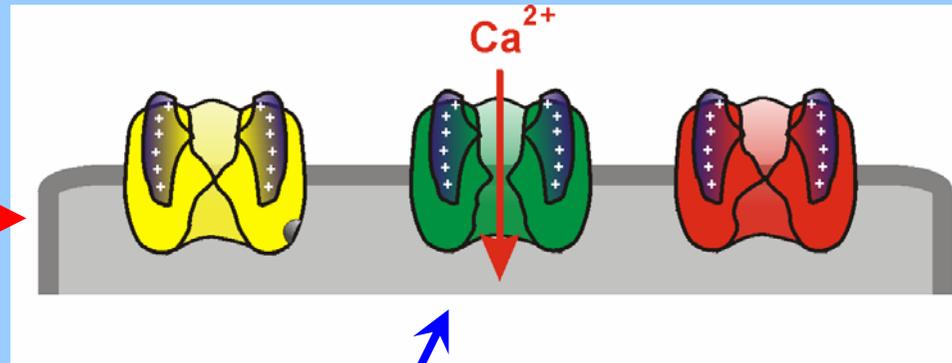
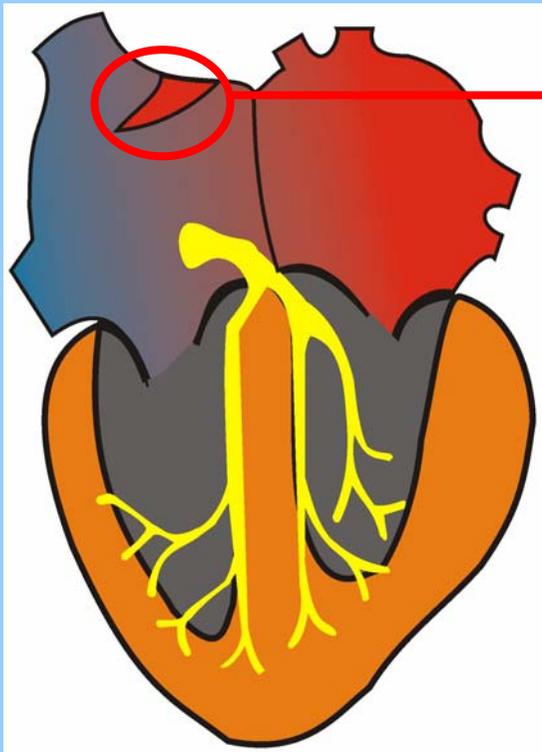
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



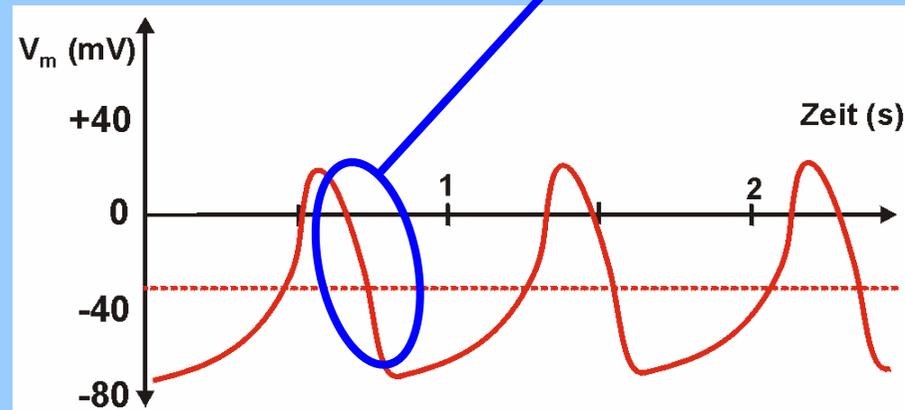
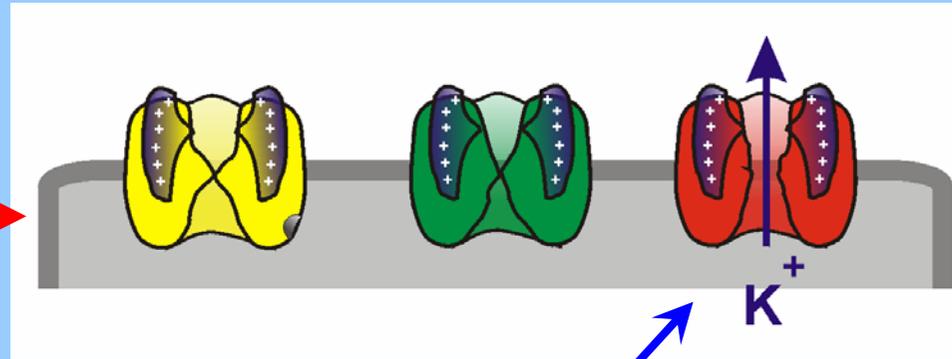
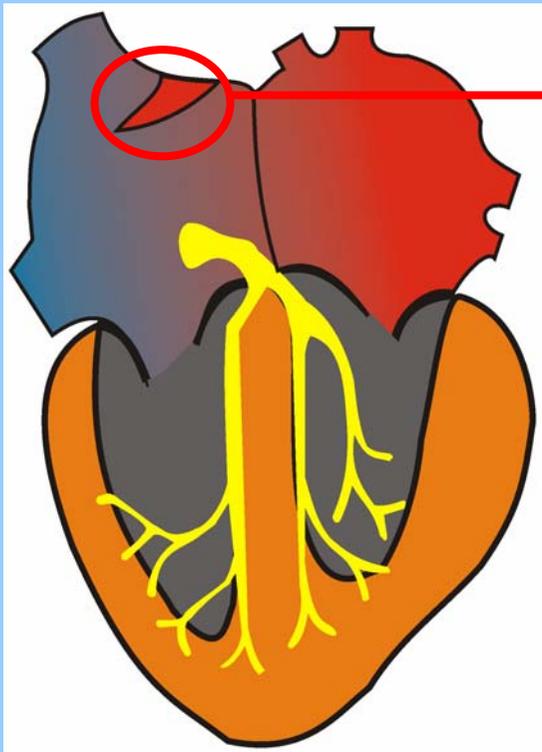
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



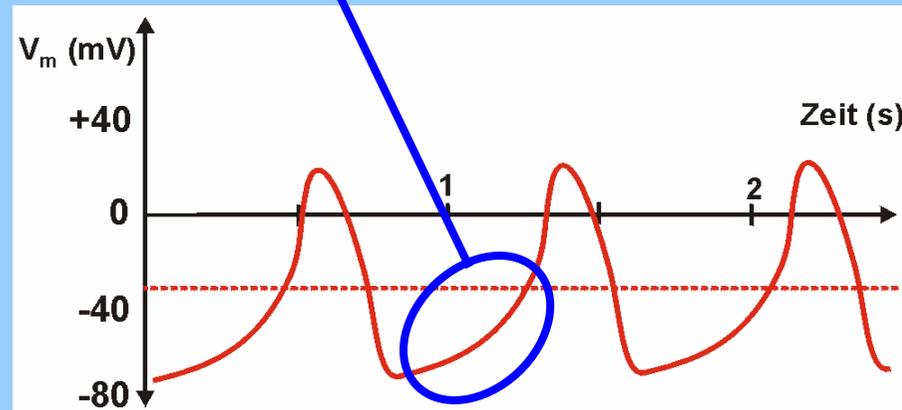
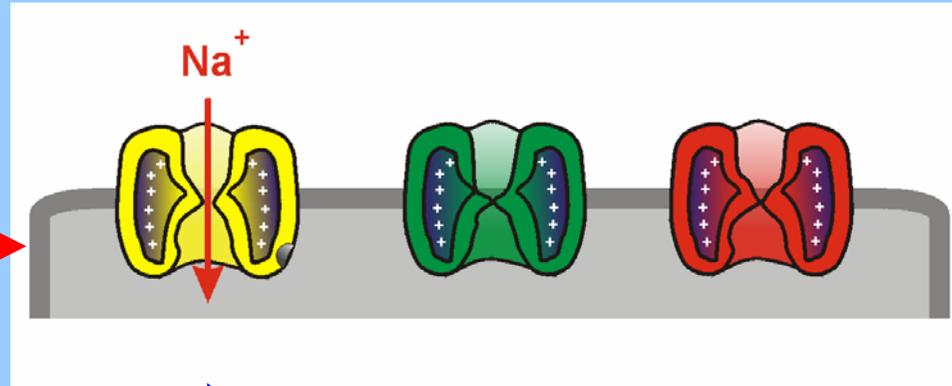
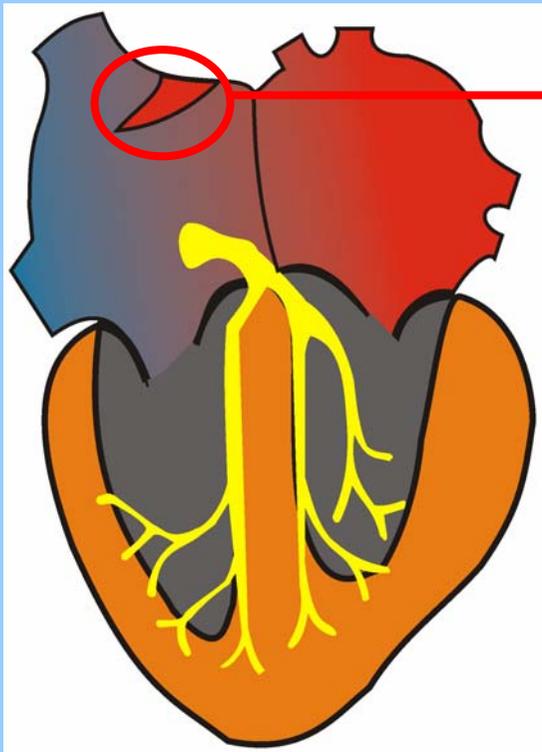
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



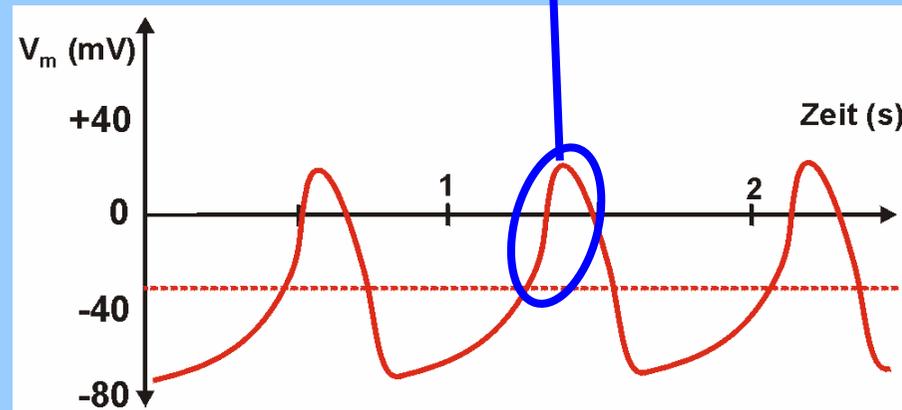
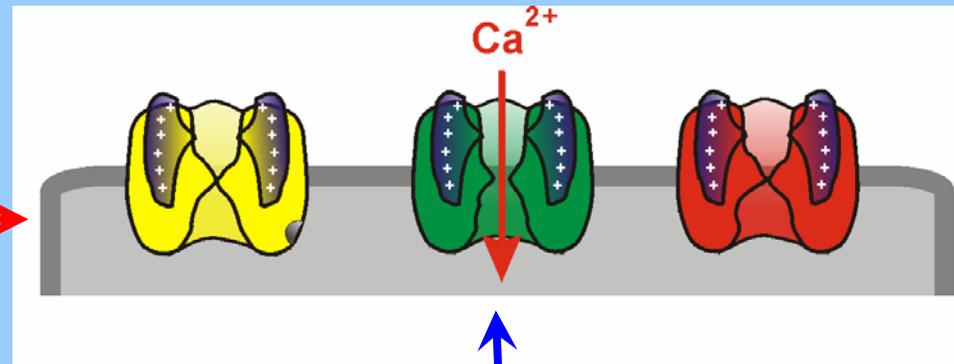
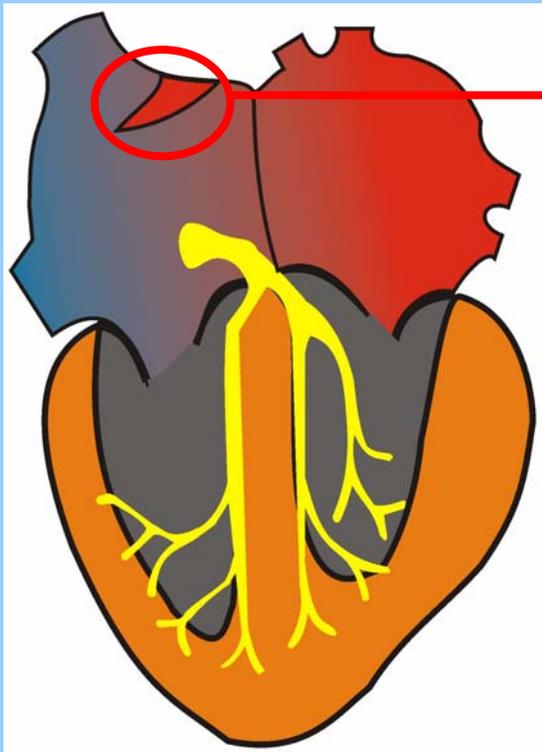
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



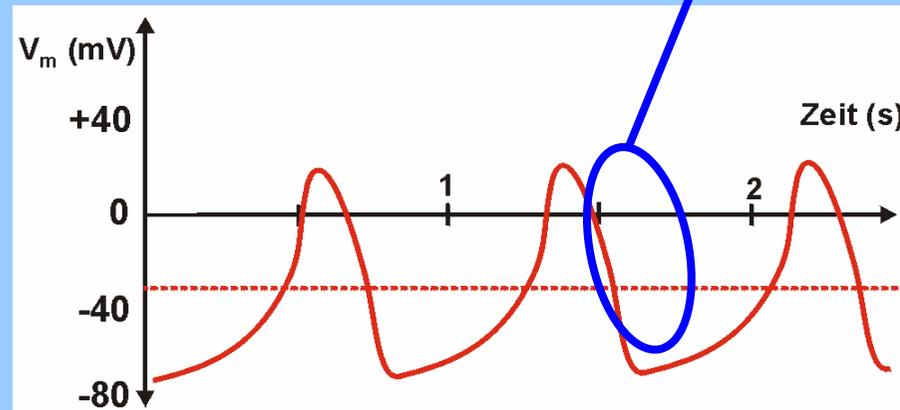
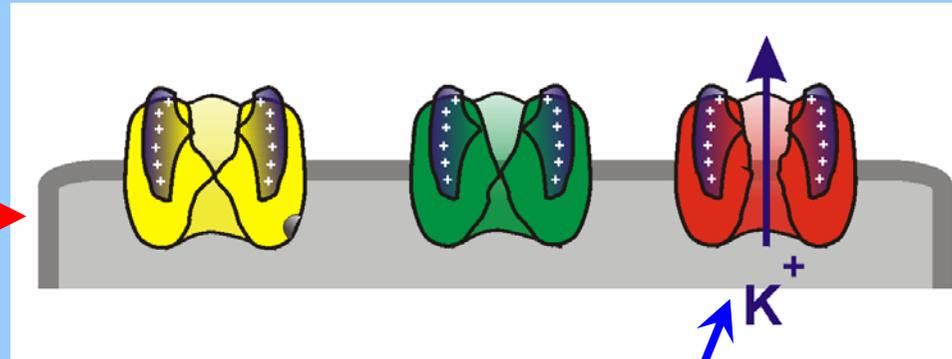
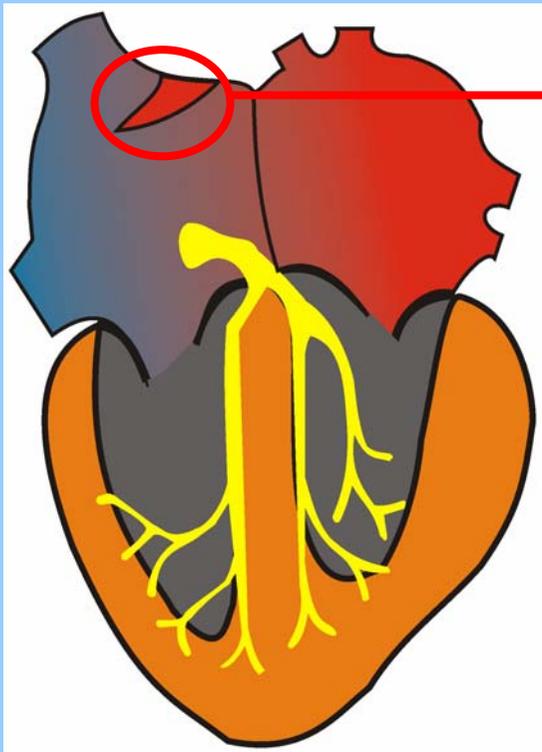
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



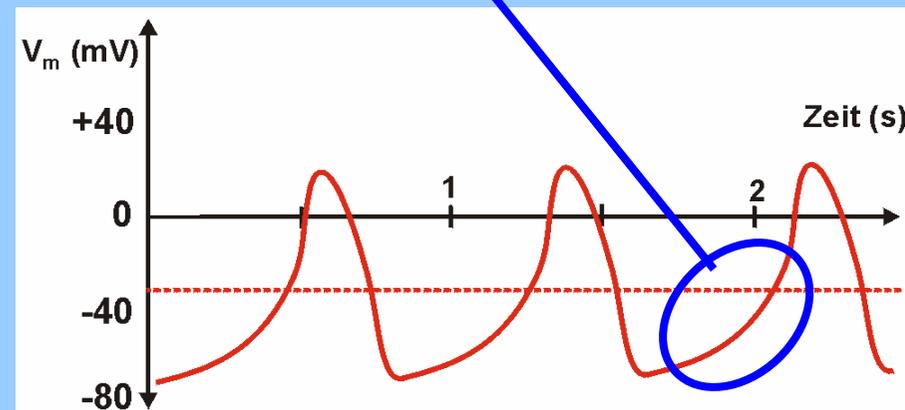
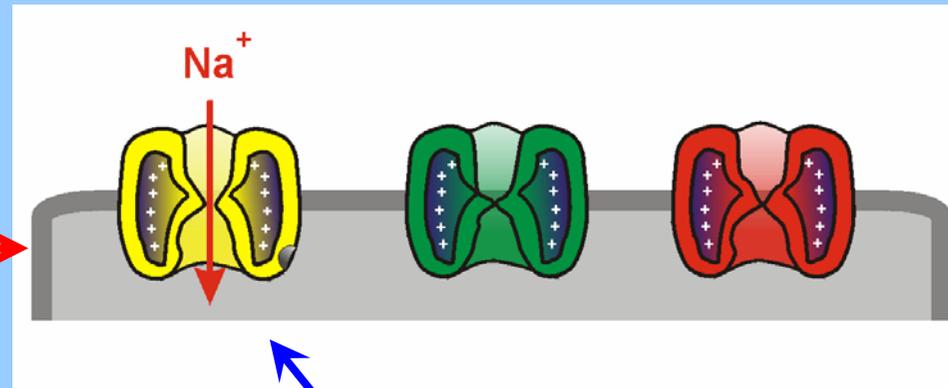
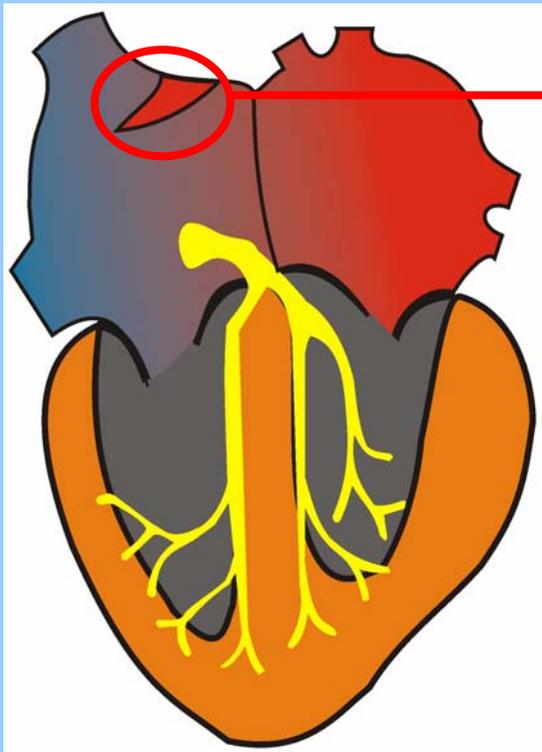
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



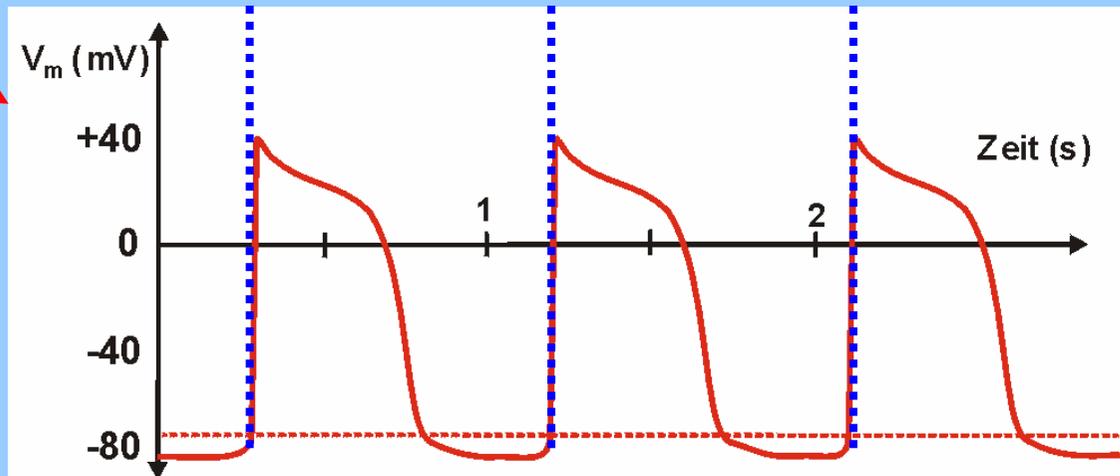
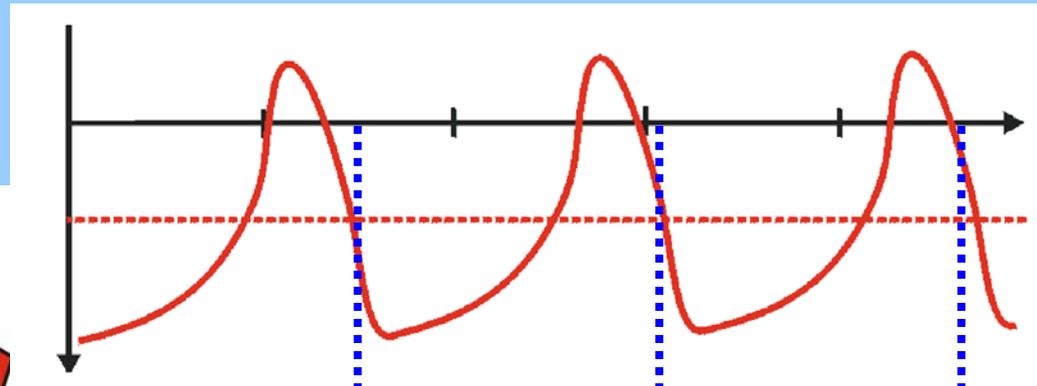
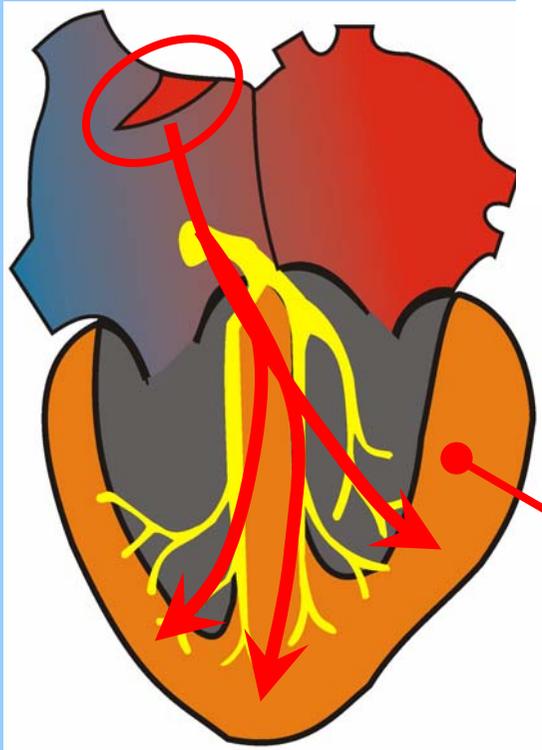
Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



Herz – Erregungsbildung: Schrittmacherzentrum



Herz – Erregungsbildung, Erregungsleitung

Die Erregung entsteht in Muskelzellen

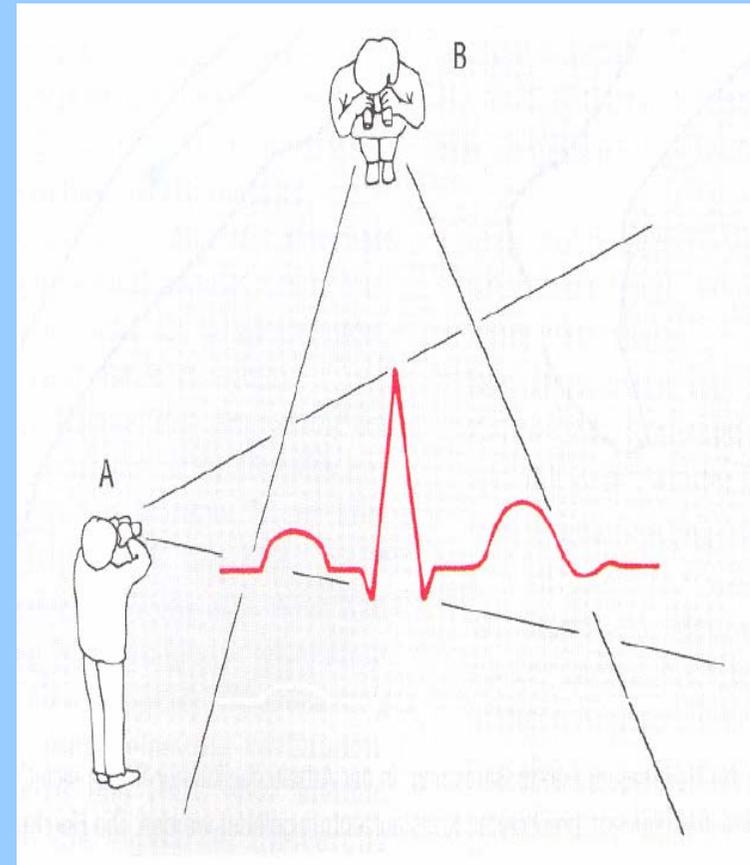
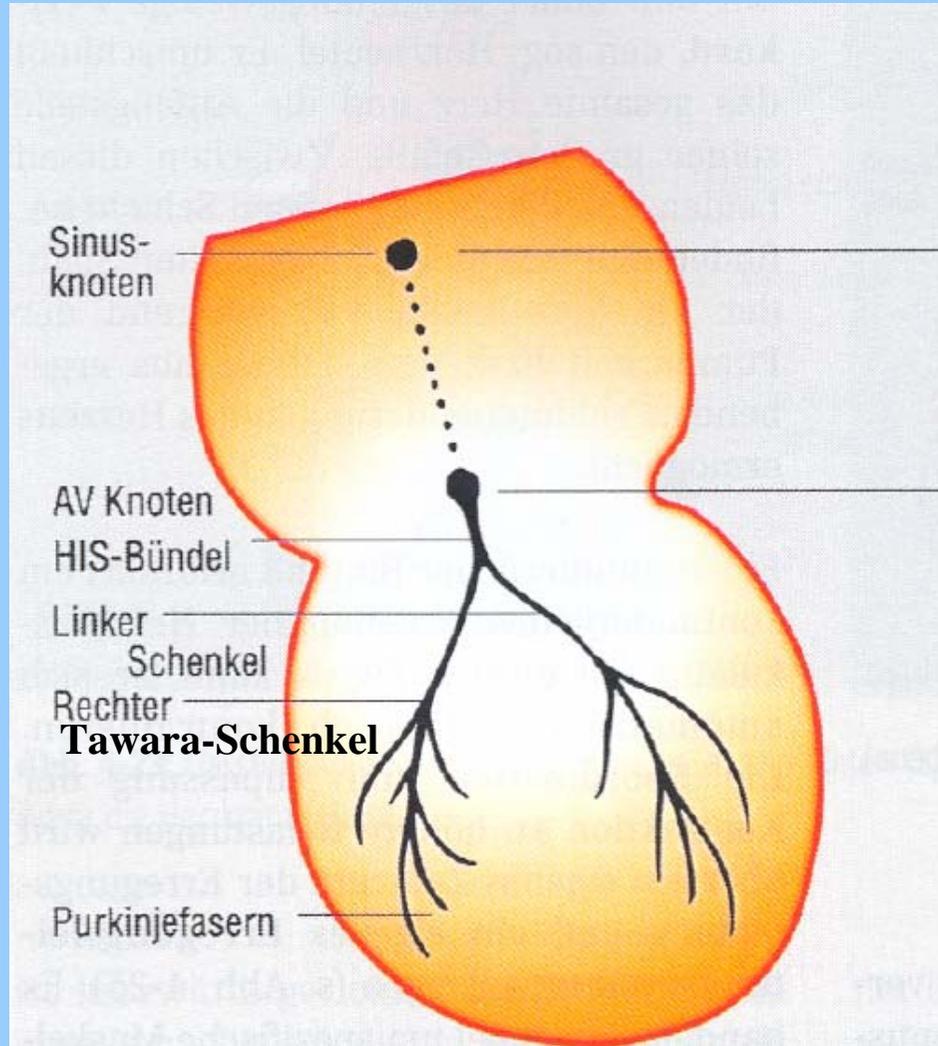
Das Herz zeigt Autorhythmie. Der Kontraktionsrhythmus wird durch das Schrittmacherpotential des Sinusknotens gesteuert.

Spezialisierte Faserbündel leiten die Erregung vom Vorhof ins Myokard.

Bei Erregung kontrahiert immer das ganze Organ

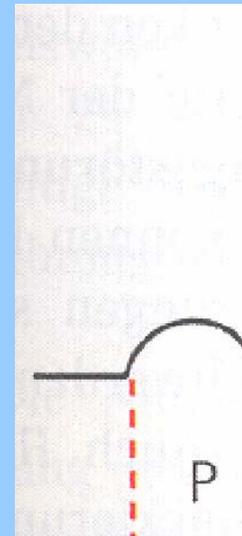
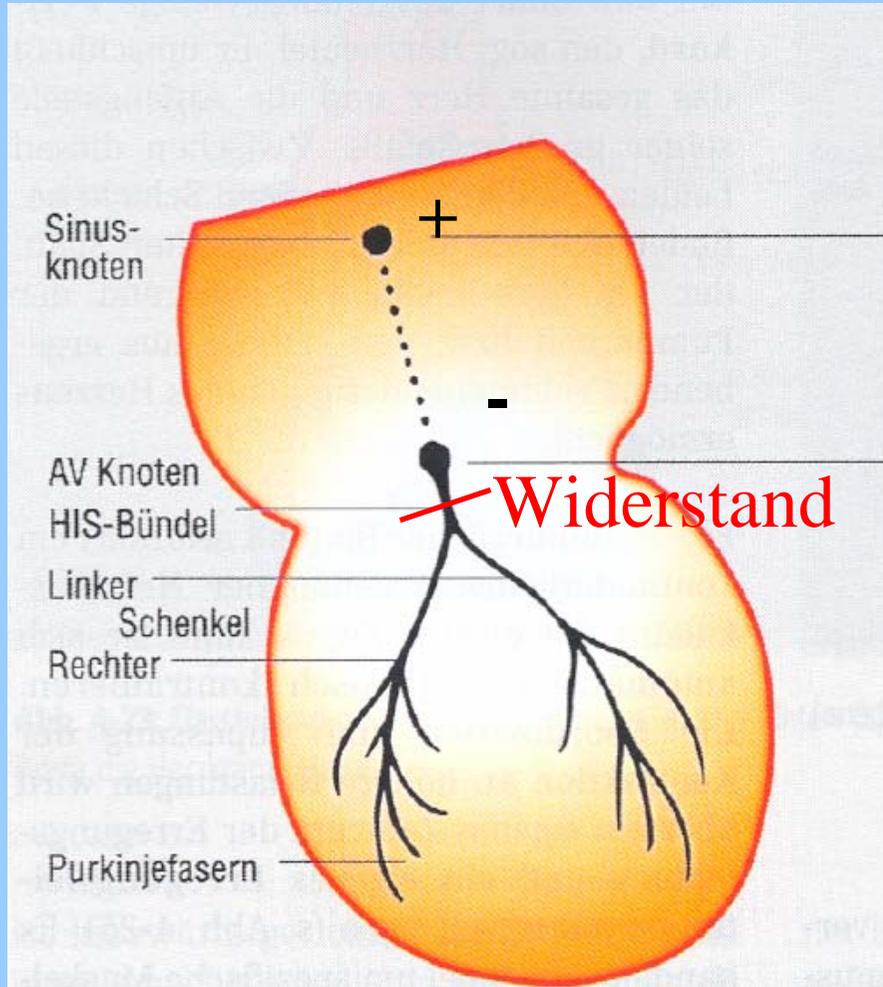
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



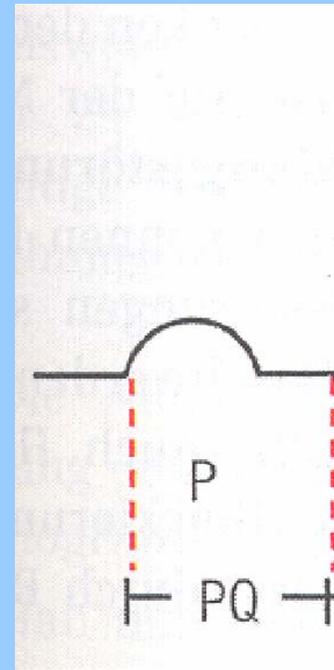
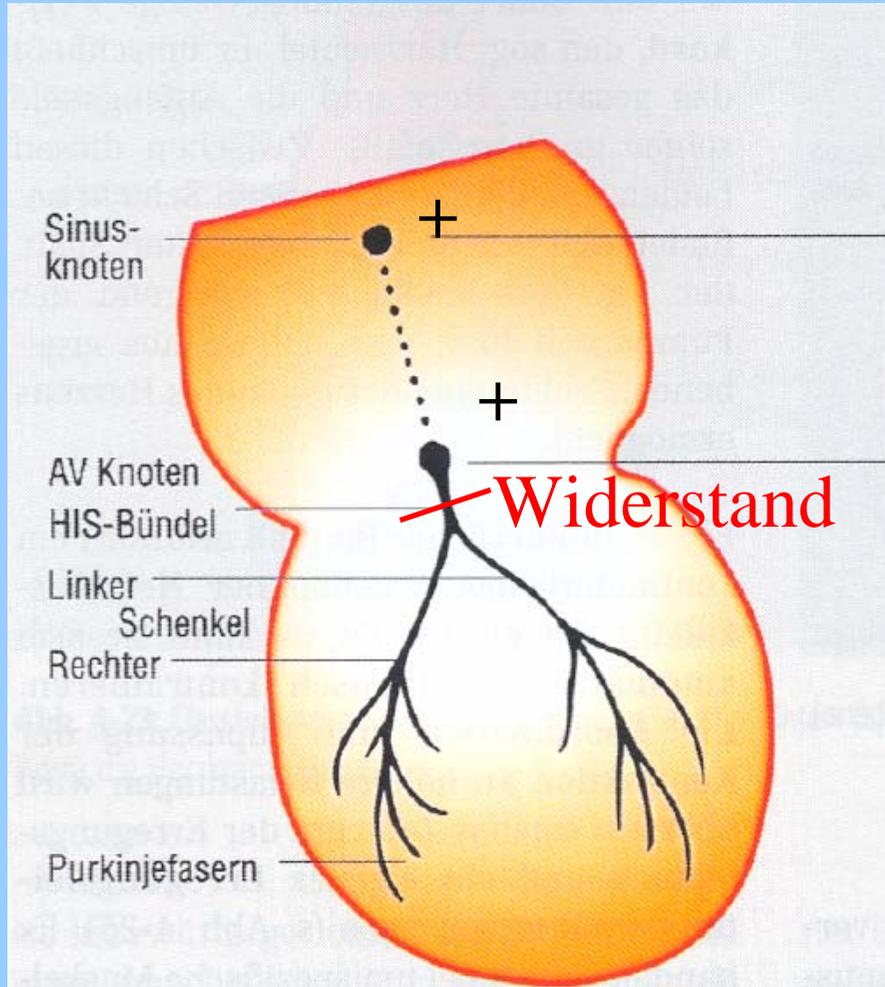
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



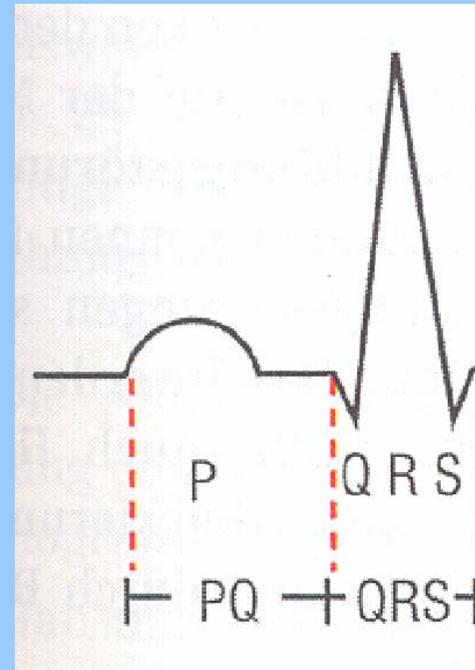
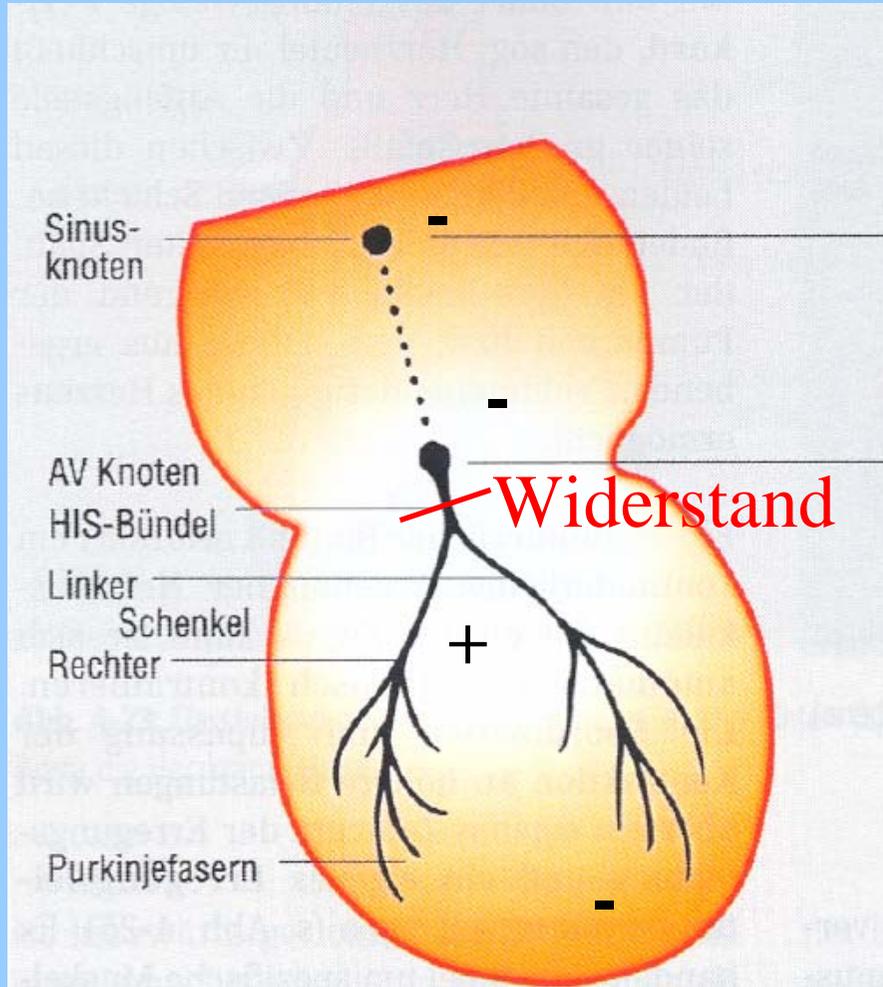
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



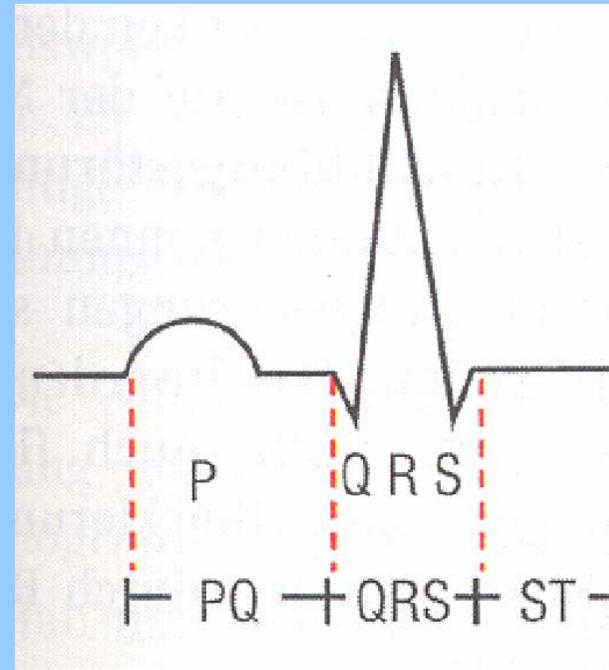
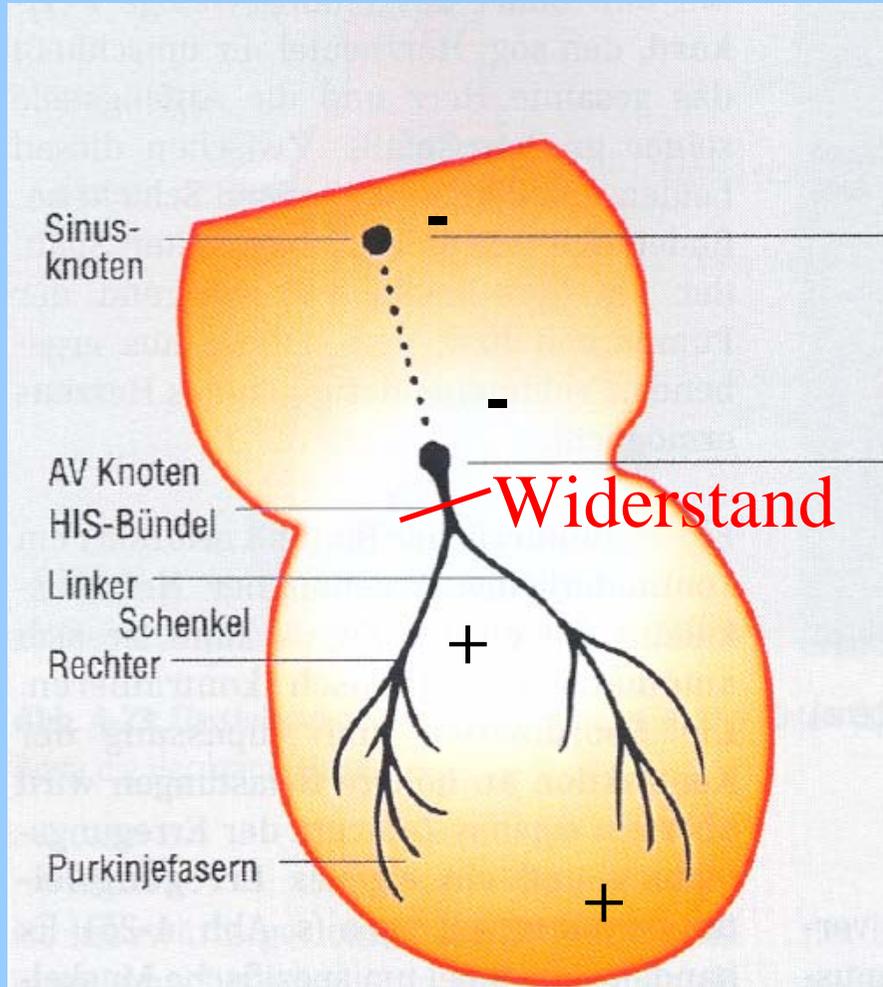
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



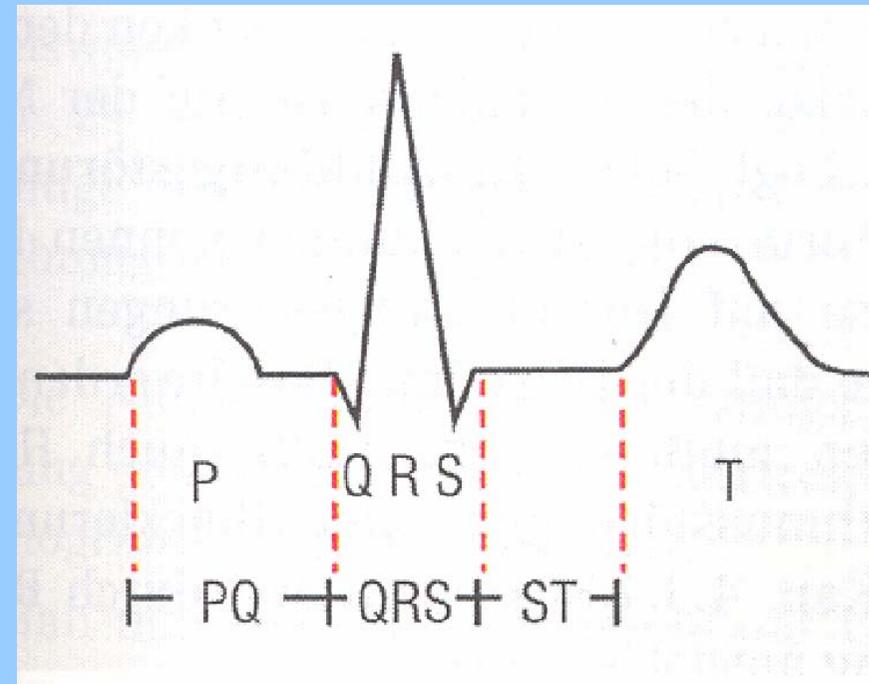
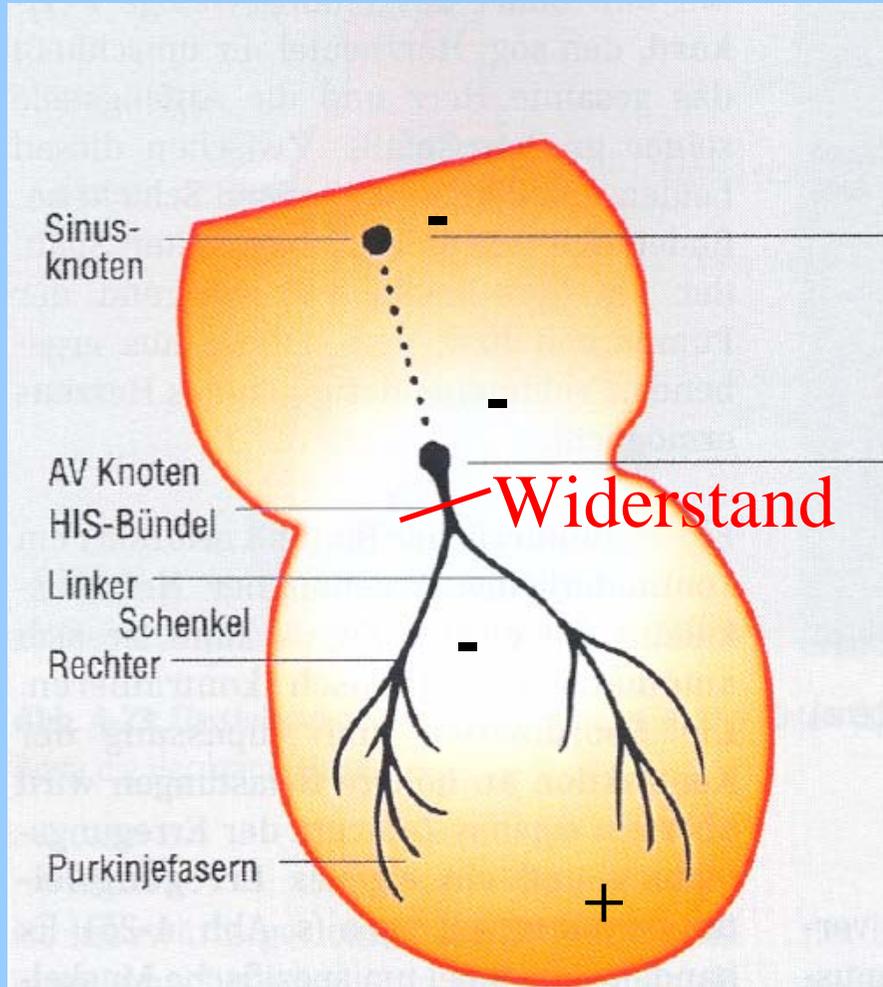
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)



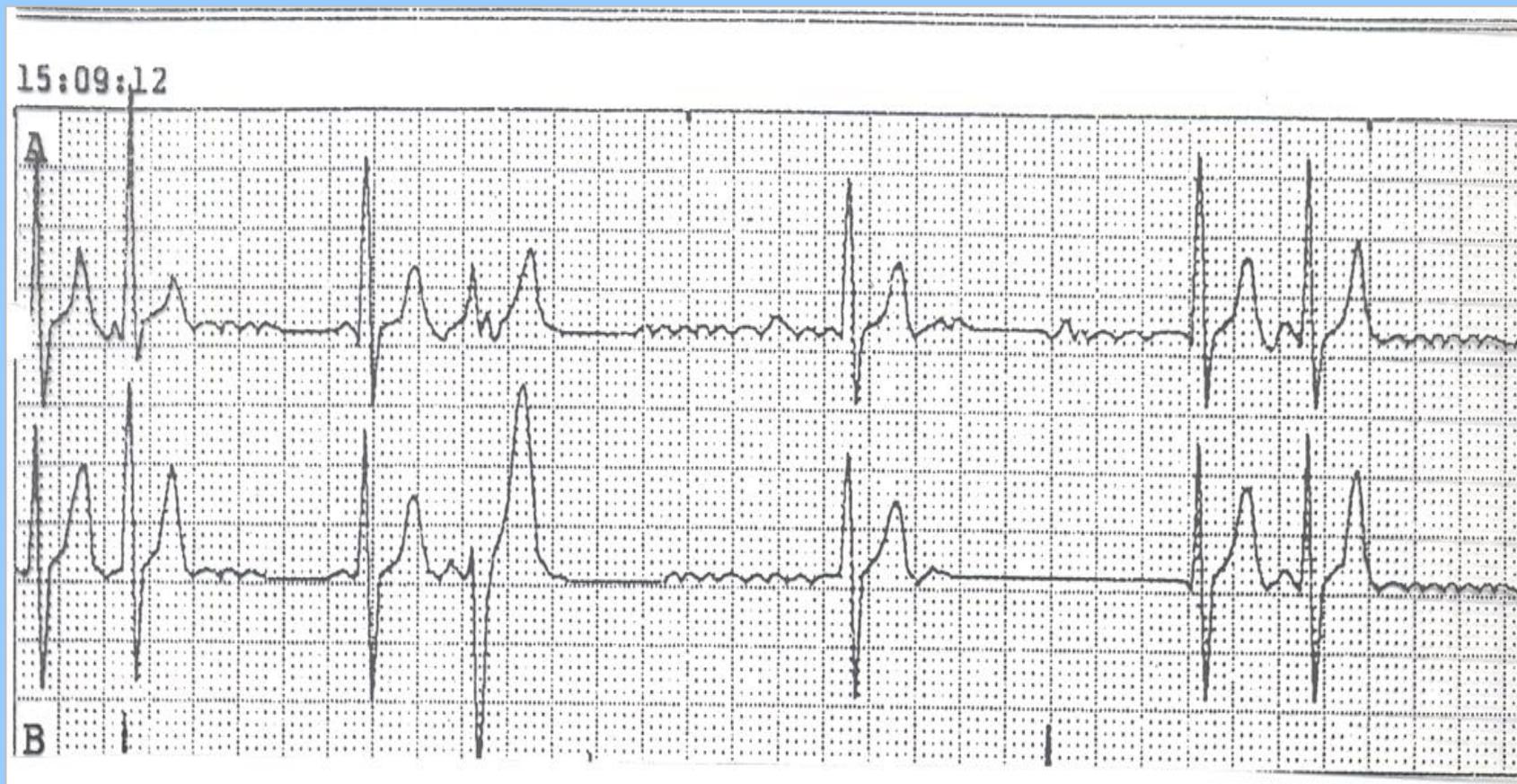
Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)

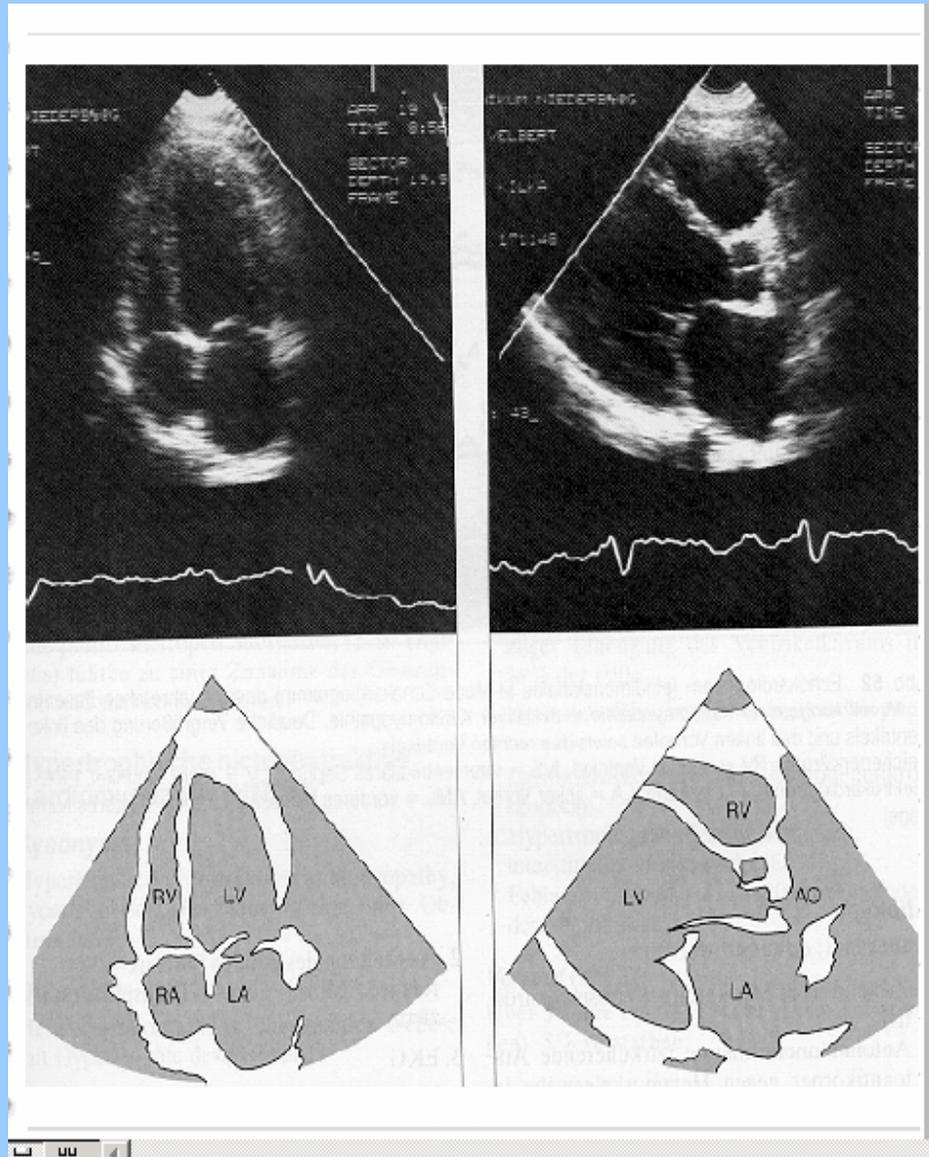


Herz - Reizleitungssystem

Elektrokardiogramm (EKG)

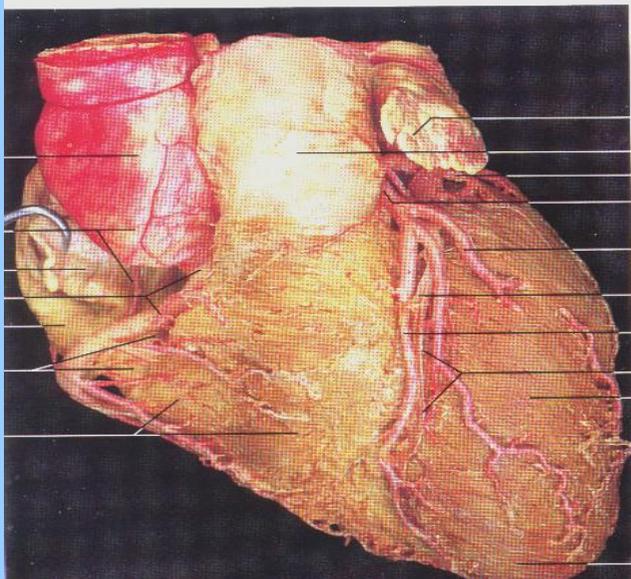
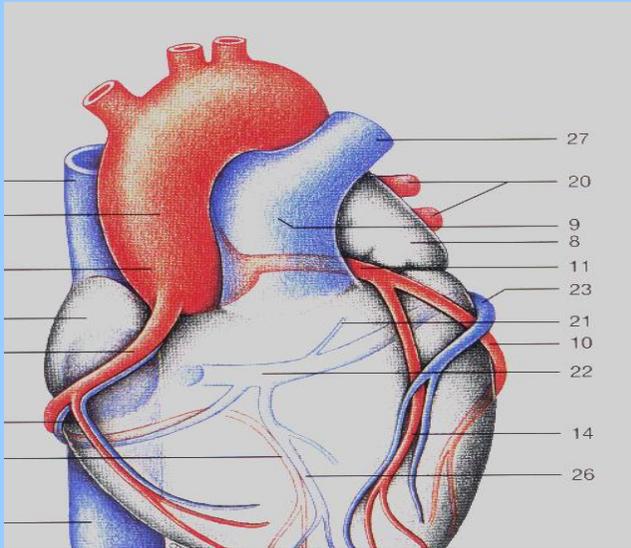


Herz - Herzklappen



Echokardiographie

Herz - Coronardurchblutung

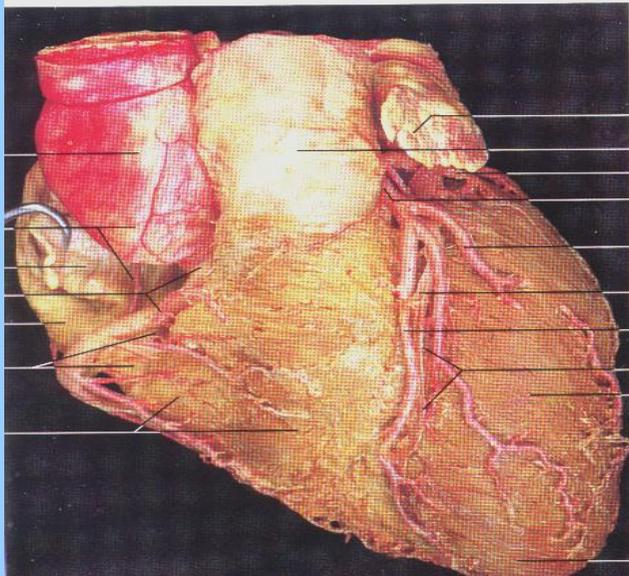
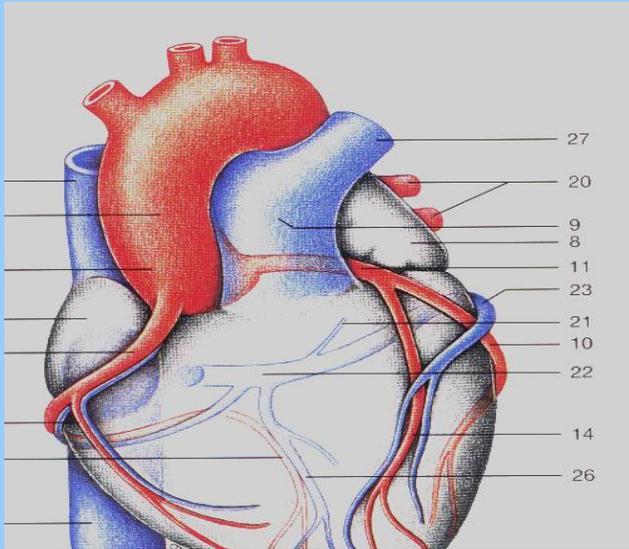


Sauerstoffverbrauch ca.
10 % des Gesamt-O₂
bei 0,5 % Körpermasse

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:

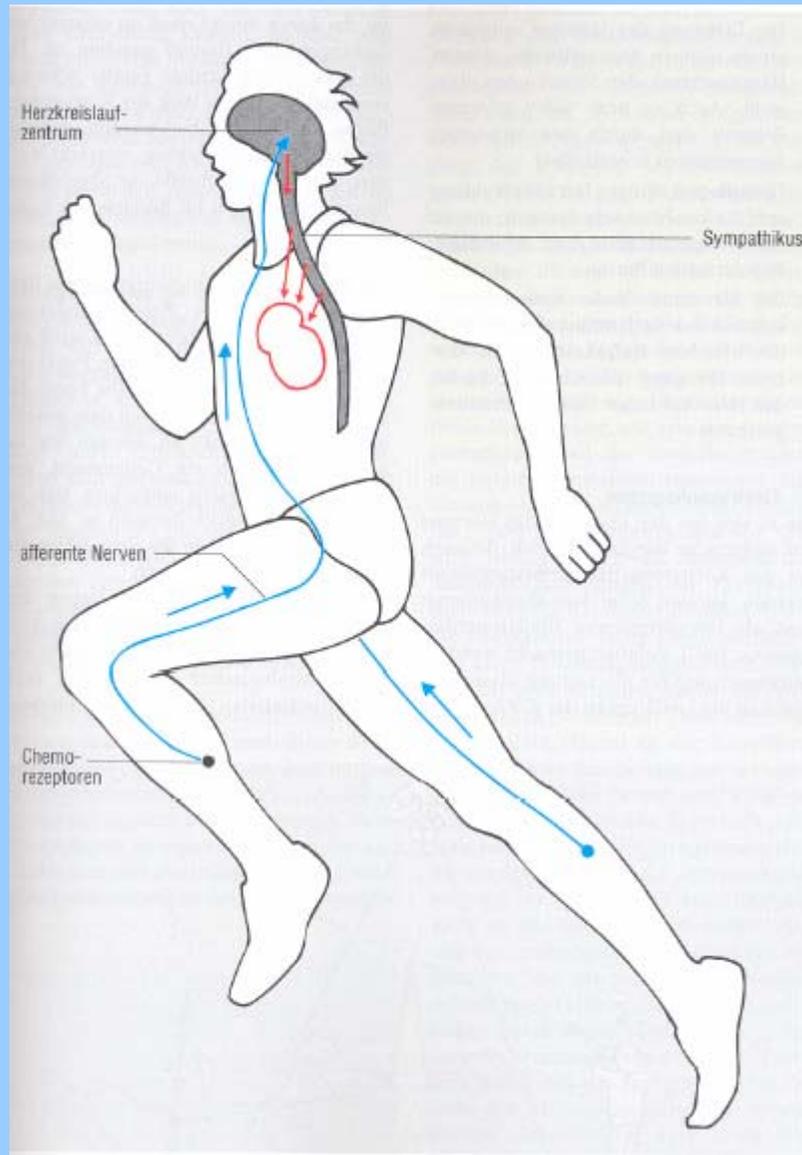
Pozentuale Anteil des Schlagvolumens am enddiastolischen Volumen (ca. 60-70 %)

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%)

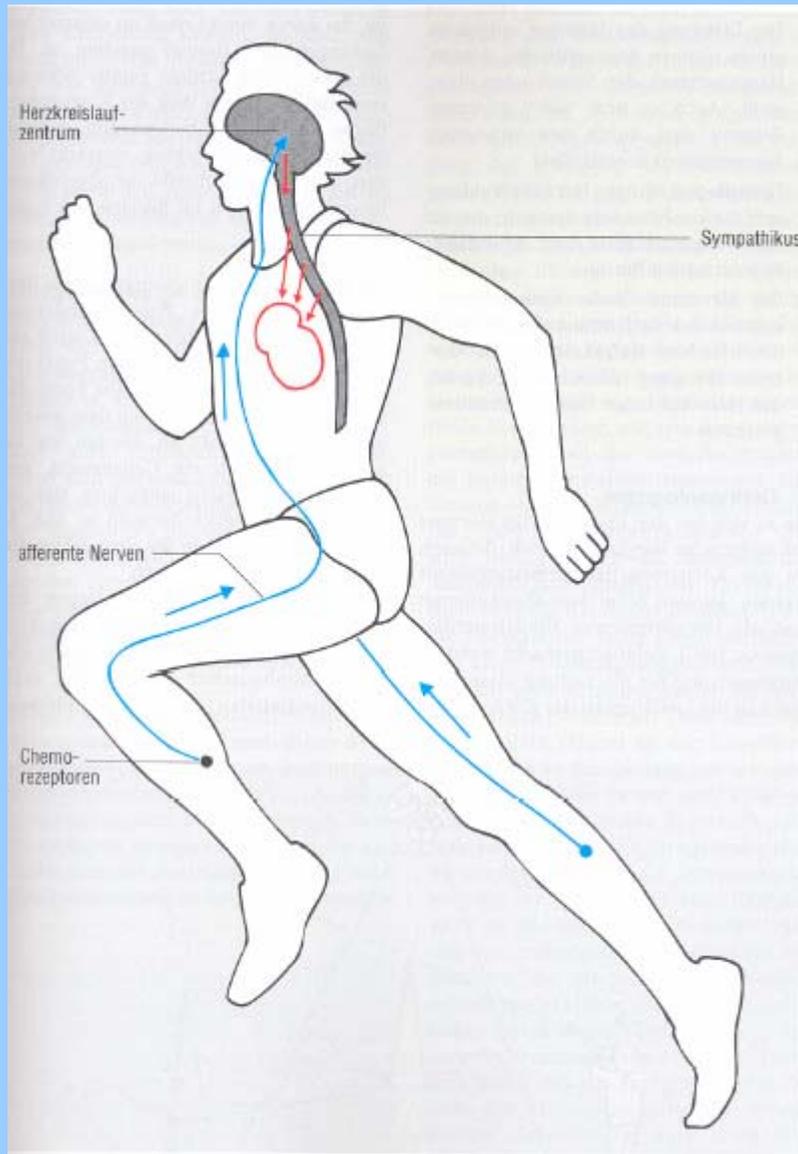
Herz – unter Belastung



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

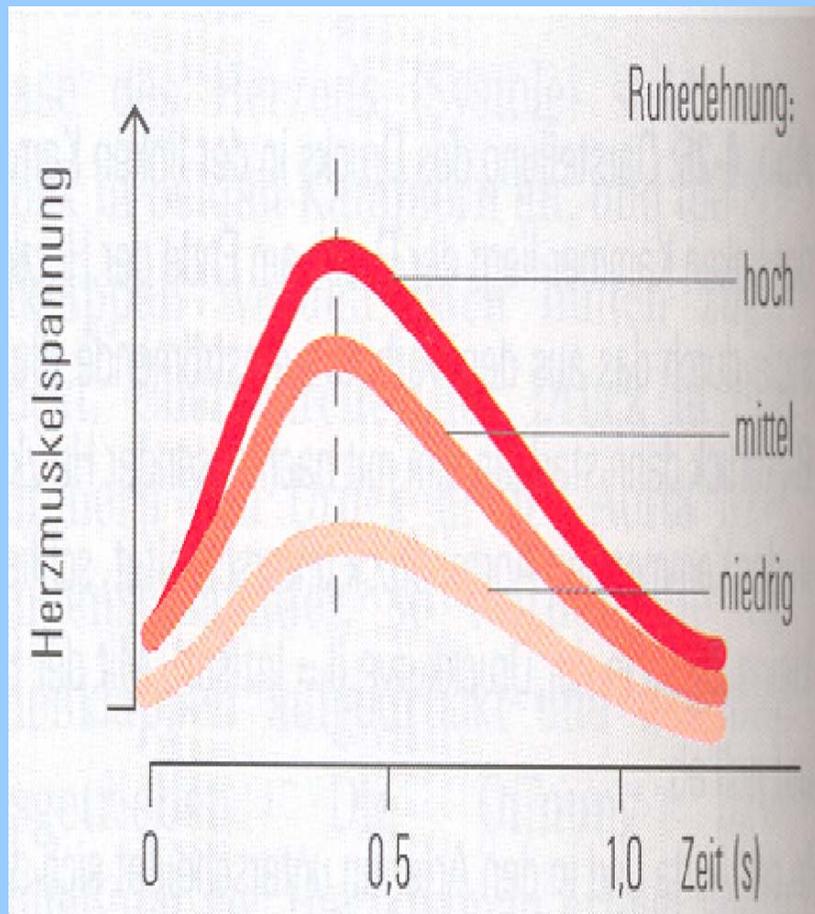
- positiv dromotrop

Leitungsgeschwindigkeit steigern

- positiv bathmotrop

Reizschwelle herabsetzen

Herz – unter Belastung

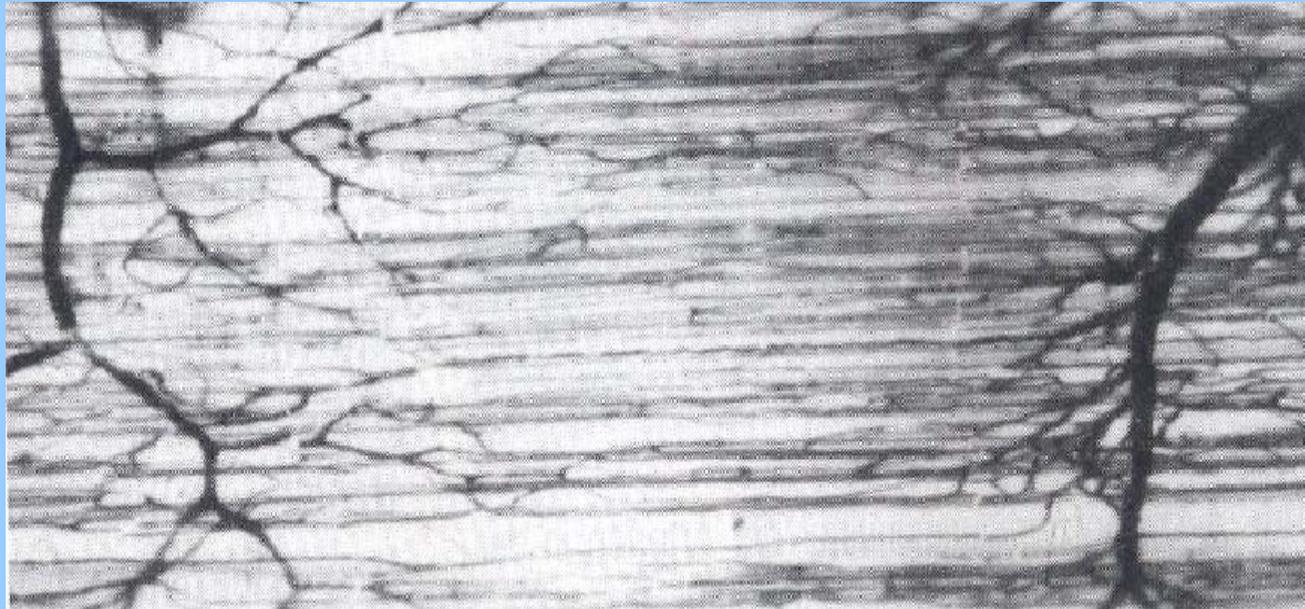


Frank-Starling-Mechanismus

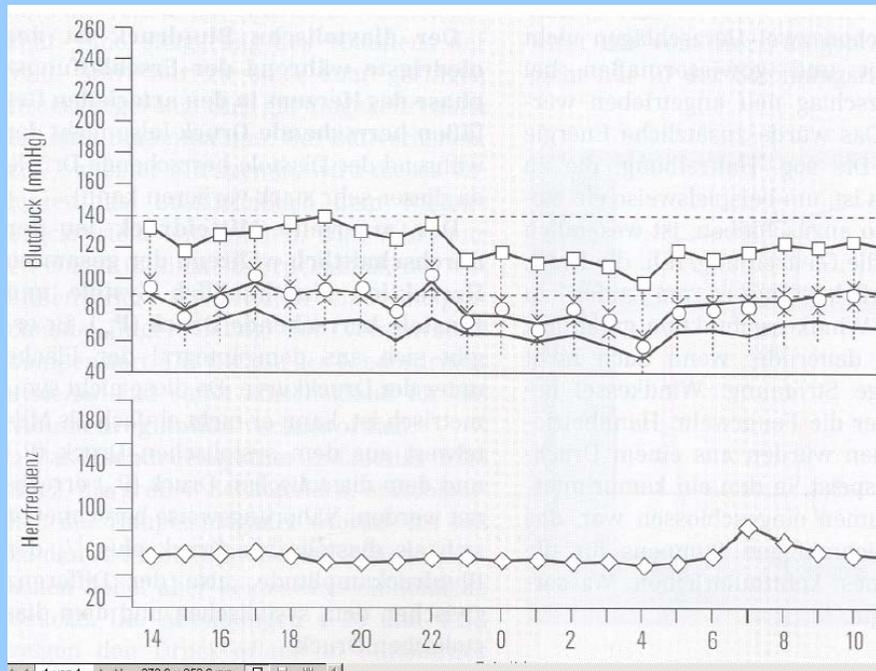
Abhängigkeit der Auswurfleistung des Herzens vom enddiastolischen Ventrikelvolumen

Zunahme des Schlagvolumens (frequenzabhängig)

Gefäß-System – Funktion



Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



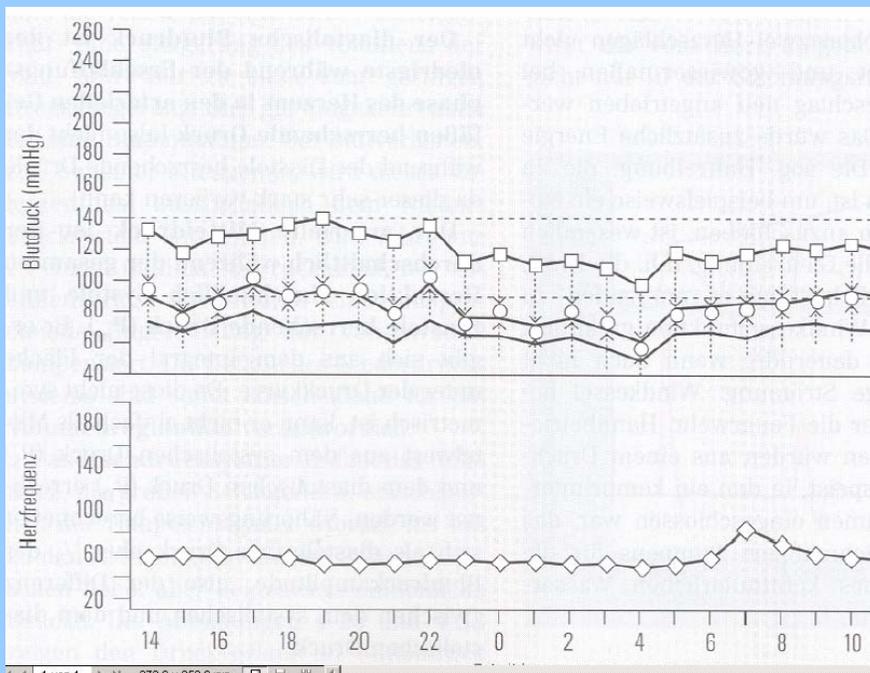
Systolischer Blutdruck
höchster Wert während
der Systole

Diastolischer Blutdruck
niedrigster Wert während
der Diastole

Arterieller Mitteldruck
Integral des Druckes
während Systole und
Diastole

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

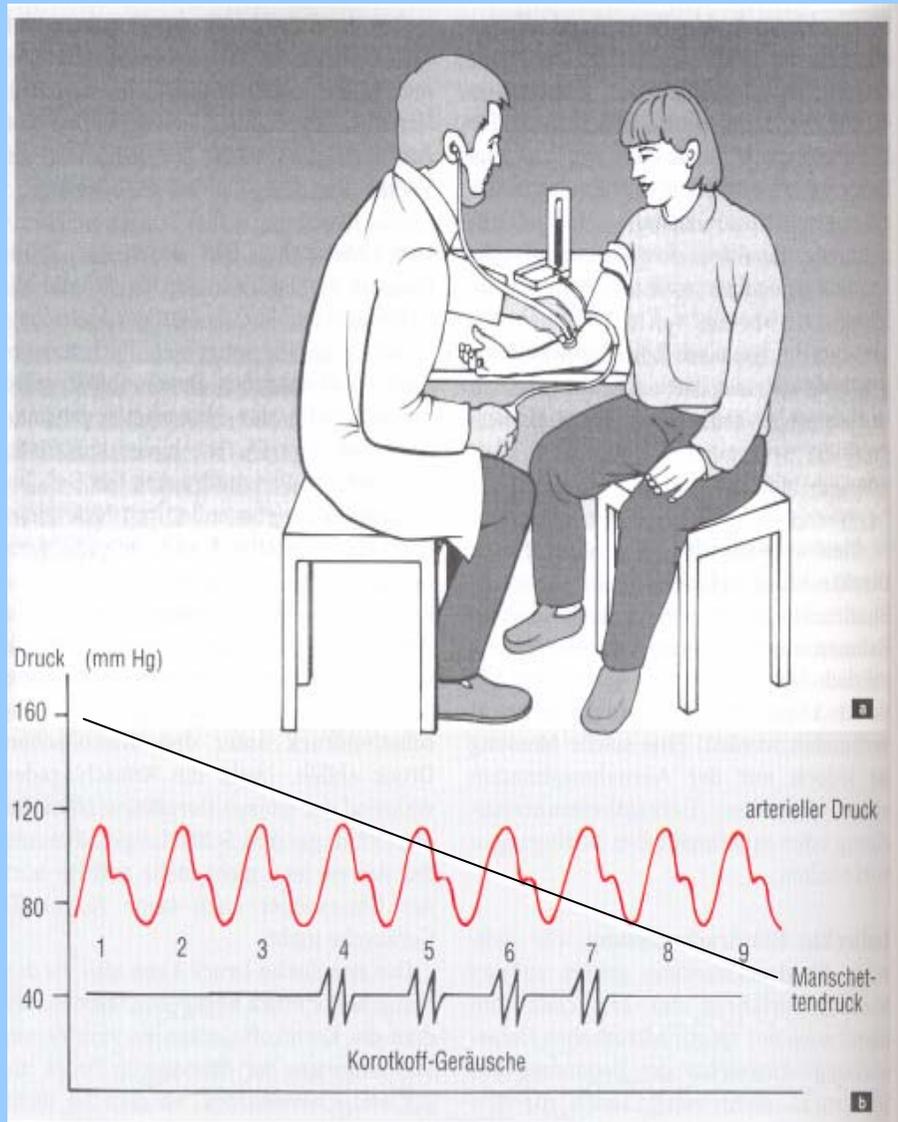
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



Blutdruck abhängig von

- Gefäßquerschnitt
“Widerstand”
- Blutvolumen
- Herzleistung

Herz-Kreislauf-System – Blutdruckmessung

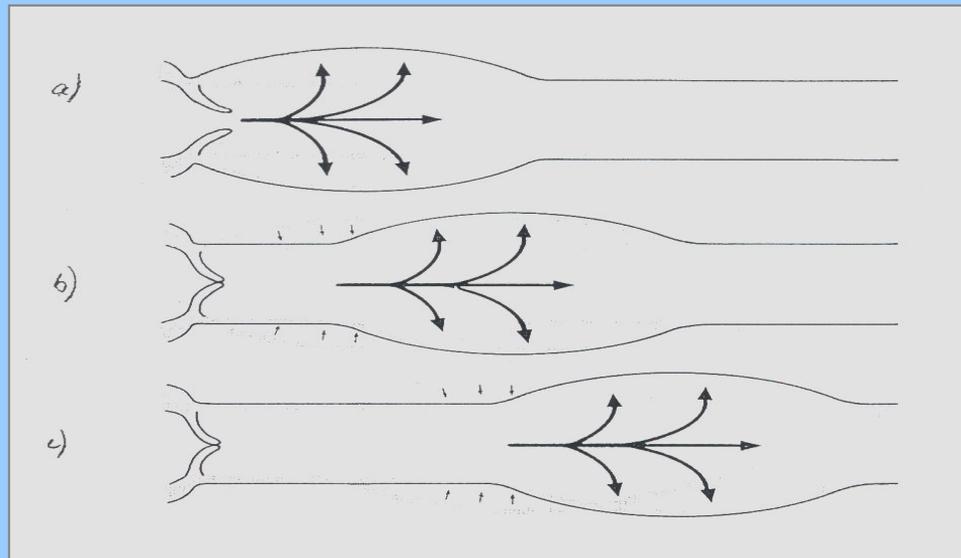


Direkte Blutdruckmessung
Katheter mit Manometer in
der Arterie

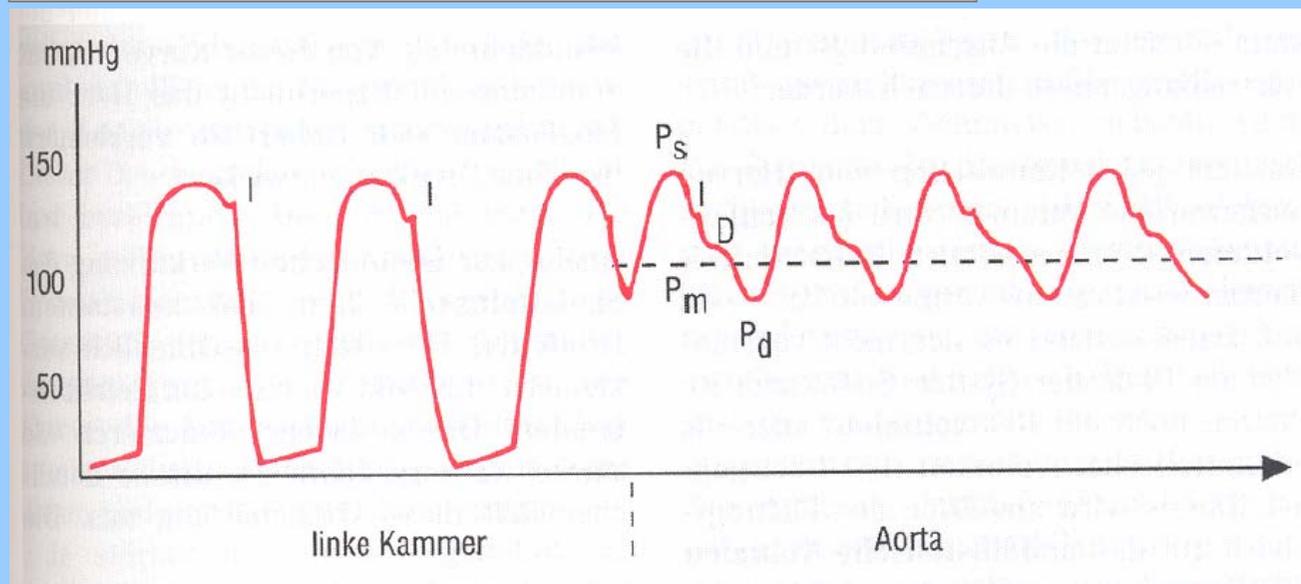
Indirekte Blutdruckmessung
Riva-Rocci-Verfahren

Korotkoff-Geräusch

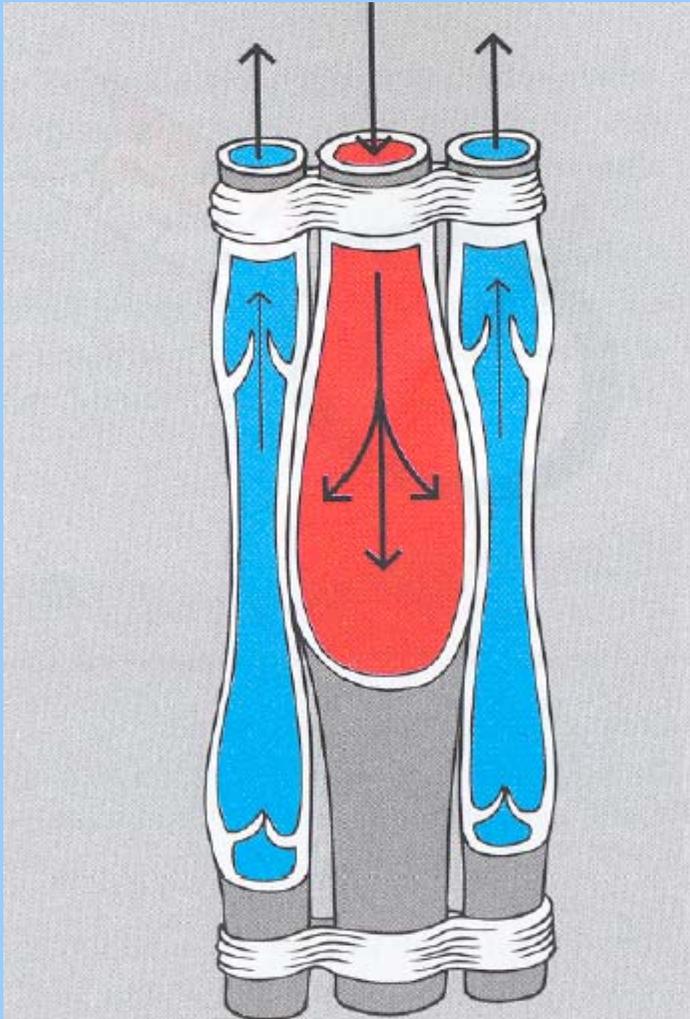
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



“Windkesselfunktion”
der Aorta



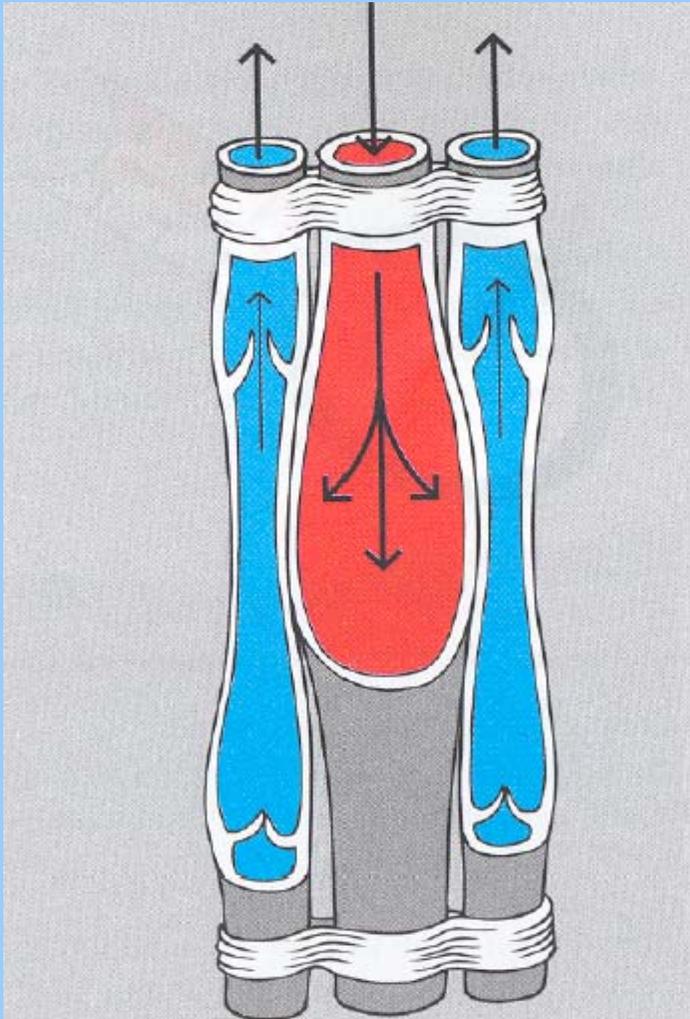
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



Venöser Rückfluß

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

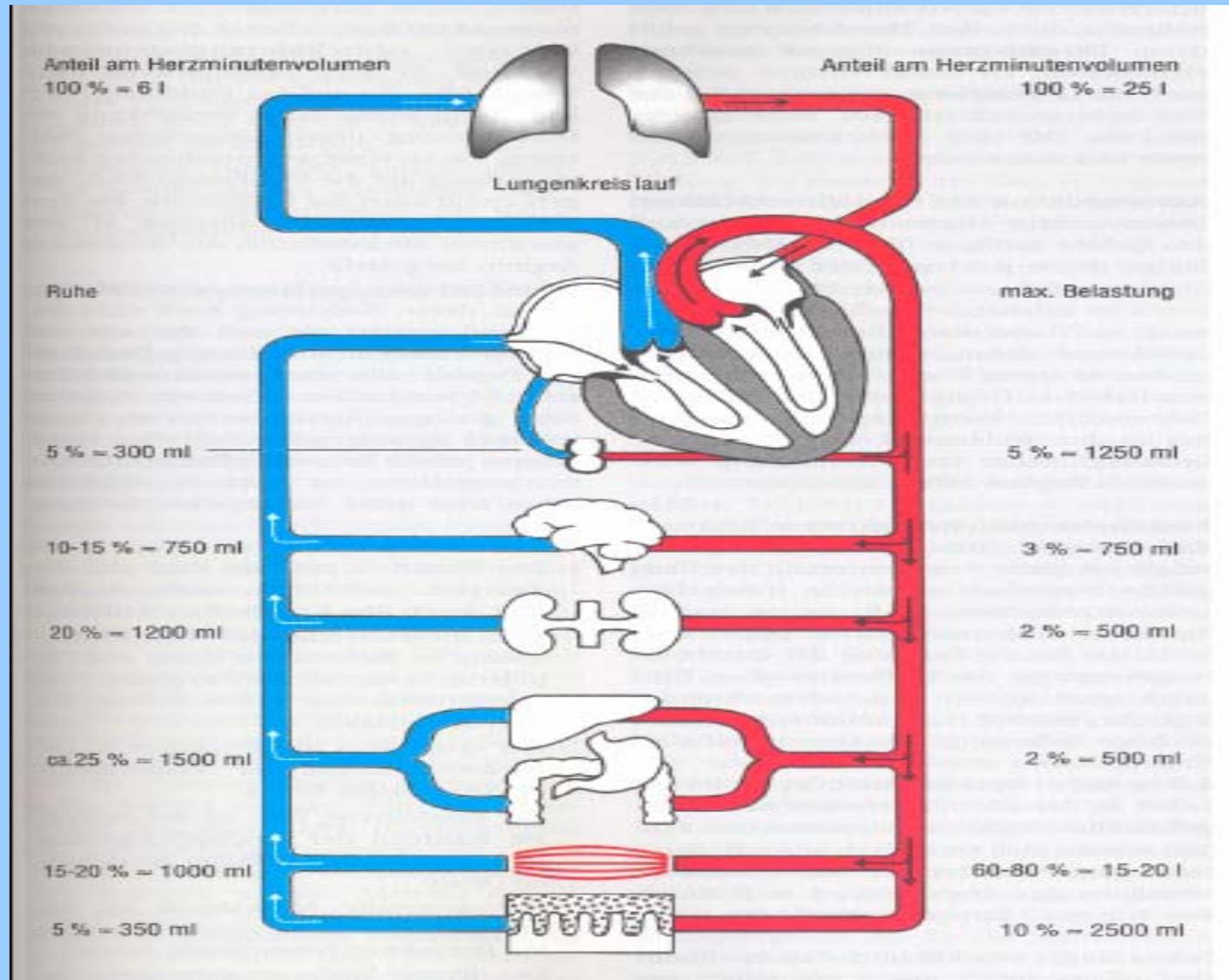
Herz-Kreislauf-System – Blutdruck



Venöser Rückfluß

?????

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)

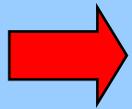
Adaptation Herz-Kreislauf – Das Sportherz



Ausdauertraining – Trainingseffekt

1. Phase der Anpassung

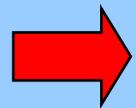
Vegetatives Nervensystem



Ausdauertraining – Trainingseffekt

1. Phase der Anpassung

Vegetatives Nervensystem



Sympathikotonus: Stresshormon ↓

Vagotonus: „Ruhehormon“ ↑



Herzfrequenz ↓



Blutdruck ↓



Herzbelastung ↓

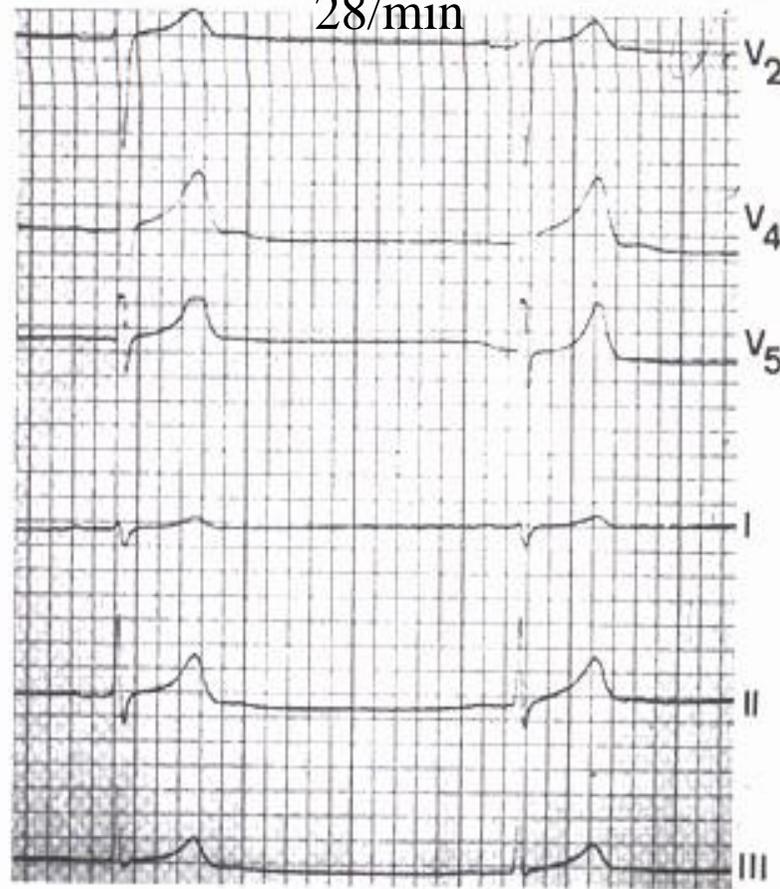
static exercise

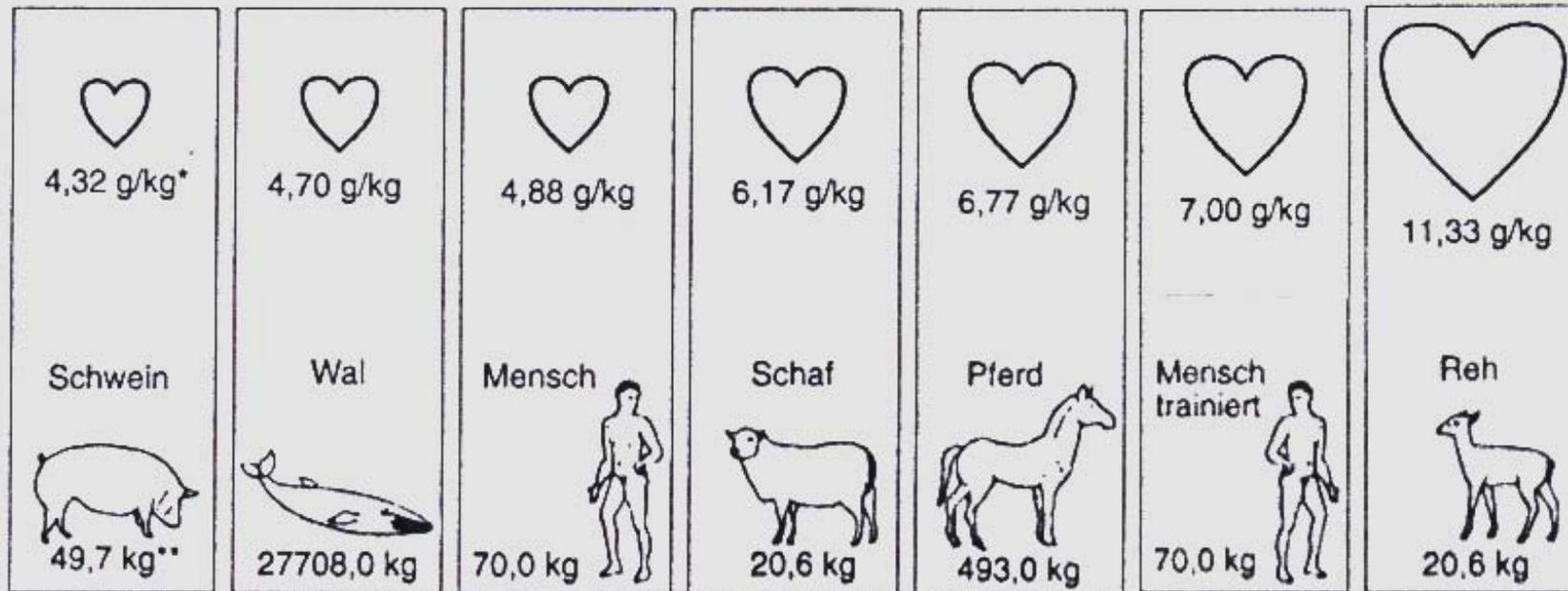
63/min



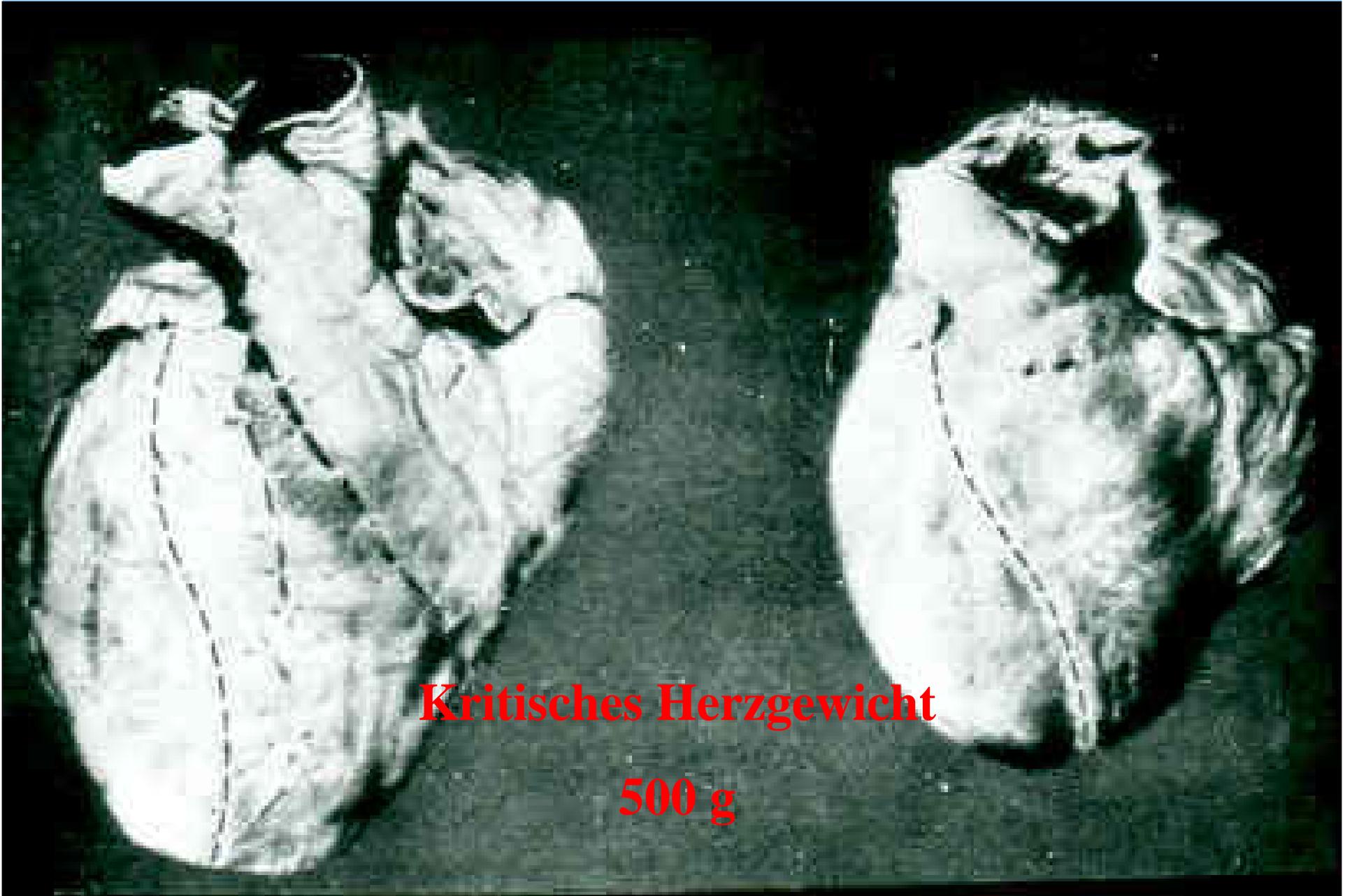
chronic dynamic exercise

28/min





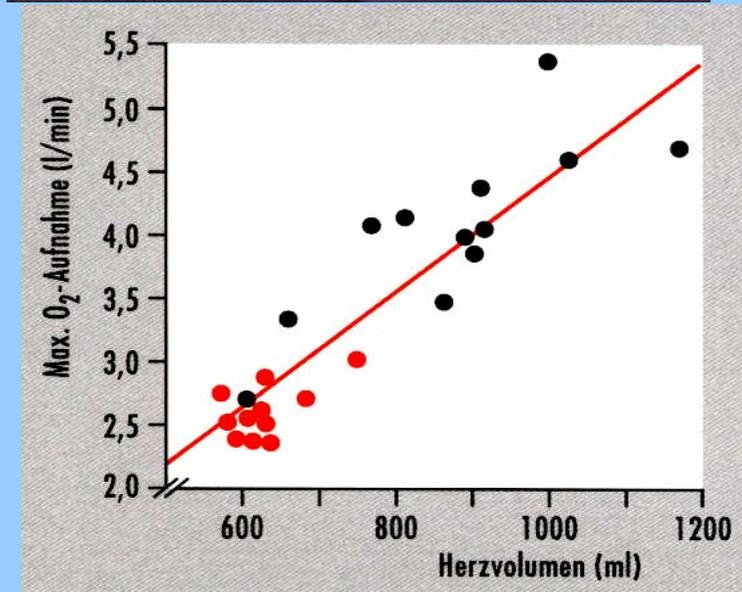
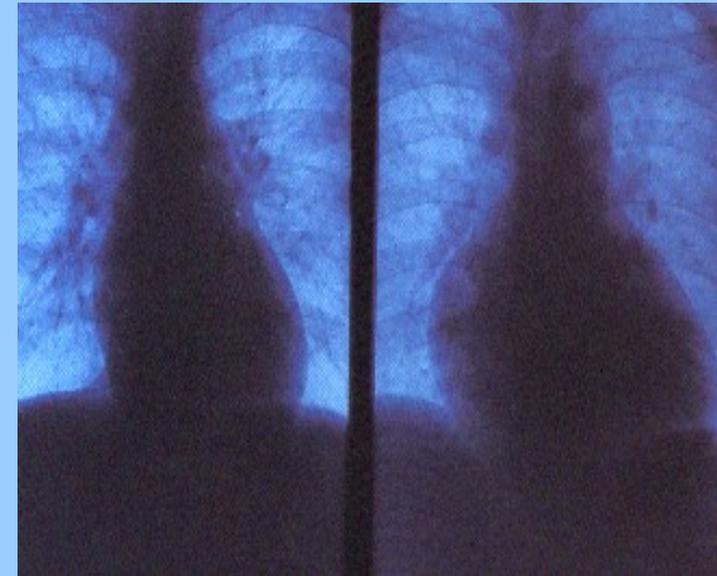
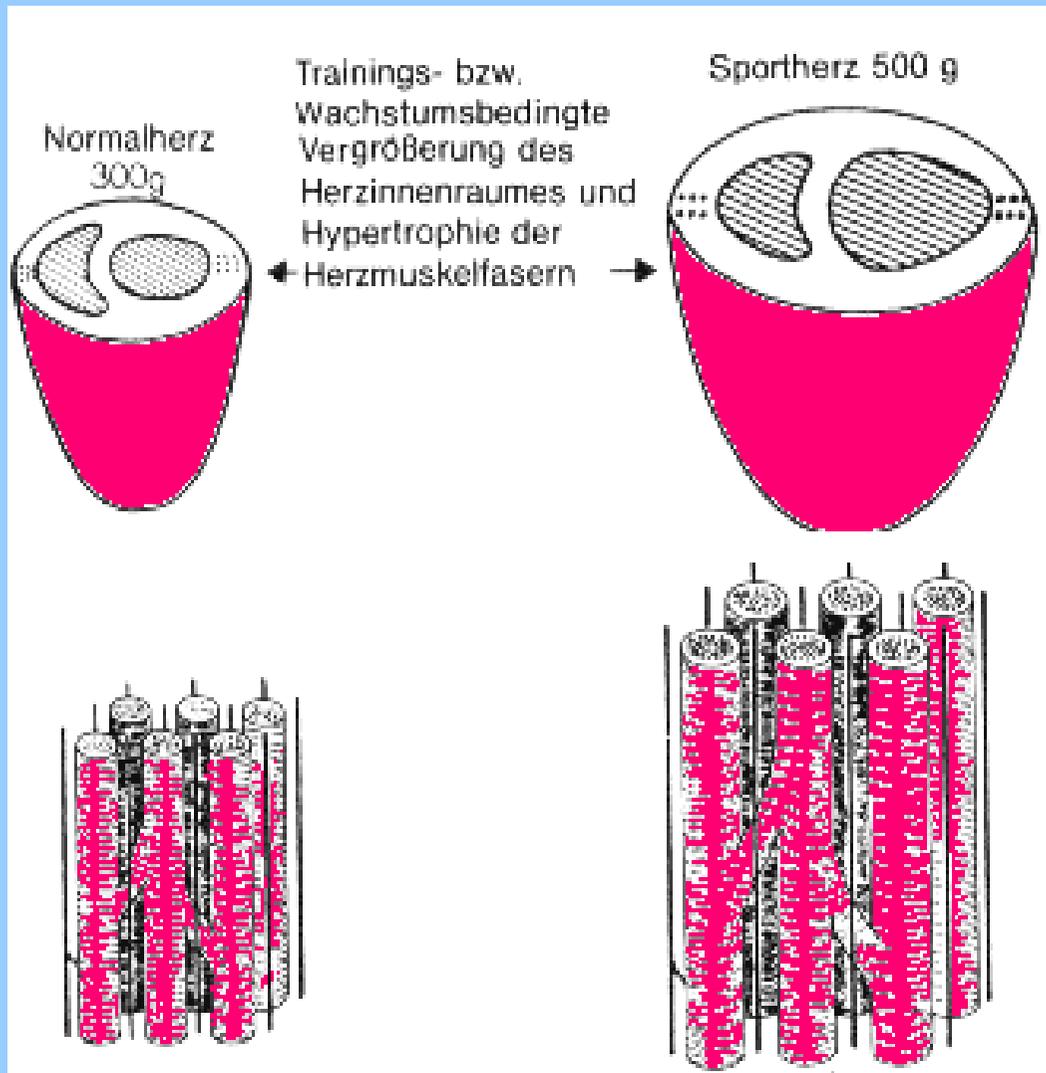
* Herzgewicht in Gramm pro Kilogramm Körpergewicht



Kritisches Herzgewicht

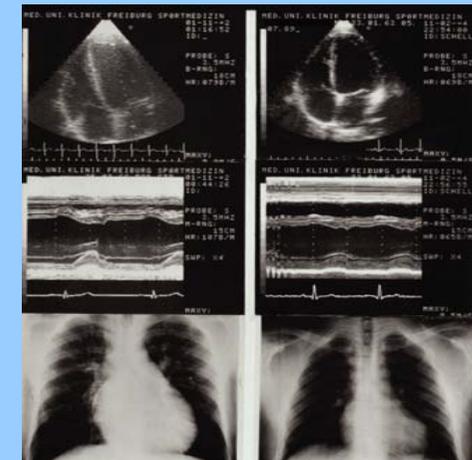
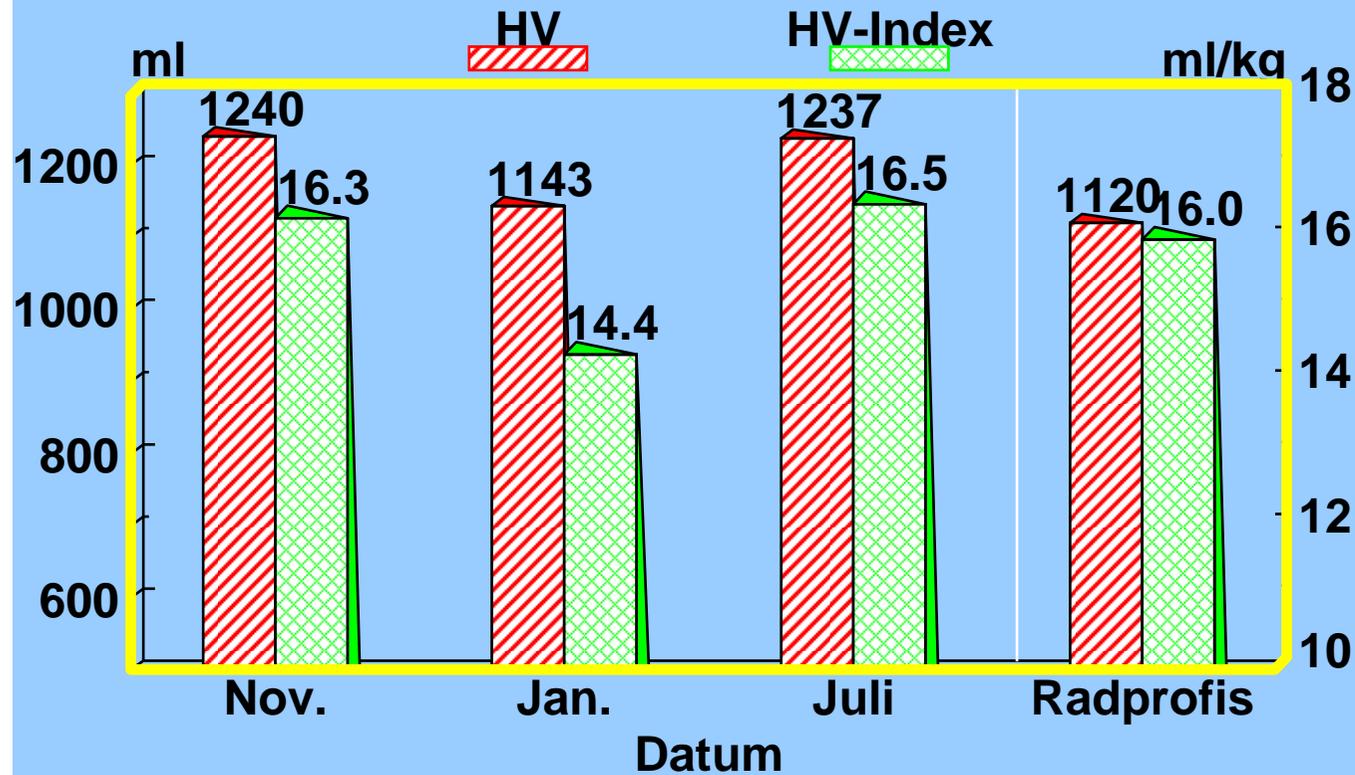
500 g

Adaptation Herz-Kreislauf - Das Sportherz

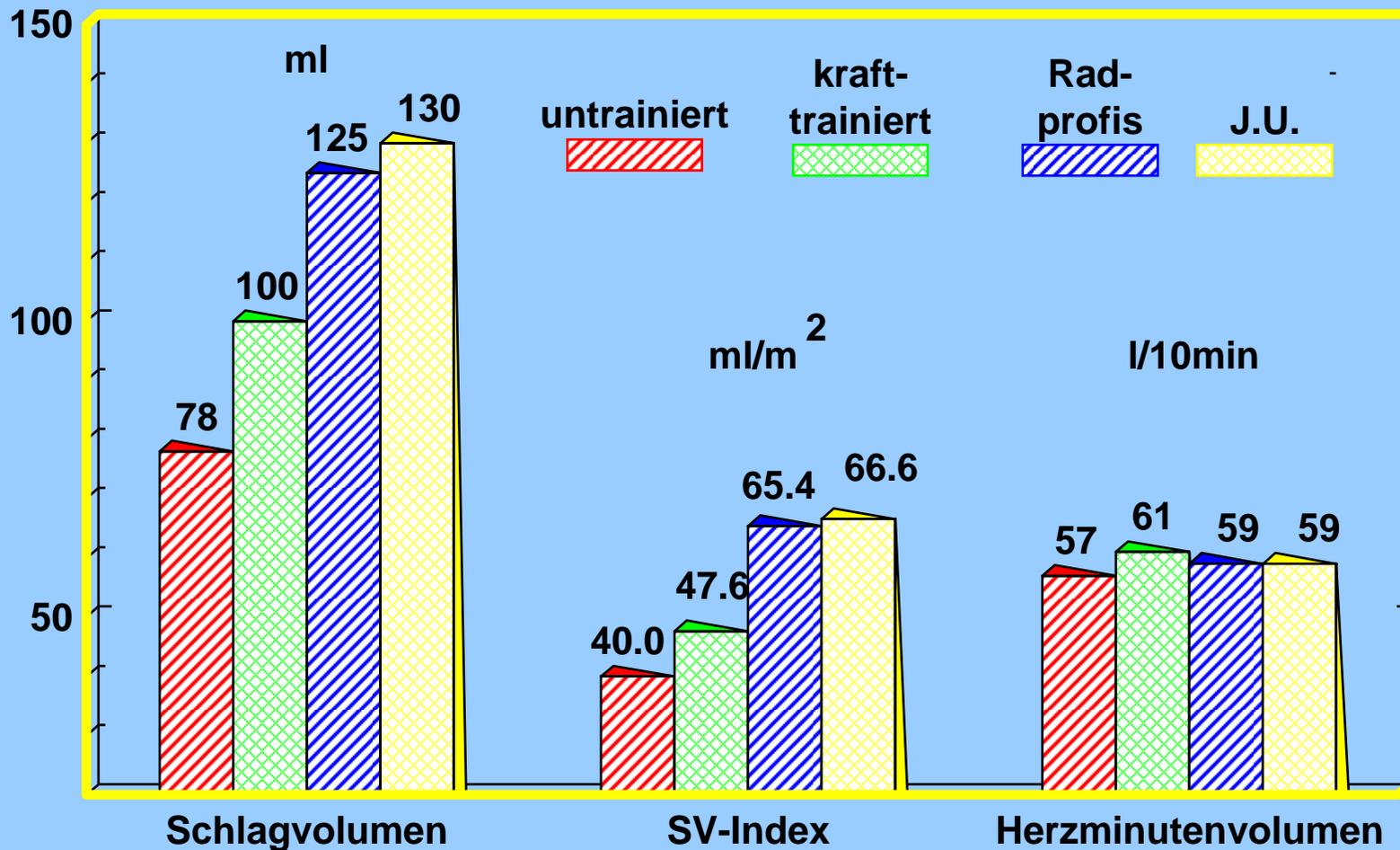


Adaptation Herz-Kreislauf - Das Sportherz

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



Absolutes und relatives kardiales Schlag- und Herzminutenvolumen



Adaptation Herz-Kreislauf - Kapillarisation

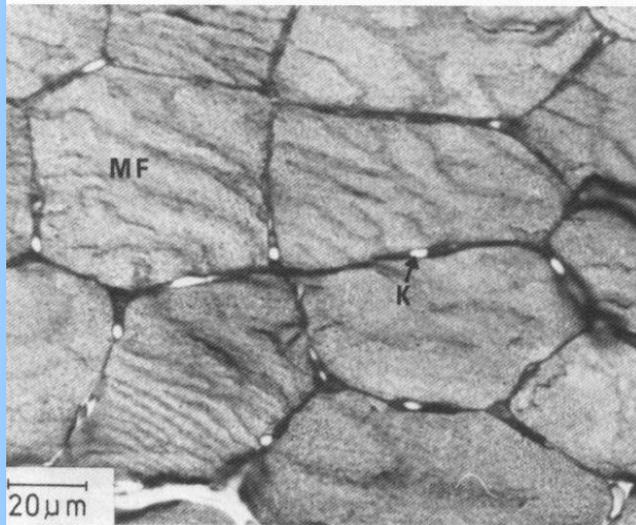
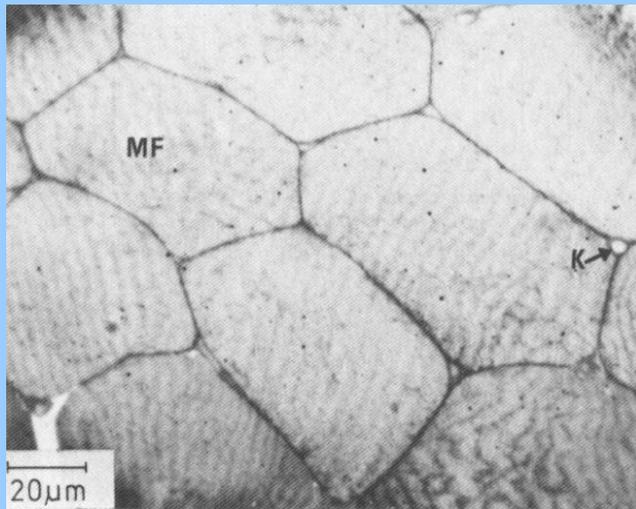
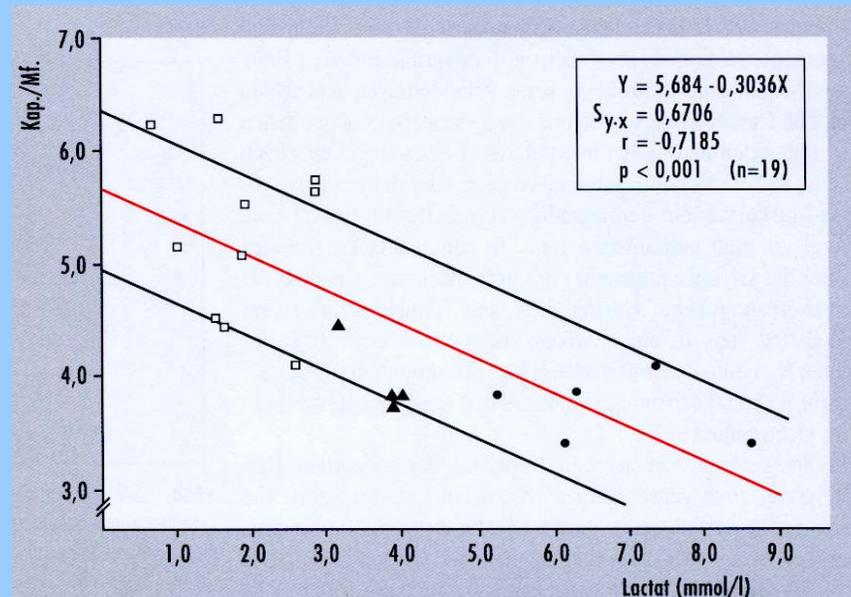
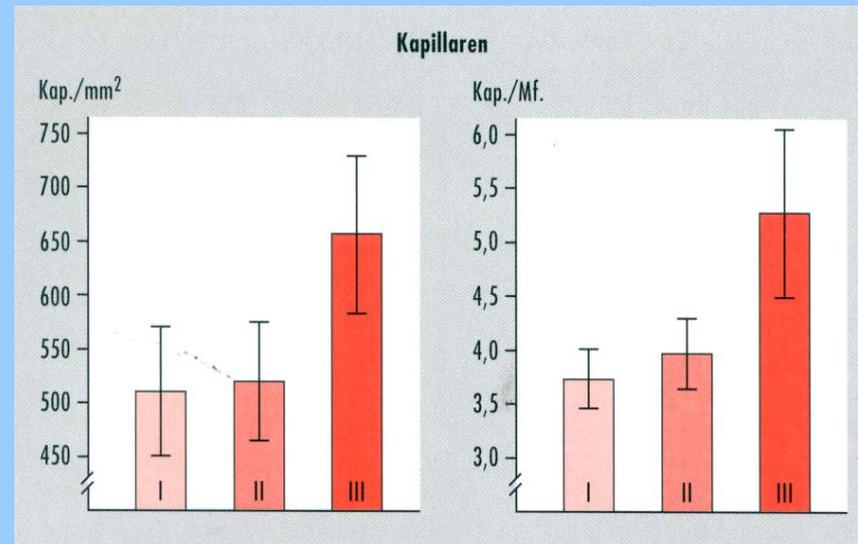
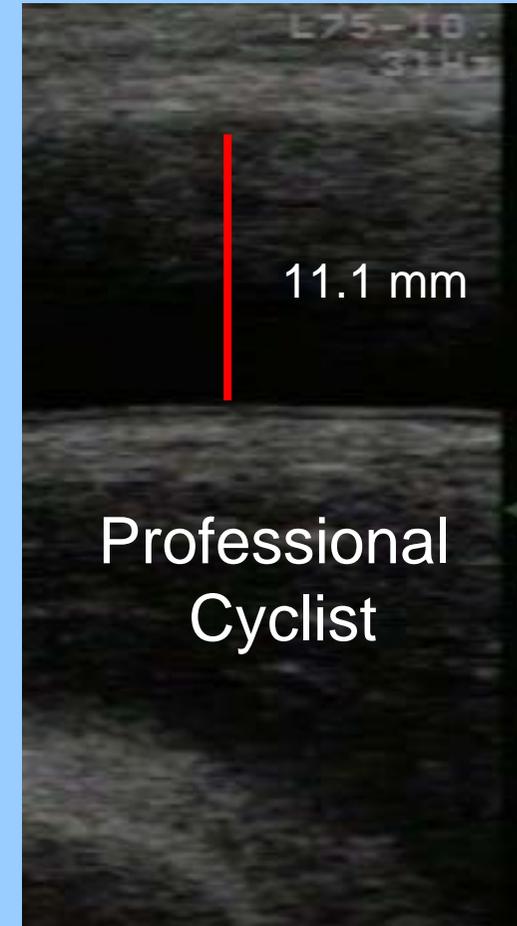
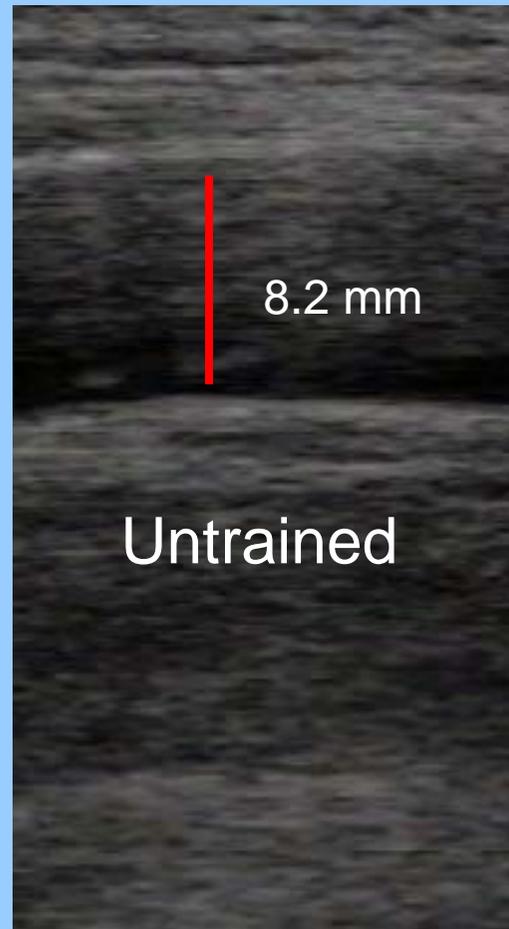


Abb. 2.5-9. Querschnitt durch den M. vastus lateralis eines Untrainierten (oben) und eines Marathonläufers (unten). MF = Muskelfaser; K = Kapillare; Originalvergrößerung 720:1 (nach Schön et al., 1978).



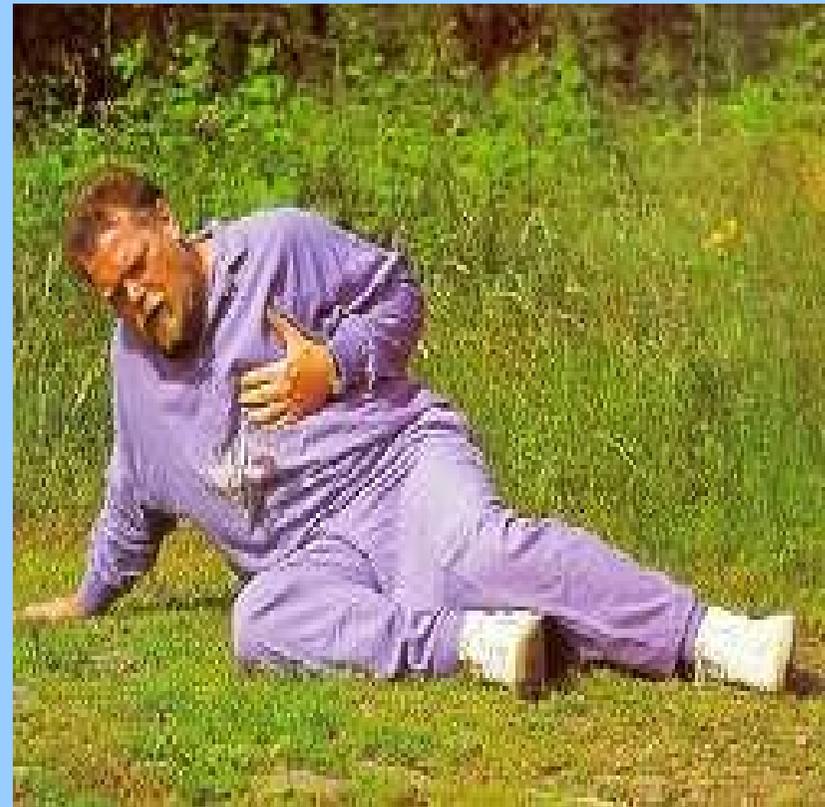
Adaptation Herz-Kreislauf – Volumenerweiterung Arterien vom muskulären Typ



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

Sport und Erkrankung

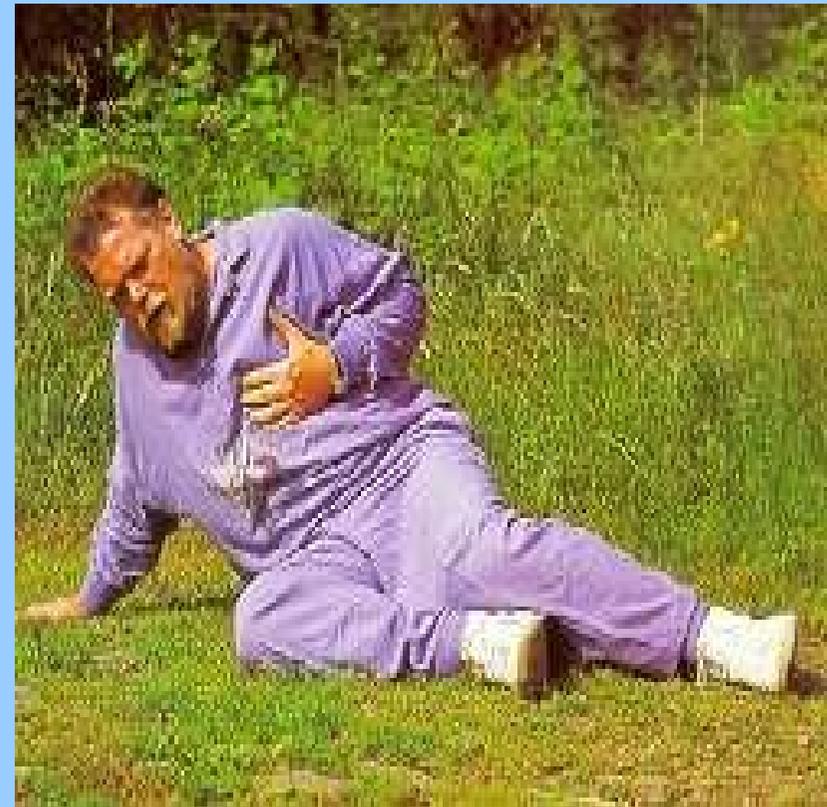
Plötzlicher Herztod beim Sport (< 40. LJ)



Sport und Erkrankung

Plötzlicher Herztod beim Sport (< 40. LJ)

HCM	21 %
KHK	18 %
Myokarditis	14 %
Koronaranom.	9 %
MKP	5 %
DCM	5 %
RV-Dysplasie	4 %
Reizleitung	4%
Sonstige	20 %



Sport und Erkrankung

Myokarditis

- Erreger: kardiotope Viren (Coxsacki B, Echoviren, Influenza- Adenoviren)
Bakterien wie Streptokokken, Borrelien, Chlamydien
- Prävalenz: 1-5 % myokardiale Beteiligung
- Symptome: Müdigkeit, Leistungsabfall, thorakale Beschwerden, Palpitationen, Dyspnoe, Myalgien

Sport und Erkrankung

Myokarditis

- Diagnostik:
 - Labor (Troponin, pro-BNP, Entzündungszeichen, Serologie (Verlauf?))
 - Ruhe-EKG
 - Echokardiogramm
 - Langzeit-EKG (negativ-prädiktiver Wert)
 - Röntgen
 - MRT
 - invasive Diagnostik

Sport und Erkrankung

Myokarditis

- Akute Gefährdung: Frühphase einer kardialen Mitbeteiligung
 - Akutes Linksherzversagen
 - Maligne Arrhythmie
- Chronische Gefährdung:
Zehnjahresüberlebensrate von 45 %
 - Dilatative Kardiomyopathie
 - Kammerflimmern

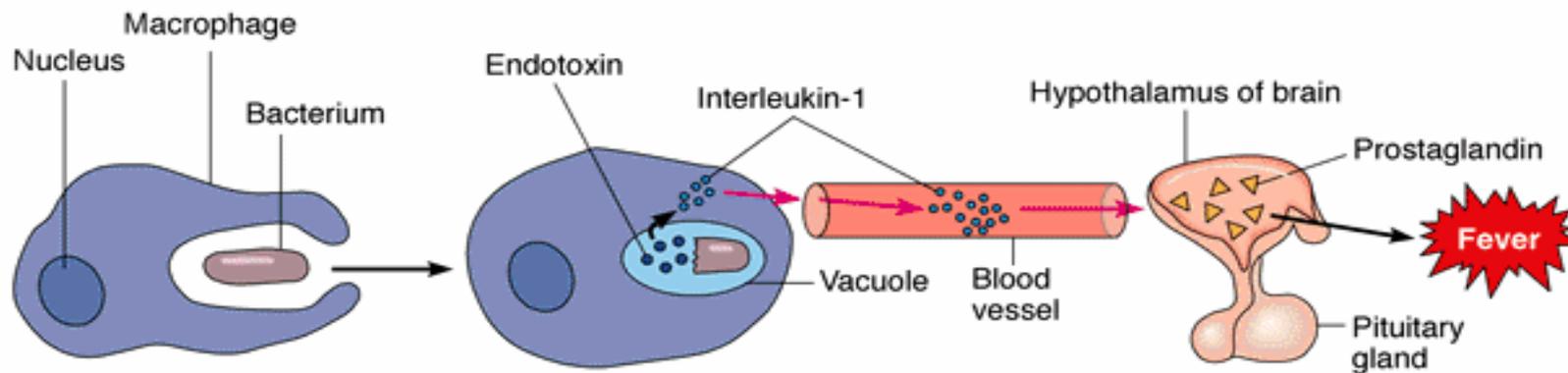
Sport und Erkrankung

Myokarditis - Empfehlungen

- Sportverbot bei erhöhter Temperatur, erhöhter Herzfrequenz, Gliederschmerzen
- Bei V.a. myokardiale Mitbeteiligung:
 - Ruhe- und Belastungs-EKG
 - Echokardiographie
 - Entzündungszeichen
 - Ruhe-EKG
- Sportverbot von mindestens 3 Monaten bei akuter Myokarditis

Sport und Erkrankung

Entzündung und Fieber



1 A macrophage ingests a gram-negative bacterium

2 The bacterium is degraded in a vacuole, releasing endotoxins that induce the macrophage to produce interleukin-1 (IL-1)

3 IL-1 is released by the macrophage into the bloodstream, through which it travels to the hypothalamus of the brain

4 IL-1 induces the hypothalamus to produce prostaglandins, which reset the body's "thermostat" to a higher temperature, producing fever

Sport und Erkrankung

Fieber und Leistungsfähigkeit

- Verminderte Kraft
- Verminderte Ausdauer
- Verminderte Kraftausdauer
- Verminderte Koordination
- Verminderte Konzentration
- **ERHÖHTES VERLETZUNGSRISIKO**



Sport und Erkrankung

Fieber

- Keine intensive Trainingsbelastung oder Wettkampf bei Temperatur $> 38^{\circ} \text{C}$)
- Keine intensiven Trainingsbelastungen oder Wettkampf mit relevanten Symptomen wie Übelkeit, Muskelschmerzen, Durchfall oder Erbrechen)
- Sportuntauglichkeit ist abhängig von der Schwere und Dauer der Erkrankung und der Trainingspause

Sport und Erkrankung

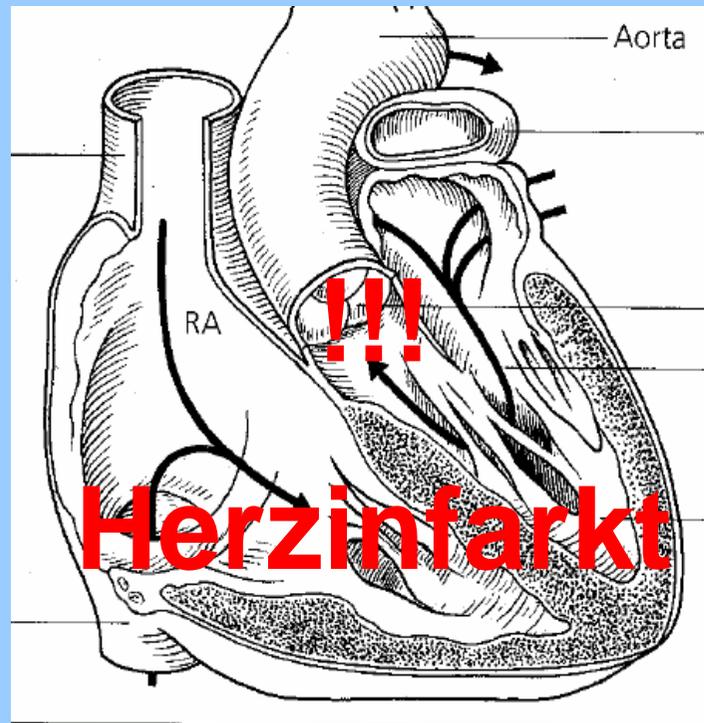
“NECK CHECK”

- Bei Symptomen oberhalb des Nackens (Schnupfen, Kopfschmerz, Halsschmerzen): dosiertes Training bei 50% der maximalen Leistungsfähigkeit über wenige Minuten, evtl. kann dann so weiter trainiert werden
- Bei Symptomen unterhalb des Nackens (Muskel- und Gelenkschmerzen, Erbrechen, Durchfall, Fieber) kein Training bis zur Symptommfreiheit

Sevier TL; Infectious Disease in Athletes, Med Clin Nor Amer, 78:2, 1994, p 389 - 412

Sport und Erkrankung

Kardiovaskuläre Risikofaktoren



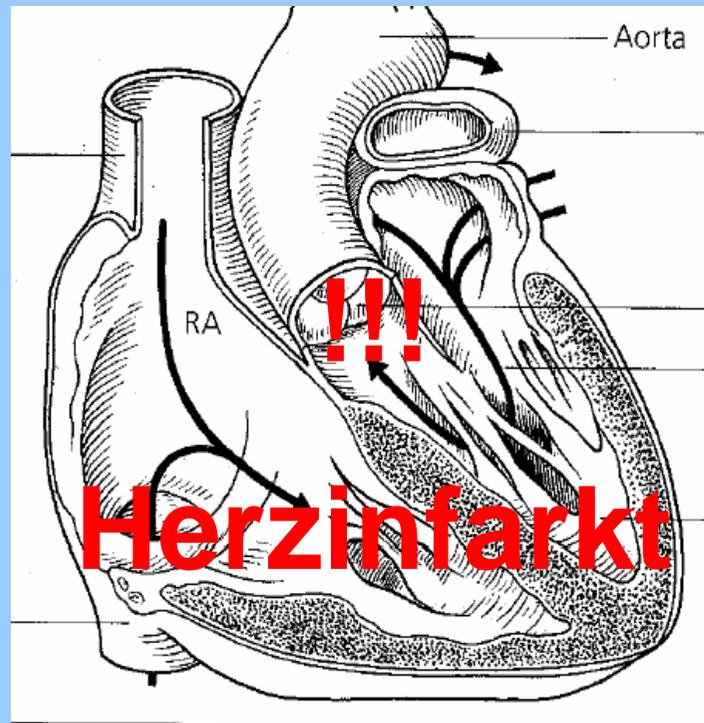
Sport und Erkrankung

Kardiovaskuläre Risikofaktoren

Hohes Cholesterin

Nikotin

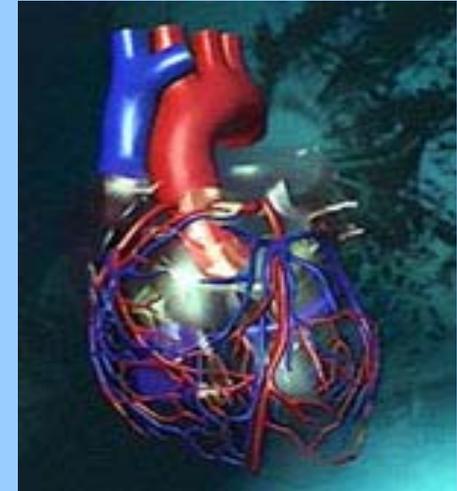
Übergewicht



Hoher Blutdruck

Zuckerkrankheit

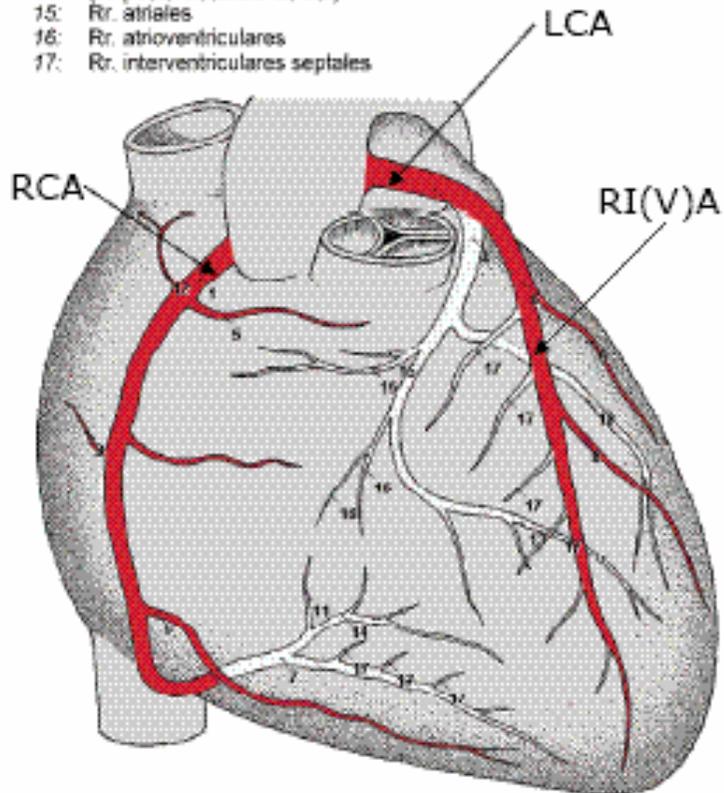
Herz – Koronararterien



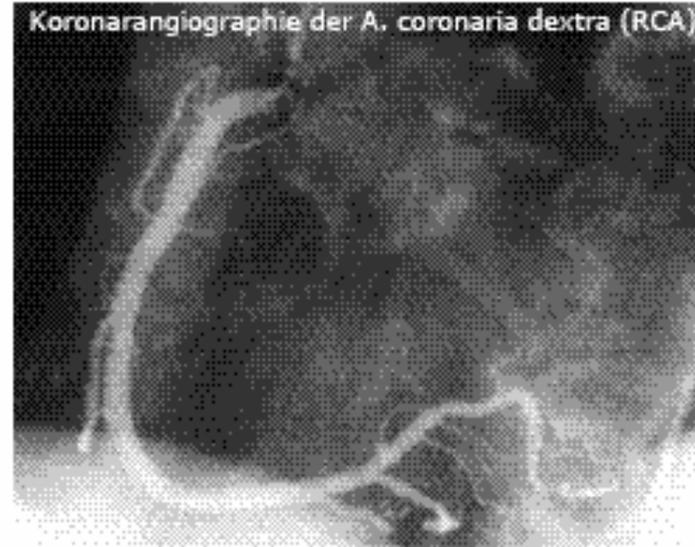
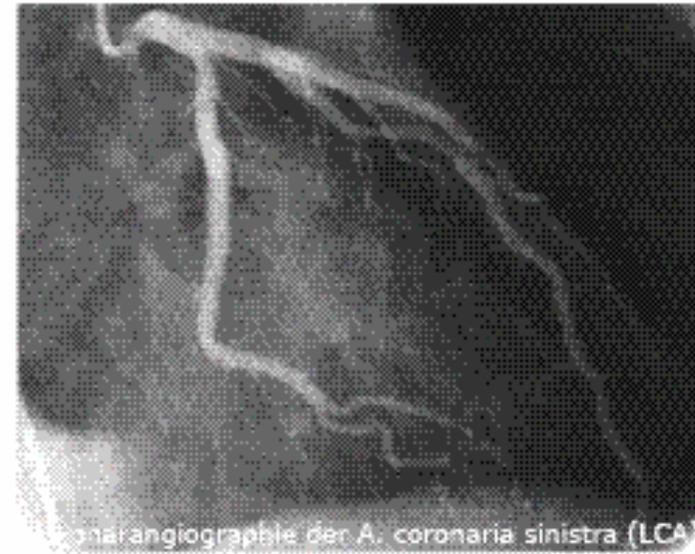
- Das Herz (Myokard) wird von den Herzkranzgefäßen (Koronararterien und –venen) mit Blut versorgt.
- Die **linke Koronararterie** (A. coronaris sinistra) entspringt aus der Aorta. Sie teilt sich nach einem kurzen Hauptstamm in 2 Äste
 - Ramus interventricularis anterior
 - Ramus circumflexus.
- Die **rechte Koronararterie** (A. coronaria dextra) entspringt ebenfalls aus der Aorta.

Herz – Koronararterien

- 1: A. coronaria dextra
- 2: A. coronaria sinistra
- 3: R. atriale
- 4: R. circumflexus
- 5: R. conus arteriosus
- 6: R. interventricularis anterior
- 7: R. interventricularis posterior
- 8: R. lateralis
- 9: R. marginalis dexter
- 10: R. marginalis sinister
- 11: R. nodi atrioventricularis
- 12: R. nodi sinuatrialis
- 13: R. posteriores ventriculi sinistri
- 14: (R. posterolateralis dexter)
- 15: Rr. atriales
- 16: Rr. atrioventriculares
- 17: Rr. interventriculares septales



(Sobotta, Bd. 2, S. 86)



(Sobotta, Bd. 2, S. 87)

Herz – Koronararterien

- A. coronaria sinistra (LCA):
(LCA = left coronary artery) entspringt im Sinus **aortae** hinter der Valvula semilunaris sinistra, gibt nach kurzem Verlauf zwischen Truncus pulmonalis und Auricula sinistra
 - Ramus interventricularis anterior (RIVA)
in den gleichnamigen Sulcus und den
 - Ramus circumflexus (RCX) ab , der im Sulcus coronarius zur Facies pulmonalis des linken Ventrikels verläuft.

- Sie *versorgt* damit im wesentlichen
 - den *linken Vorhof*
 - den größten Teil des *linken Ventrikels* und
 - die *vorderen 2/3 des Septum interventriculare*.

Herz – Koronararterien

▣ A. coronaria dextra (RCA):

(RCA = right coronary artery) entspringt im Sinus **aortae** hinter der Valvula semilunaris dextra, verläuft zwischen Truncus pulmonalis und Auricula dextra zum Sulcus coronarius und zieht in ihm auf die Dorsalseite.

Ihr Endast erreicht als

- Ramus interventricularis posterior (RIVP)
den gleichnamigen Sulcus. Schon sehr früh gibt sie den
- Ramus nodi sinuatrialis (RNS) ab.
- Auch der Ramus nodi atrioventricularis (RNAV)
kann als einer ihrer Endäste angesehen werden.

▣ Sie versorgt damit im wesentlichen

- den *rechten Vorhof*,
- den *größten Teil des rechten Ventrikels*,
- das *hintere 1/3 des Septum interventriculare* und
- *wesentliche Bestandteile des Erregungsbildungssystems.*

Training und Adaptation

Ausdauertraining/Zusammenfassung

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

