

Herzphysiologie

Jakob Unterhuber

Florian Römisch

Setzen Sie Herztöne und Herzgeräusche in Relation zu den Phasen des Herzzyklus. Erklären Sie, wodurch sie zustande kommen. Welche Ursachen und Konsequenzen kann das Auftreten von Herzgeräuschen haben?

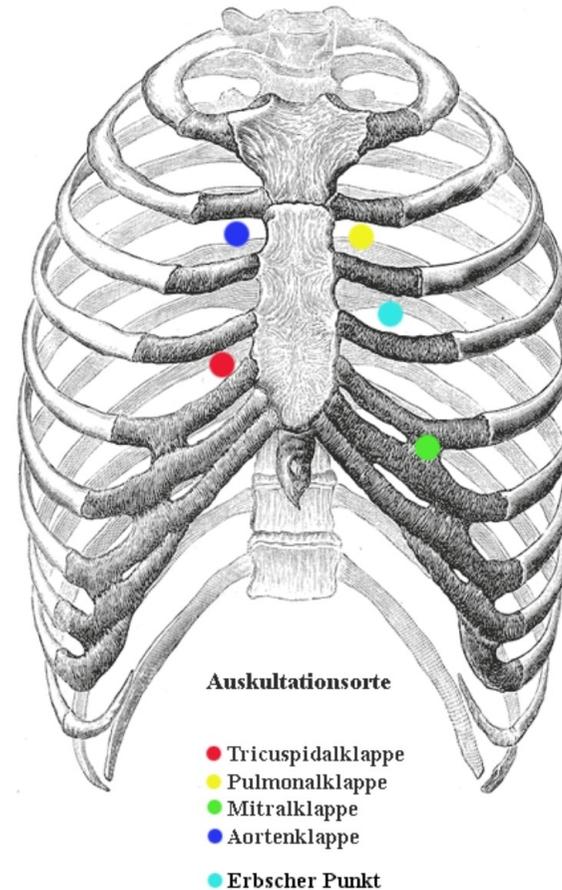
Herztöne

- ▶ 1. Herzton: während Anspannungsphase durch Kontraktion der Ventrikelmuskulatur
- ▶ 2. Herzton: Schluss der Aorten- und Pulmonalklappe
- ▶ 3. Herzton: Füllung der Ventrikel während der Diastole (Kinder physiologisch)
- ▶ 4. Herzton: aktive Vorhofkontraktion (Kinder physiologisch)



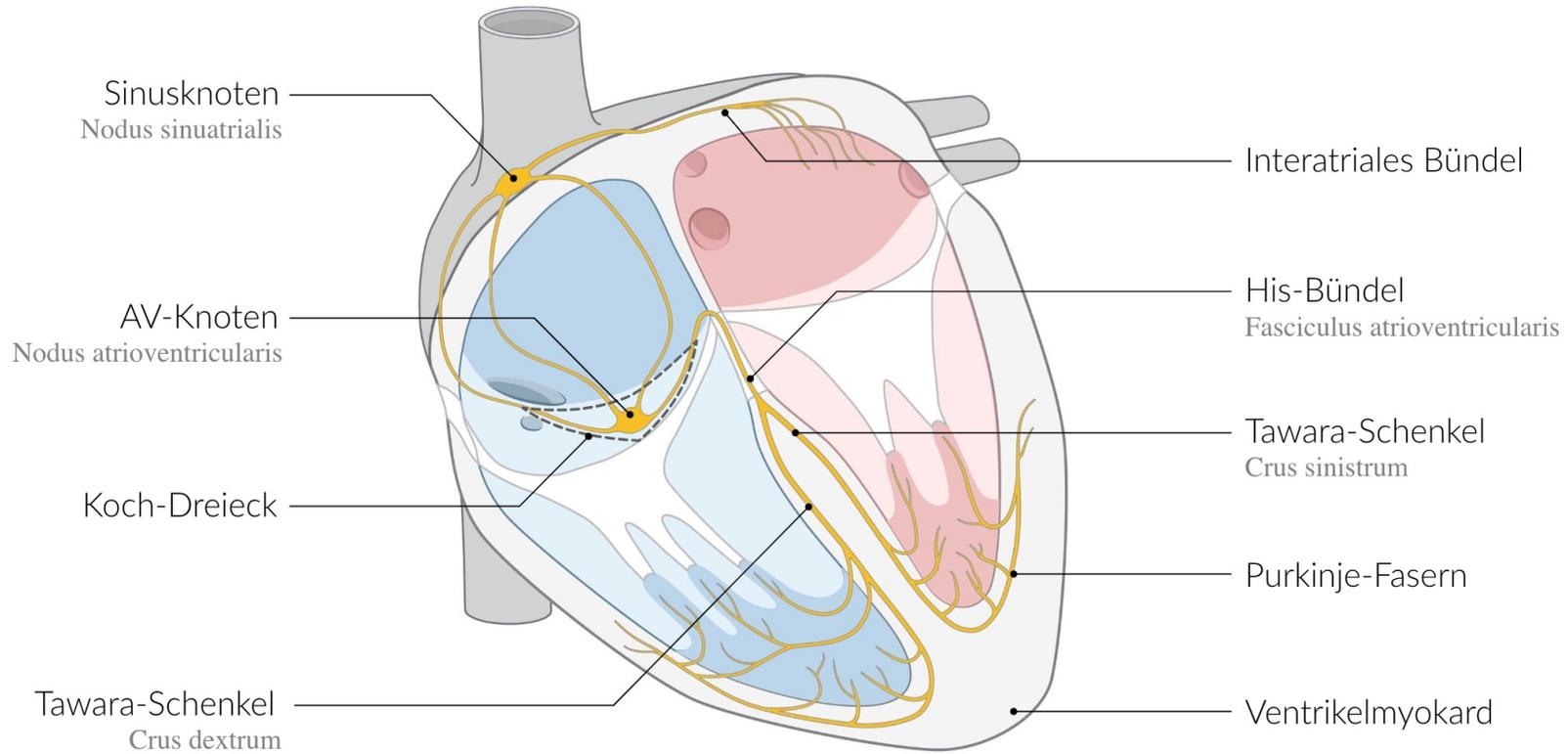
Herzgeräusche

- ▶ Meist krankhafte Strömungs- und Klappengeräusche, die vom Herz ausgehen
- ▶ Systolikum:
Mitral/Trikuspidalinsuffizienz oder Aorten/Pulmonalklappenstenose
- ▶ Diastolikum:
Mitral/Trikuspidalklappenstenose oder Aorten/Pulmonalinsuffizienz



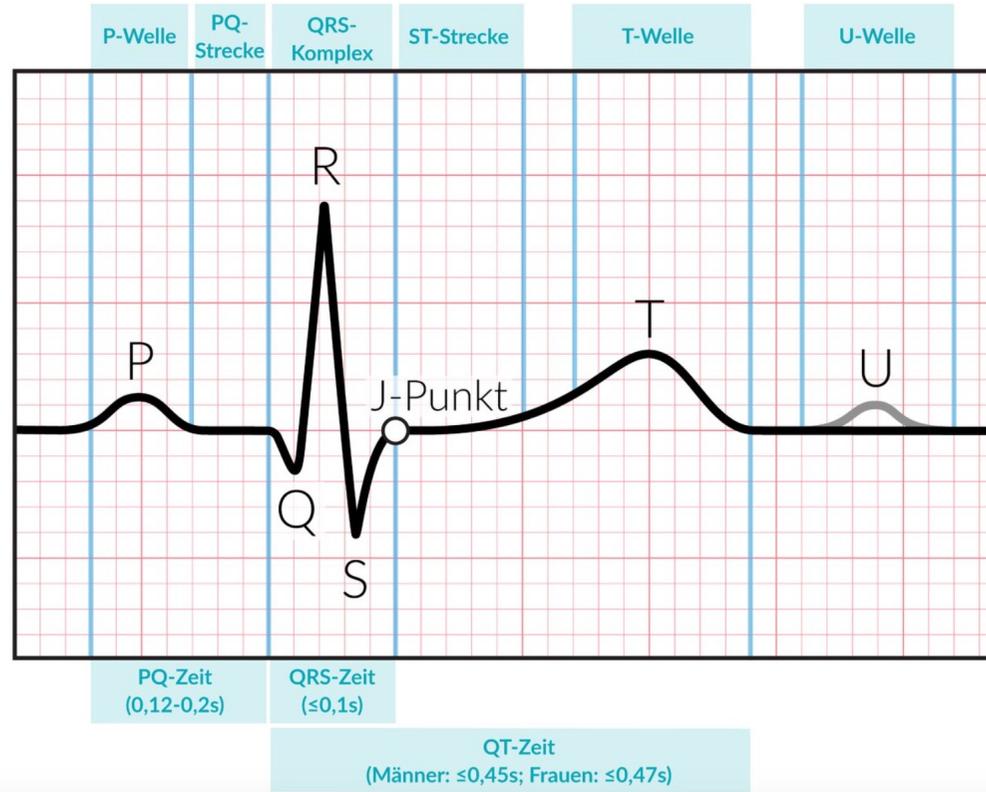
Beschreiben Sie die Erregungsbildung und Erregungsweiterleitung am Herzen und die involvierten Strukturen. Welche Unterschiede gibt es zwischen primärem, sekundärem und tertiären Schrittmachern (Funktion, Ruhemembranpotential, Eigenfrequenz)





Erregungsleitungssystem

- ▶ Sinusknoten (primärer Taktgeber)
 - ▶ Im Bereich des rechten Vorhofs lokalisiert
 - ▶ Besteht aus speziellen Muskelzellen
- ▶ AV-Knoten
 - ▶ An der Grenze zwischen Vorhof und Kammer im Septum Interatriale
 - ▶ Abnorm gesteigerte Frequenzen werden nicht übergeleitet
 - ▶ Verzögert die Leitungsgeschwindigkeit => genug Zeit für Ventrikelfüllung während der Diastole



Erregungsleitungssystem

- ▶ HIS-Bündel
 - ▶ Entspringt als dünner Strang vom AV-Knoten
 - ▶ Leiter Vorhoferregung auf Kammererregung um
 - ▶ Verzweigt sich entlang des Septums in einen linken und rechten Tawaraschenkel
- ▶ Über Purkinje-Fasern ins Myokard

- ▶ Dauer der Erregungsausbreitung: 150ms
- ▶ Dauer des Aktionspotentials: 200 – 300ms



Schrittmacher

- ▶ Primärer Schrittmacher: Sinusknoten (ca. 60-80 Schläge/Minute)
- ▶ Sekundärer Schrittmacher: AV-Knoten (ca. 40-50 Schläge/Minute)
- ▶ Tertiärer Schrittmacher: His-Bündel (ca. 25-40 Schläge/Minute)
- ▶ Bei Ausfall übernimmt immer die Struktur mit der höchsten Eigenfrequenz die Schrittmacherfunktion!



Nennen Sie Unterschiede zwischen Schrittmacherzellen
und Arbeitsmyokard, und
beschreiben Sie die Komponenten des Aktionspotentials
(inklusive Ionenströme)



Schrittmacherzellen

- ▶ Selbstständige Aktionspotentiale
- ▶ Kein Ruhemembranpotential!

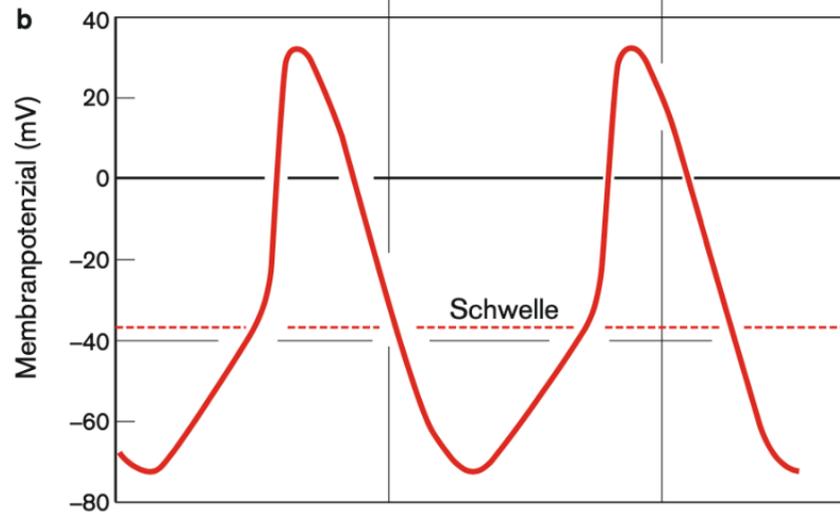
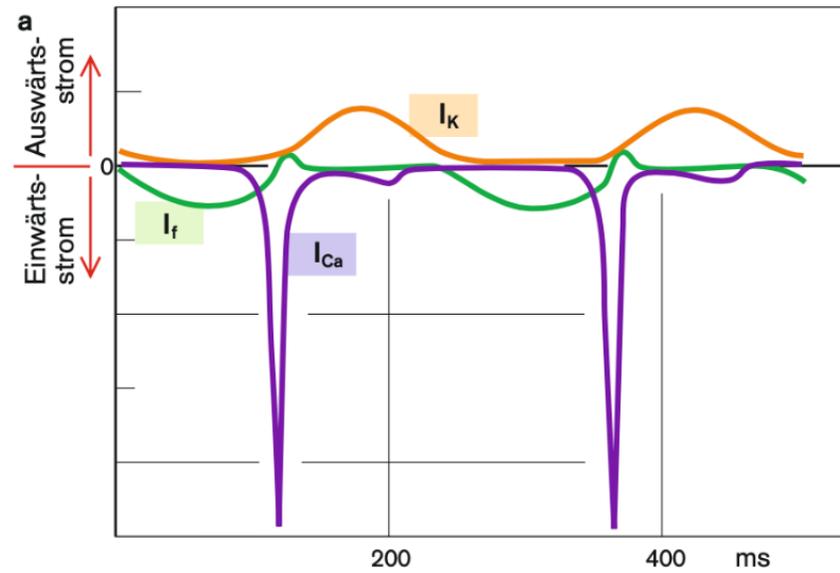
- ▶ HCN-Kanäle
 - ▶ Aktiviert durch Hyperpolarisation (-60mV)
 - ▶ Kationeneinstrom (besonders für Natrium)
- ▶ Calciumkanäle
 - ▶ Öffnen nach zunehmender Depolarisation (-40mV)



Schrittmacherzellen

- Aufstrichphase:
 1. HCN-Kanäle öffnen => Kationeneinstrom => Vordepolarisation auf -40mV
 2. Spannungsaktivierte L-Typ-Calciumkanäle öffnen sich => Calciumeinstrom => +20mV
Langsamer Anstieg durch Calcium; Plateauphase fast nicht ausgeprägt

- Repolarisation
 - L-Typ-Calciumkanäle schließen sich
 - Kaliumkanäle öffnen sich => Kalium strömt aus => -60mV => Kanäle schließen

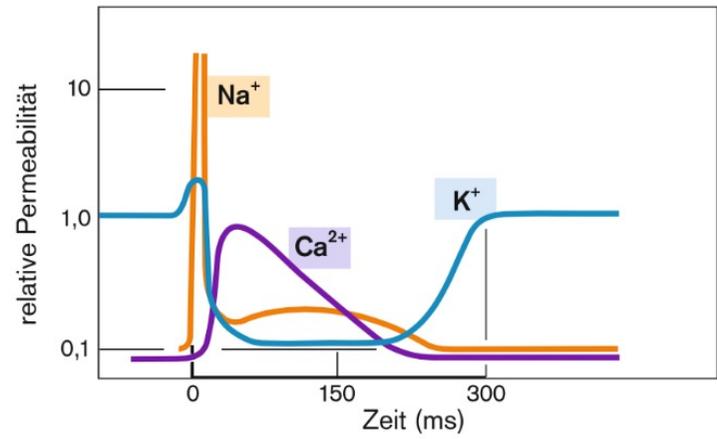
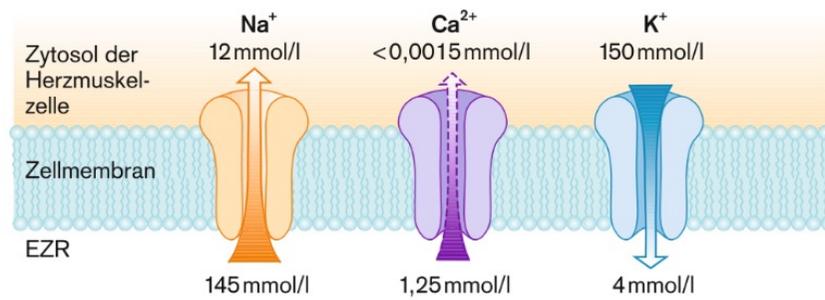
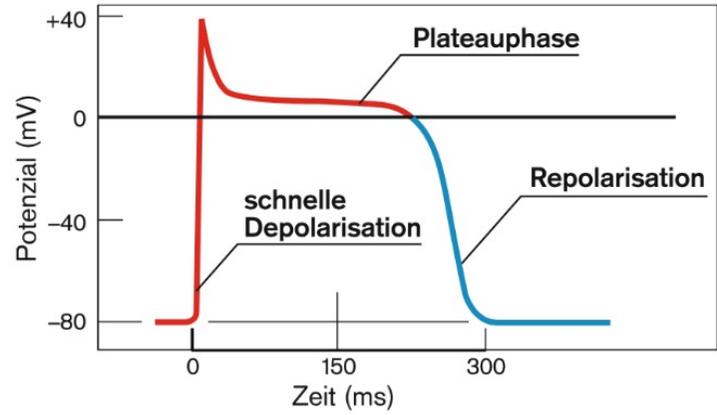


Arbeitsmyokard

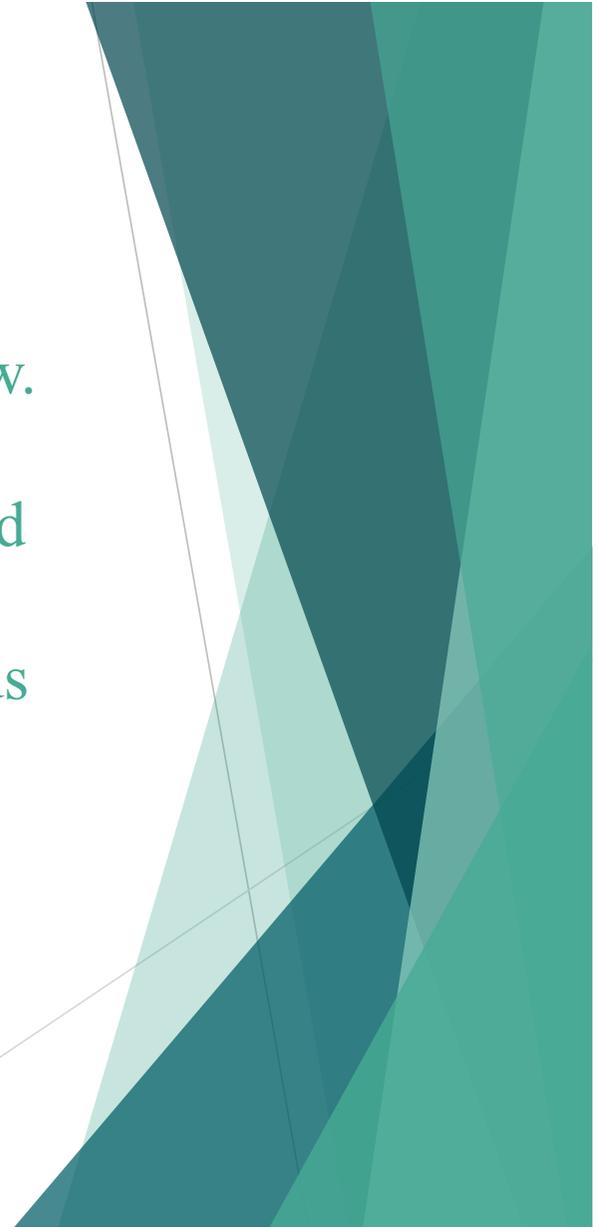
- ▶ Initiation
 - ▶ Bedingt durch Kationeneinstrom, Schwellenpotential (-65mV) wird erreicht
- ▶ Depolarisation
 - ▶ Öffnung von Natriumkanälen => rascher Natrium Einstrom
 - ▶ Umpolarisierung auf +40mV
 - ▶ Natriumkanäle schließen
- ▶ Frühe schnelle Repolarisation
 - ▶ Partielle Repolarisation auf etwa 0mV durch Aktivierung eines Kalium Ausstroms

Arbeitsmyokard

- ▶ Plateauphase
 - ▶ Erhöhung der Membranleitfähigkeit für Calcium; langsamer depolarisierender Calcium Einstrom
 - ▶ Spannungsabhängige Kaliumkanäle öffnen sich
 - ▶ Plateauphase = Gleichgewicht aus Calcium Einstrom und Kalium Ausstrom
- ▶ Repolarisation
 - ▶ Calciumkanäle sind geschlossen
 - ▶ Kaliumkanäle erreichen maximale Leitfähigkeit



Erklären Sie die Phasen der Herzaktion. Wann öffnen bzw. schließen die einzelnen Klappen? Beschreiben Sie die Änderung der Druck- und Volumenverhältnisse in den Herzkammern und der Aorta im Rahmen des Herzzyklus (siehe Diagramm nach Wiggers)

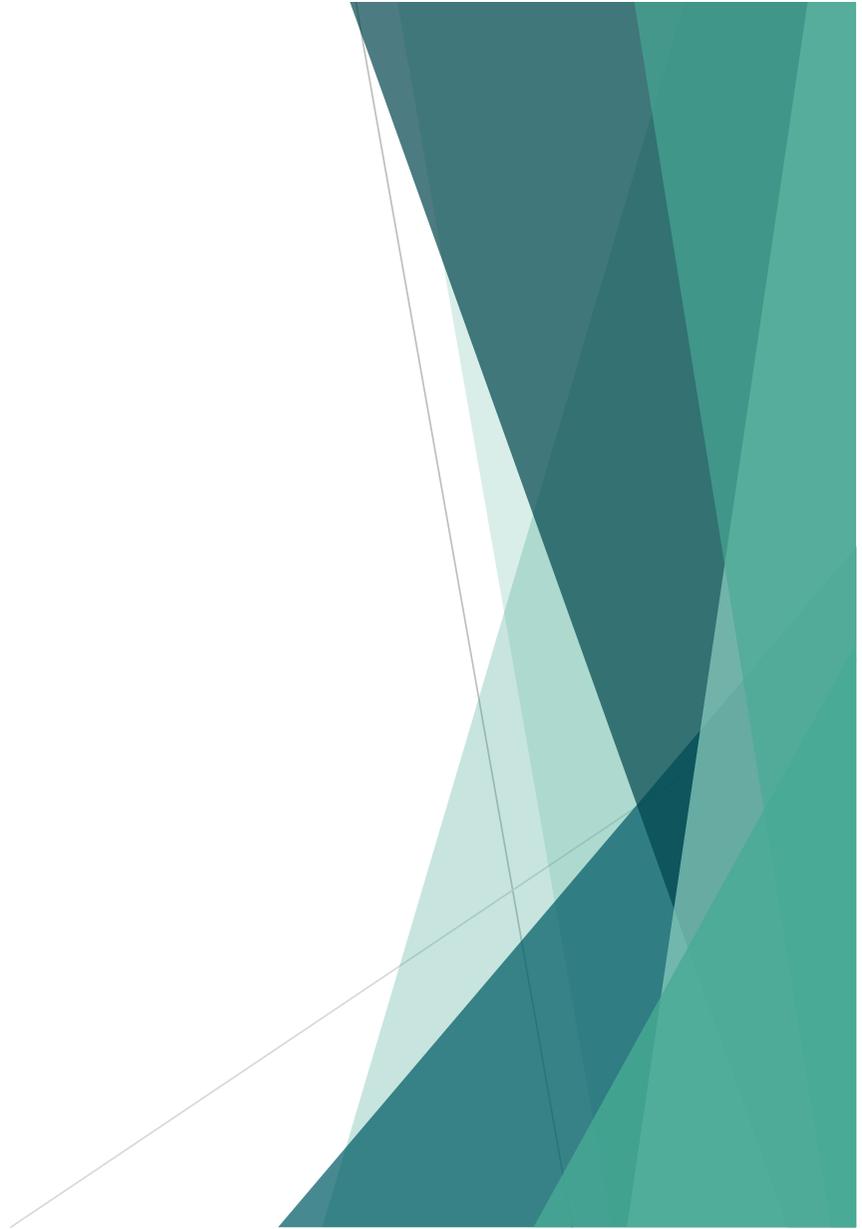


Herzphasen

- ▶ Systole = Anspannungsphase und Auswurfphase
- ▶ Diastole = Erschlaffungsphase und Füllphase
- ▶ Anspannungsphase
 - ▶ AV-Klappen schließen (Ventrikeldruck > Vorhofdruck)
 - ▶ Aortenklappe ebenfalls geschlossen => Druck steigt, Volumen bleibt gleich
 - ▶ Wenn Ventrikeldruck den Aortendruck überschreitet öffnet sich die Aortenklappe und die Austreibungsphase beginnt
- ▶ Austreibungsphase
 - ▶ Weiterer Druckanstieg in Ventrikel und Aorta, Volumen im Ventrikel nimmt ab (SV = 90ml), ein Restvolumen (50ml) bleibt im Ventrikel zurück
 - ▶ Endet, wenn Ventrikeldruck vom Aortendruck überschritten wird => Aortenklappe schließt

Herzphasen

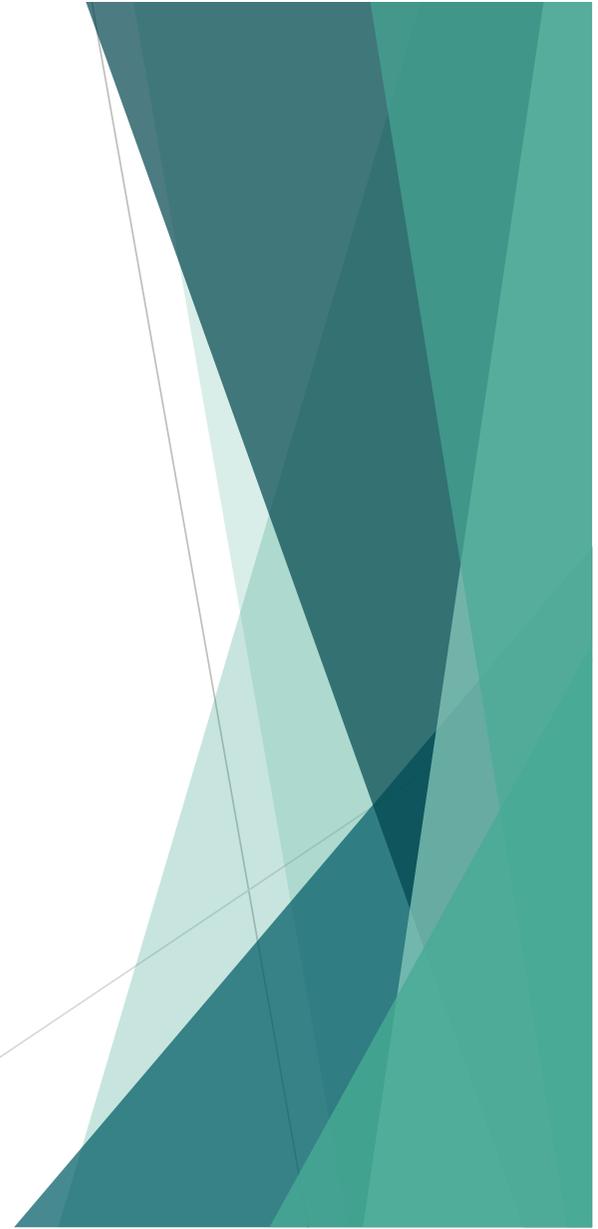
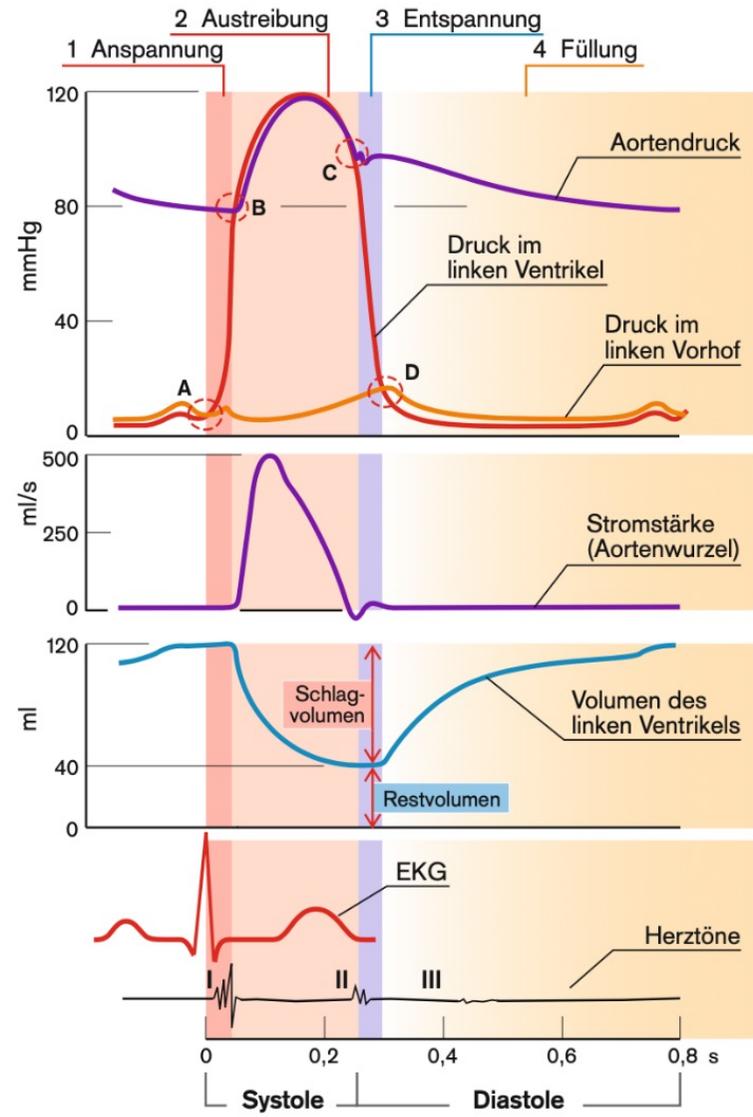
- ▶ Entspannungsphase
 - ▶ Ventrikeldruck nimmt stark ab
 - ▶ Sobald der Vorhofdruck unterschritten wird, beginnt die Füllphase
- ▶ Füllphase
 - ▶ AV-Klappen öffnen sich
 - ▶ Füllung der Ventrikel



Klappenverhältnisse

- ▶ Anspannungsphase: Alle Klappen geschlossen
- ▶ Austreibungsphase: Aorten/Pulmonalklappe geöffnet, AV-Klappen geschlossen
- ▶ Entspannungsphase: Alle Klappen geschlossen
- ▶ Füllungsphase: AV-Klappen geöffnet, Aorten/Pulmonalklappe geschlossen





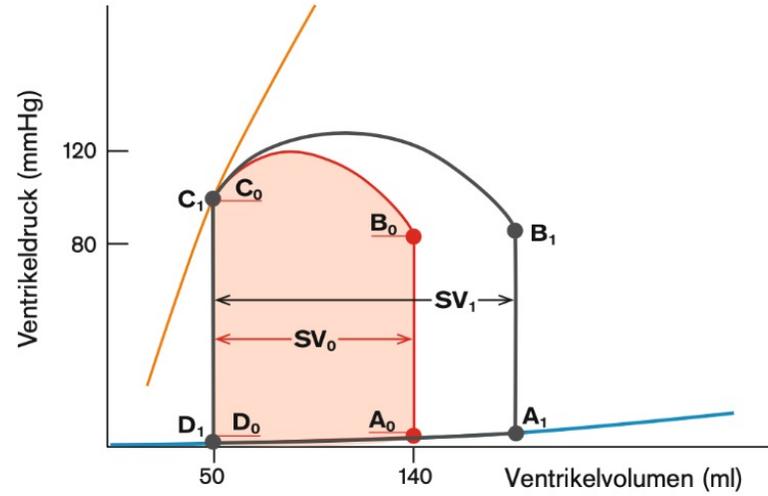
Was versteht man unter Vorlast und Nachlast am Herzen
und worin liegt deren
Bedeutung? Durch welche Einflussfaktoren kann die
Vorlast bzw. Nachlast beeinflusst
bzw. reguliert werden?



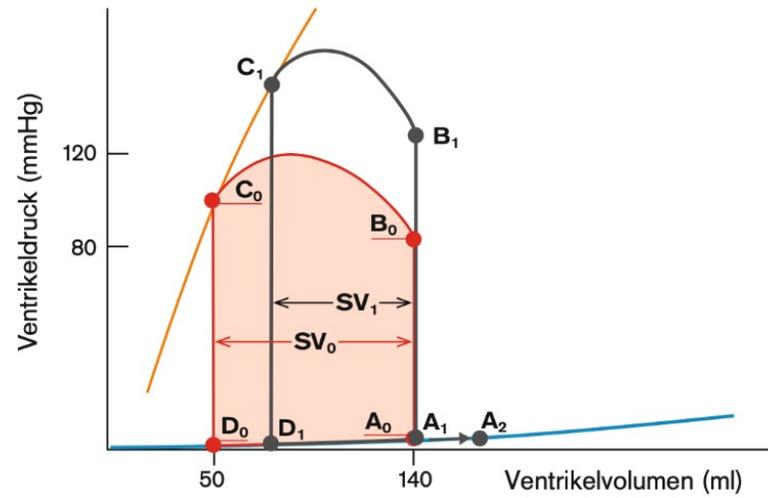
Vorlast und Nachlast

- ▶ Vorlast = Enddiastolische Volumen im Ventrikel (140ml) und die damit verbundene Vorspannung des Ventrikelmyokards.
- ▶ Nachlast = Mittlerer Blutdruck in Aorta und A. Pulmonalis und dem damit einhergehenden Auswurfwiderstand für den linken- bzw. rechten Ventrikel
- ▶ Frank-Starling-Mechanismus
 - ▶ Spannungsentwicklung des Herzens ist abhängig von seiner Vordehnung
 - ▶ In einem bestimmten Bereich führt eine Zunahme der Vordehnung des Muskels zu einer Steigerung der entwickelten Muskelspannung

a Volumenbelastung (preload)



b Nachlasterhöhung (afterload)



Vorlast erhöht

- ▶ Bei erhöhtem venösem Rückstrom
- ▶ Es erhöht sich das Schlagvolumen bei gleichbleibendem Aortendruck
- ▶ „Kommt mehr rein, geht mehr raus“



Nachlast erhöht

- ▶ Druckerhöhung des diastolischen Aortendrucks
- ▶ Aortenklappe öffnet sich erst, wenn Ventrikeldruck $>$ Aortendruck \Rightarrow Schlagvolumen nimmt zunächst ab
- ▶ Ventrikelvolumen am Ende der Systole ist nun erhöht
- ▶ In der Füllphase addieren sich das normale Füllvolumen mit dem im Ventrikel vorhandenen Volumen \Rightarrow erhöhter enddiastolischer Druck
- ▶ Resultat: ein nahezu unverändertes Schlagvolumen kann gegen den erhöhten Aortendruck gepumpt werden



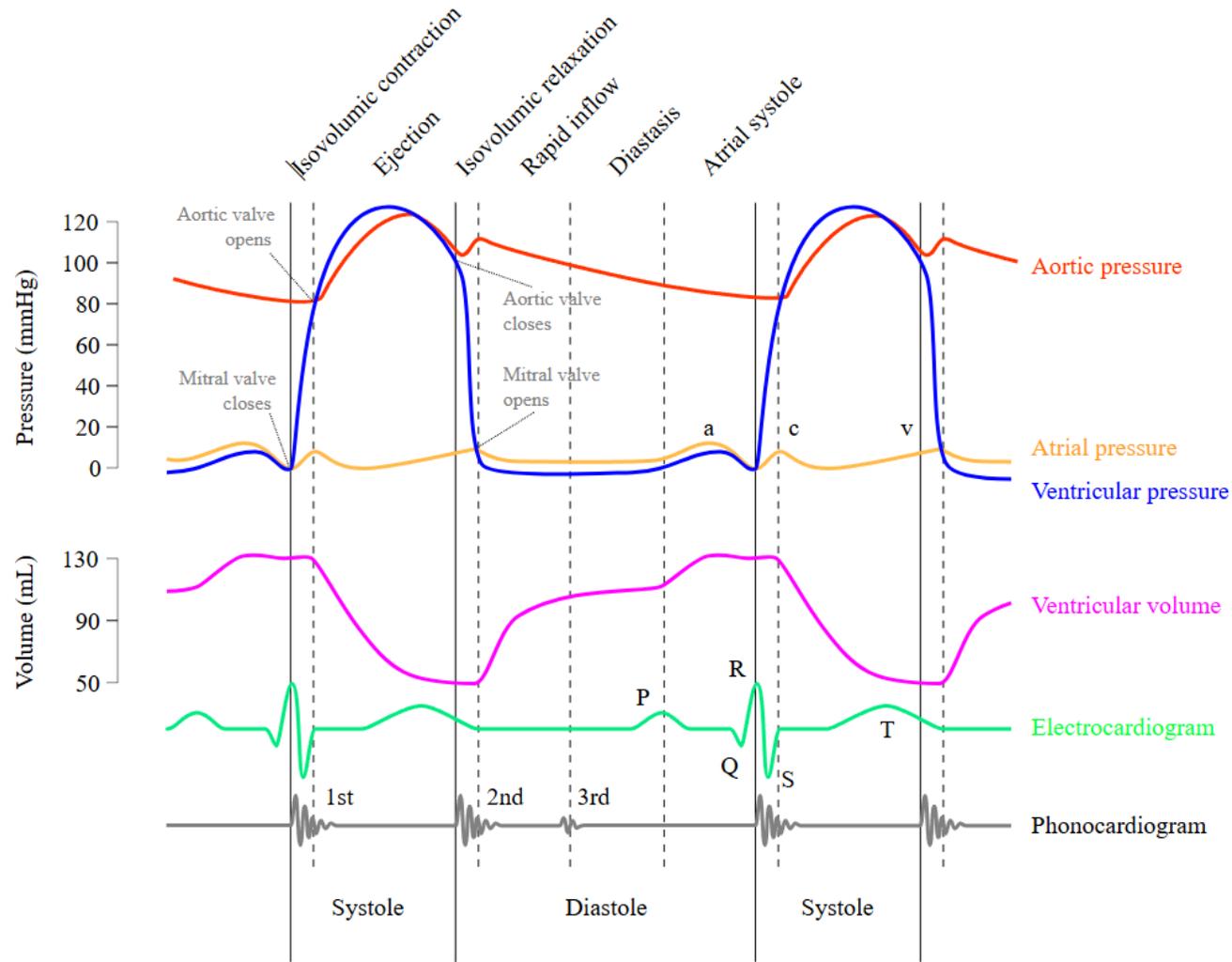
Definieren Sie die Begriffe „systolischer Druck“, „diastolischer Druck“ und „arterieller Mitteldruck“. Wodurch kommen diese Drücke zustande, wo können sie gemessen werden? Nennen Sie Normwerte für körperliche Ruhe.

Systolischer und Diastolischer Druck

- ▶ Systolischer Druck:
 - ▶ Höchster Blutdruck während der Systole (Auswurfsphase)
 - ▶ Wird in Aorta gemessen
 - ▶ Normal: ~120mmHg

- ▶ Diastolischer Druck:
 - ▶ Niedrigster Druck in der Aorta
 - ▶ Während der isovolumetrischen Anspannungsphase
 - ▶ Normal: ~80mmHg





Mittlerer arterieller Blutdruck

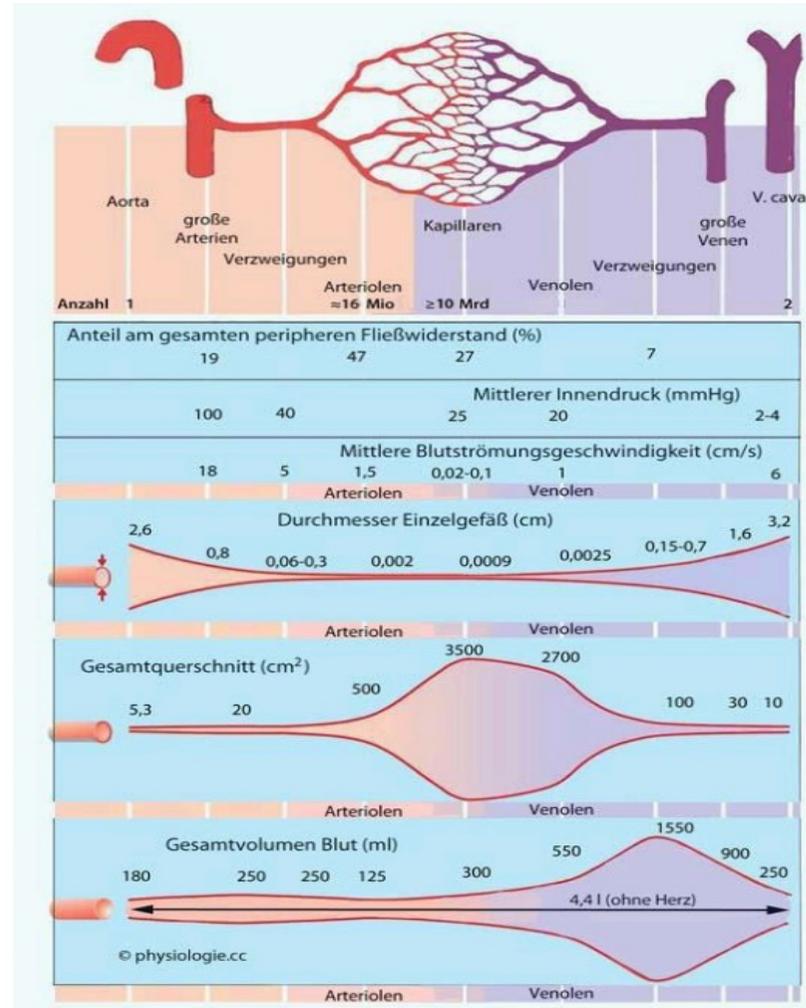
- ▶ Mittelwert des im Gefäßsystem herrschenden Drucks
- ▶ Blutdruckdurchschnitt über die **Zeit**
- ▶ Unabhängig von Systole / Diastole

- ▶ Berechnung:
 - ▶ Für herznahe Arterien: $MAD = DD + \frac{1}{2} * (SD - DD)$
 - ▶ Für herzferne Arterien: $MAD = DD + \frac{1}{3} * (SD - DD)$
 - ▶ (SD = Systolischer Druck DD = Diastolischer Druck)

**Beschreiben Sie Druck,
Strömungsgeschwindigkeit und
Gesamtquerschnitt in den einzelnen
Abschnitten des Gefäßsystems**



Druck, Strömungs- geschwindigkeit und Gesamtquerschnitt



Druck, Strömungsgeschwindigkeit und Gesamtquerschnitt

- ▶ Druck im Gefäßsystem nimmt von Aorta -> Vena cava ab
- ▶ Je höher der Gesamtquerschnitt eines Systems, desto geringer die Strömungsgeschwindigkeit
- ▶ Genug Zeit für Stoffaustausch in den Kapillaren

	Druck (mmHg)	Strömungsgeschwindigkeit	Querschnitt gesamt
Aorta	100	18 cm/s	5,3 cm ²
Arteriolen	40	1,5 cm/s	500 cm ²
Kapillaren	25	0,1 cm/s	3500 cm ²
Venolen	20	1 cm/s	2700 cm ²
Vena cavae	2-4	6 cm/s	10 cm ²

**Erklären Sie den Begriff Compliance.
Beschreiben Sie den Windkessel­effekt und
benennen Sie die Folgen einer
eingeschränkten Elastizität/Dehnbarkeit
der Aorta**



Compliance & Windkessel effekt

- ▶ Compliance („Nachgiebigkeit“) ist ein Maß für die Dehnbarkeit eines Organs
- ▶ Volumen / Druck -> wie stark nimmt das Volumen zu, wenn ich den Druck erhöhe
- ▶ ≠ Elastizität
- ▶ Deutlich höhere Compliance im venösen System

- ▶ Temporäre Speicherung des Blutes in elastischen Fasern
- ▶ Pulsatiler Blutfluss -> kontinuierlichen Fluss





Windkesseneffekt

- ▶ Temporäre Speicherung des Blutes in elastischen Fasern
- ▶ Pulsatiler Blutfluss -> kontinuierlichen Fluss
- ▶ Atherosklerose:
 - ▶ Aorta wird steifer, Gefäßwand verliert Elastizität
 - ▶ Systolischer Druck steigt -> mehr Blut aufeinmal
 - ▶ Diastolischer Druck sinkt -> weniger zwischengespeichertes Blut



Beschreiben Sie die Veränderung im Herz-Kreislauf-System bei Lageänderung vom Liegen ins Stehen. Erklären Sie die Mechanismen, welche den venösen Rückstrom und die Füllung des rechten Vorhofs begünstigen



Lageänderungen & venöser Rückstrom

- ▶ Blutdruck wird durch körpereigene Faktoren und durch die Erdanziehungskraft beeinflusst -> Hydrostatischer Druck
- ▶ Druck steigt bei tiefer gelegenen Körperstellen an
- ▶ Punkt, an dem Blutdruck im Stehen und Liegen gleich ist: hydrostatischer Indifferenzpunkt

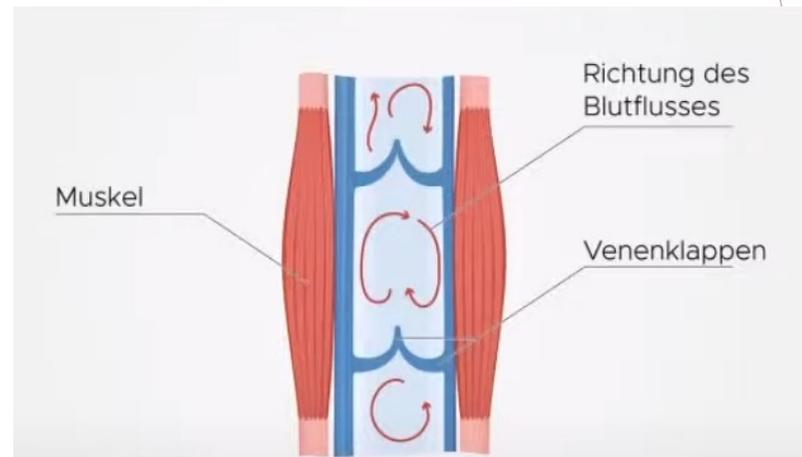


Lageänderungen: vom Liegen ins Stehen

- ▶ Blutvolumen versackt in den Beinen -> Vorlast **sinkt**
- ▶ Arterielle Blutdruck **sinkt** daraufhin ab
- ▶ Frank Starling Mechanismus: Herzfrequenz **steigt** an
- ▶ Barorezeptoren lassen Sympathikusaktivität **steigen**
 - ▶ -Herzfrequenz **steigt**
 - ▶ Peripherer Widerstand **steigt**

Venöser Rückstrom

- ▶ Ventilebenenmechanismus
 - ▶ Ventilebene senkt sich während Systole
 - ▶ Lässt einen Sog entstehen
- ▶ Muskelpumpe
 - ▶ -> Venen werden von Muskeln komprimiert
 - ▶ -> Blut wird Richtung Herz gedrückt
- ▶ Atempumpe
 - ▶ Inspiration lässt Unterdruck in Thorax entstehen

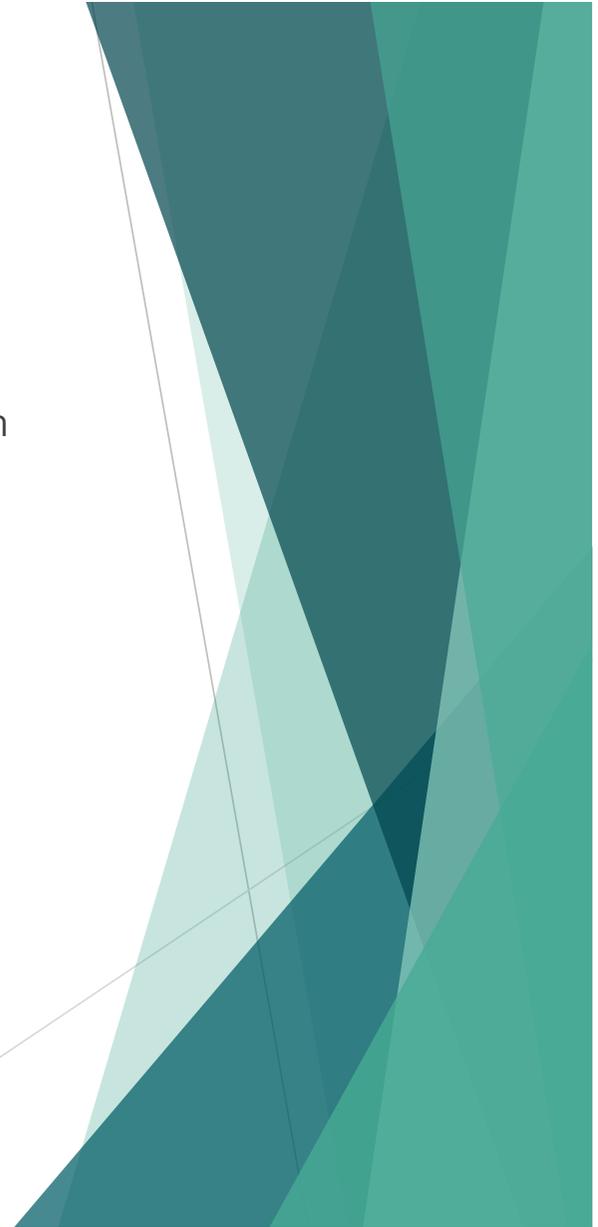


**Unterscheiden Sie die Begriffe „Druckpuls“
und „Strömungspuls“. Beschreiben Sie
Gesamtquerschnitt und
Strömungsgeschwindigkeit in den
unterschiedlichen Gefäßabschnitten**



Strömungspuls

- ▶ Strömungspuls ist die pulsatile Schwankung der Blutströmungsgeschwindigkeit in den Gefäßen im zeitlichen Verlauf
- ▶ Ausbreitungsgeschwindigkeit des Blutes
- ▶ Abhängig von Dehnbarkeit der Gefäßwand, Gefäßdurchmesser, Volumenstrom
- ▶ Negative Werte bei Rückfluss durch Aortenklappen



Druckpuls

- ▶ Druckpuls: Ausbreitung der Druckwelle in den Gefäßen
- ▶ Anstieg des Blutdrucks von 80 auf 120mmHg
- ▶ Ausbreitungsgeschwindigkeit ist höher als Strömungsgeschwindigkeit
- ▶ Je starrer und kleiner das Gefäß, desto schneller die Ausbreitung der Druckwelle



Druckpuls & Strömungspuls

	Druckpuls	Strömungspuls
Gefäßdurchmesser	Steigt	Sinkt
Elastizität	Steigt	Sinkt
Richtung Peripherie	Steigt	sinkt

