

Allgemeine Anatomie I

Einführung, Knochen

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie, Di 21.02.2023 16:15

Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00
Frühjahrssemester 2023

Hörsaal Y15-G60, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstrasse 190
Zeit Dienstag 16:15-18:00
Dozenten I. Amrein (Am), D.P. Wolfer (Wo)

Datum/Woche	Dozent	Thema
→ 21.02.23 1	Wo	Allgemeine Anatomie I
28.02.23 2	Wo	Allgemeine Anatomie II
07.03.23 3	Wo	Allgemeine Anatomie III
14.03.23 4	Wo	Allgemeine Anatomie IV
21.03.23 5	Wo	Untere Extremität I
28.03.23 6	Wo	Untere Extremität II
04.04.23 7	Wo	Untere Extremität III
11.04.23		keine Vorlesung (Osterferien)
18.04.23 8	Wo	Untere Extremität IV
25.04.23 9	Wo	Rumpf I
02.05.23 10	Wo	Rumpf II
09.05.23 11	Am	Obere Extremität I
16.05.23 12	Am	Obere Extremität II
23.05.23 13	Am	Obere Extremität III
30.05.23 14		keine Vorlesung (Reservetermin)

Inhalt der Vorlesung

- Thema: Organsystem Bewegungsapparat
 - nicht nur für Sport wichtig, essentiell für selbständiges Leben und Arbeitsfähigkeit: 40% der Arztkonsultationen, 27% der Gründe für Arbeitsunfähigkeit, Verletzungen & degenerative Erkrankungen
 - aktiv Kraft erzeugende Elemente: Muskeln
 - mechanisch aber nicht biologisch passive Elemente: Knochen, Gelenke, Sehnen, Hilfseinrichtungen
 - Leitungsbahnen: Gefässe, Nerven (hier nur am Rande)
 - Fokus auf Beziehung Struktur ↔ Funktion
- Programm
 - allgemeine / spezielle Anatomie
 - Dozierende: David Wolfer, Irmgard Amrein
- Prüfung
 - Prüfung am mobilen Gerät, 1 Stunde
 - 30 Fragen (1:1 Typ ETH SC und Kprim)
 - Sommer- und Wintersession selber Stoffumfang
 - Prüfungsstoff durch Vorlesung und Unterlagen bestimmt, Fragen im selben Stil wie online Übungsfragen

Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates

Vorlesung 376-0905-00
Frühjahrssemester 2023

Hörsaal Y15-G60, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstrasse 190
Zeit Dienstag 16:15-18:00
Dozenten I. Amrein (Am), D.P. Wolfer (Wo)

Datum/Woche	Dozent	Thema
➔ 21.02.23	1 Wo	Allgemeine Anatomie I
28.02.23	2 Wo	Allgemeine Anatomie II
07.03.23	3 Wo	Allgemeine Anatomie III
14.03.23	4 Wo	Allgemeine Anatomie IV
21.03.23	5 Wo	Untere Extremität I
28.03.23	6 Wo	Untere Extremität II
04.04.23	7 Wo	Untere Extremität III
11.04.23		keine Vorlesung (Osterferien)
18.04.23	8 Wo	Untere Extremität IV
25.04.23	9 Wo	Rumpf I
02.05.23	10 Wo	Rumpf II
09.05.23	11 Am	Obere Extremität I
16.05.23	12 Am	Obere Extremität II
23.05.23	13 Am	Obere Extremität III
30.05.23	14	keine Vorlesung (Reservetermin)

30.01.23 D.P. Wolfer

Weblinks und Bücher

- Moodle 376-0905-00L Funktionelle Anatomie
 - Programm der Vorlesung, Bücherliste
 - Aufzeichnungen der Vorlesungsstunden
 - Folien (sehr knapp → eigene Notizen & Zusammenfassung)
 - Link auf Groscurth-Anatomie (für Mediziner)
 - Link auf www.dpwolfer.ch: Übungsfragen
 - via ETH-Bibliothek Lehrbücher / Visible Body
- Bücherliste Funktionelle Anatomie
 - kein obligatorisches Referenzbuch für die Vorlesung
 - Buchempfehlungen zum Nachlesen und Vertiefen, Auswahl nach persönlicher Vorliebe
- Bücher Anatomie I+II
 - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
 - mehr Gewicht auf Anatomie der Leitungsbahnen
- Lehrbücher für Medizinstudierende
 - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
 - mehr Gewicht auf Anatomie der Leitungsbahnen
 - umfangreicher als diese Vorlesung, bei speziellem Interesse oder als Nachschalgewerk, selektiv Lesen

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Funktionelle Anatomie

Vorlesung 376-0905-00

Frühjahrssemester 2023

I. Amrein
D.P. Wolfer

Empfohlene Lehrbücher

Lehrbücher Bewegungsapparat

Schünke M: Topografie und Funktion des Bewegungssystems
3. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2018

Gehrke T: Sportanatomie
8. Auflage, Nikol Verlag, 2009

Weineck J: Sportanatomie
18. Auflage, Spitta-Verlag, 2008

Atlas

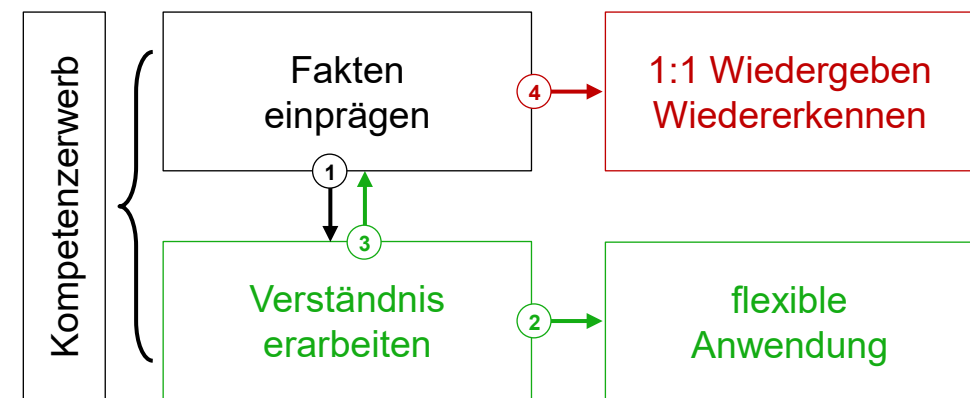
Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus, LernAtlas der Anatomie
Band I: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem
6. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2022

30.01.23, D.P. Wolfer

Lernziele in Vorlesungen (der Anatomie des Bewegungsapparates)

- Vielfältige Lernziele im Studium
 - Wissenserwerb, Lernen von Fertigkeiten, Rollen, Haltungen
 - Vorlesungen dienen hauptsächlich dem Wissenserwerb
- Ziel ist Kompetenz
 - flexibel und kreativ anwendbares Wissen beruhend auf Verständnis von Sachverhalten und Zusammenhängen
 - Grundlage für weiteres Lernen (Biomechanik, Physiologie etc)
 - Analyse neuer Situationen, Entwickeln von Lösungen
 - Weitergabe und Vermehrung von Wissen und Kompetenz
- Weg führt über zwei Stufen
 - ① Fakten einprägen: Kompetenz setzt Faktenkenntnis voraus
 - ② nur Verstehen der Zusammenhänge durch Auseinandersetzen mit Fakten gestattet flexible Anwendung: ein/ordnen, vernetzen, strukturieren und zusammenfassen
 - ③ Verstehen unterstützt das Gedächtnis: erleichtert das Einprägen von Fakten, verhindert deren Vergessen → Gehirn kann vernetzte und strukturierte Informationen effizienter verarbeiten und speichern
 - ④ ohne Verstehen keine flexible Anwendung des Wissens, bestenfalls 1:1 Wiedergabe oder Wiedererkennen

- Fakten einprägen in der Anatomie
 - Einzelstrukturen: Definieren, Erkennen, Benennen
 - Systematik und Hierarchie von Strukturen und Namen
- Verstehen in der Anatomie
 - integrierte räumliche Vorstellung (3D Karte) → mentale Navigation im Inneren des Körpers
 - Verständnis des Zusammenhangs Struktur ↔ Funktion (Biophysik und Biomechanik, Physiologie, Zellbiologie)
 - Verständnis des Bauplans von Strukturen aus der embryonalen Entwicklung heraus



Bestandteile anatomischer Namen I

lateinische
Namen
international
anwendbar

anterior (ant.)
posterior (post.)
ventralis
dorsalis

nach vorne, vordere(r)
nach hinten, hintere(r)
ventral, bauchwärts
dorsal, rückenwärts

transversus
rectus
obliquus

quer, quer verlaufend
gerade
schräg

ulnaris
radialis
palmaris = volaris

ulnar, ellenseitig
radial, speichenseitig
palmar, in oder nach der Hohlhand hin

tibialis
fibularis = peronaeus
plantaris

tibial, nach dem Schienbein hin
fibular, peroneal, nach dem Wadenbein hin
plantar, in oder nach der Fusssohle hin

longus, brevis
magnus, parvus
major, minor
maximus, minimus

lang, kurz
gross, klein
grösser, kleiner
grösster, kleinster

Bestandteile anatomischer Namen II

cranialis	kranial, schädelwärts
caudalis	kaudal, steisswärts
superior (sup.)	nach oben (aufrechter Körper), obere(r)
inferior (inf.)	nach unten (aufrechter Körper), untere(r)
medialis (med.)	medial, zur Medianebene hin
medius (med.)	in der Mitte, mittlerer
lateralis (lat.)	lateral, seitlich, von der Medianebene weg
profundus	auf das Innere des Körpers zu, tief
superficialis	auf die Oberfläche zu, oberflächlich
internus (int.)	innen, innere(r)
externus (ext.)	aussen, äussere(r)
ipsilateral	zur / auf der gleichen Seite
kontralateral	zur / auf der Gegenseite
zentral, proximal	zum Rumpf (Zentrum) hin (Extremitäten)
peripher, distal	vom Rumpf (Zentrum) weg (Extremitäten)

Bewegungen und Körperebenen

Extension

Flexion

Abduktion

Adduktion

Rotation

Anteversion

Retroversion

Zirkumduktion

Opposition

Reposition

Medianebene

Mediansagittalebene

Sagittalebene

Frontalebene

koronale Ebene

Transversalebene

Horizontalebene

Streckung

Beugung

Wegführen der Gliedmassen

Heranführen der Gliedmassen

Drehung, Kreiselung um Längsachse

Vorführen

Rückführen

Umführbewegung der Gliedmassen, Kreisen

Daumen / Grosszehe gegenüberstellen

Daumen / Grosszehe zurückführen

teilt den Körper in zwei annähernd gleiche Hälften

= Medianebene

parallel zur Medianebene

parallel zur Stirn

= Frontalebene

senkrecht zu Sagittal- und Frontalebene

Transversalebene im Stehen

Knochengewebe und Knochen

- 3 knochengewebe-spezifische Zelltypen

- 1 95% Osteozyten (eingemauert, nicht teilungsfähig): mineralisieren Matrix
 - 2 Osteoblasten: bilden Osteoid (neue noch nicht mineralisierte Knochenmatrix) auf Knochenoberfläche (appositionelles Wachstum), sind Osteozyten-Vorläufer
 - 3 Osteoklasten (spezialisierte residente Makrophagen): Abbau mineralisierter Matrix von Oberfläche aus (Na^+H^+ Exchanger NHA2 → «Säure-Entkalkung»)
- Abstammung von skelettalen, bzw. hämatopoietischen Stammzellen: asymmetrische Teilung → Selbsterhaltung + Produktion von proliferierenden Osteo- bzw. myeloischen Progenitorzellen (ohne Fähigkeit zur Selbsterhaltung)

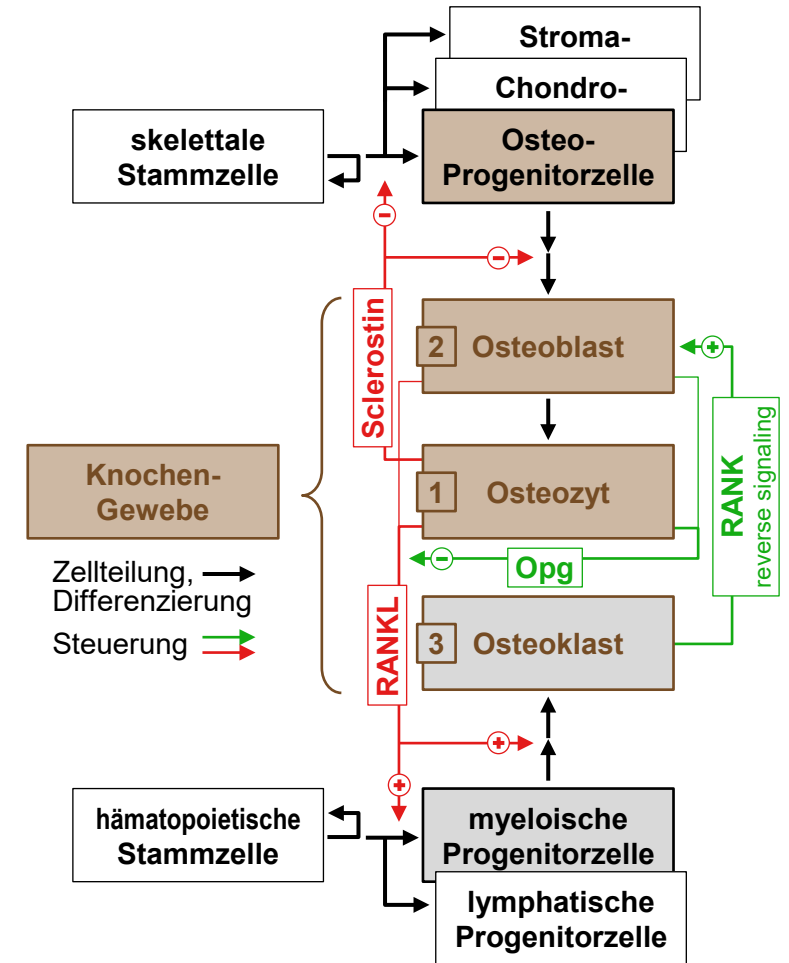
- Ossifikation

- Neubildung / Wachstum / Ersatz von Knochengewebe durch Osteoblasten, lebenslang möglich (Osteogenese, Knochenumbau und Frakturheilung)
- Auf/Abbau gesteuert via Zell-Zellkontakte und lösliche Faktoren, zB:
 - Sclerostin, RANKL* (löslich) → RANK (auf Membran) → Knochenmasse ↓
 - Osteoprotegerin**, RANK (löslich) → RANKL (auf Membran) → Knochenmasse ↑

*Receptor Activator of Nuclear factor κB (Ligand) **Opg

- Osteogenese

- Neubildung / Wachstum des Organs Knochen (Skeletteil = Skelettelement), bestehend aus Knochen-, Knorpel-, Binde- und anderen Geweben
- desmal = direkt: Mesenchym-Verdichtung → Knochen
- chondral = indirekt: Mesenchym → Modell aus hyalinem Knorpel → Knochen



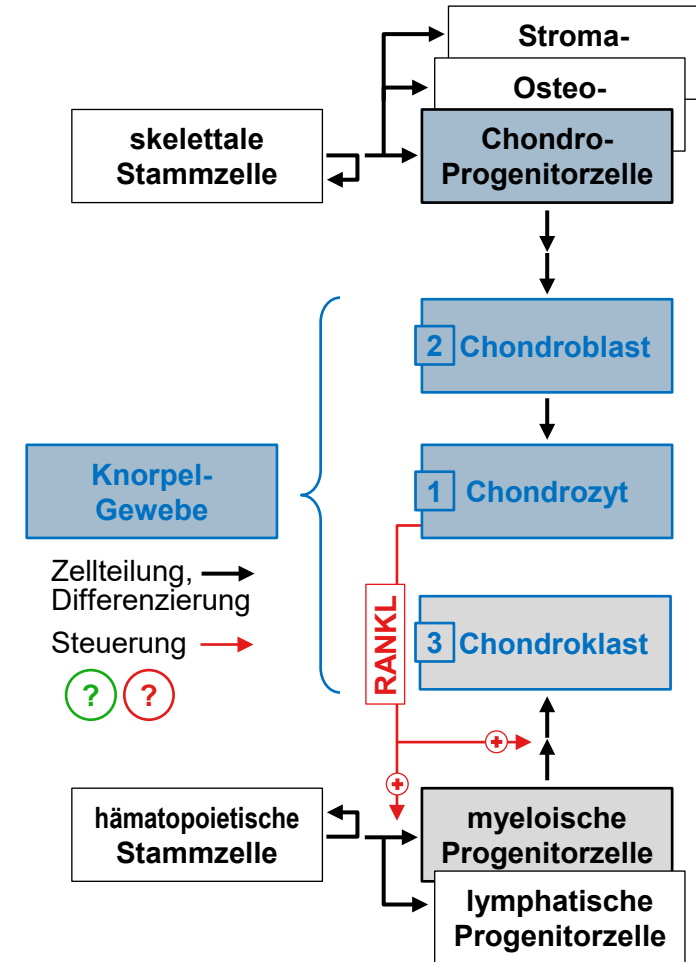
Knorpelgewebe

- 3 knorpelgewebe-spezifische Zelltypen

- 1 95% Chondrozyten (eingemauert): Unterhalt und Vermehrung (interstitielles Wachstum) der Knorpelmatrix, eventuell Mineralisation der Knorpelmatrix
 - 2 Chondroblasten: bilden neue Knorpelmatrix auf Knorpeloberfläche (appositionelles Wachstum), sind Chondrozyten-Vorläufer
 - 3 Chondroklasten: bauen bei chondraler Osteogenese von Oberfläche her mineralisierte Matrix ab (besitzen NHA2 wie Osteoklasten)
- Abstammung von skelettalen, bzw. hämatopoietischen Stammzellen: asymmetrische Teilung → Selbsterhaltung + Produktion von proliferierenden Chondro- bzw. myeloischen Progenitorzellen (ohne Fähigkeit zur Selbsterhaltung)

- Aufbau von Knorpelgewebe

- Neubildung von Knorpelgewebe nur während Entwicklung, im Gegensatz zu Knochen beim Erwachsenen kaum Umbau, keine Regeneration oder Reparatur!
- appositionelles Knorpelwachstum: Chondroblasten lagern neue Matrix auf Knorpeloberfläche ab
- interstitielles Knorpelwachstum: Chondrozyten im Knorpelinneren teilen sich und expandieren Matrix
- Steuerung schlechter bekannt, RANKL fördert auch Chondroklasten
- ≠ Knorpelgewebe wächst Knochengewebe nur appositionell: Osteozyten nicht teilungsfähig, mineralisierte Knochenmatrix fest und nicht expandierbar



Chondrale Osteogenese: Röhrenknochen pränatal

- Chondrale Osteogenese
 - Beginn mit Bildung eines hyalinen Knorpelmodells mit Diaphyse und Epiphysen, ausgehend von Mesenchymverdichtung (5-6. SSW)
 - 2 Ossifikationszonen mit separaten Pools skelettaler Stammzellen

Op Perichondrale Ossifikationszone

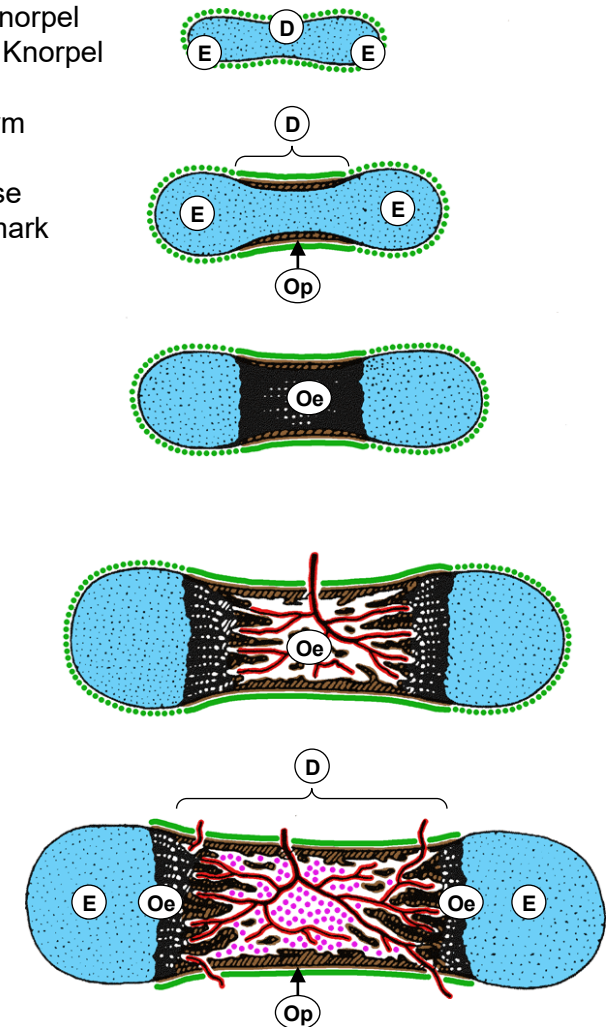
- mesenchymale perichondrale, später periostale skelettale Stammzellen
- zuerst aus Mesenchym Ablagerung von Knochengewebe auf Diaphyse des Knorpelmodells (ca. 8. SSW) → Knochenmanschette (Kompakta)
- Mesenchym um Diaphyse → Periost (Knochenhaut), Stammzellen darin → fortgesetztes appositionelles Knochenwachstum, plus Knochenabbau innen → langsames Dickenwachstum der Diaphyse

Oe Enchondrale Ossifikationszone

- nach Stabilisierung durch Knochenmanschette Umprogrammierung der Chondrozyten in Diaphyse: Mineralisierung der Knorpelmatrix, Abgabe von VEGF (vascular endothelial growth factor) → Einwachsen von Blutgefäßen und Mesenchym, Abgabe von RANKL → Knorpelabbau
- enchondrale Stammzellen → primärer Knochenkern in der Diaphyse: mineralisierter Knorpel ersetzt durch Knochengewebe (Spongiosa)
- Fortsetzung des Prozesses am Übergang von Diaphyse zu Epiphyse → schnelles longitudinales Wachstum der Diaphyse



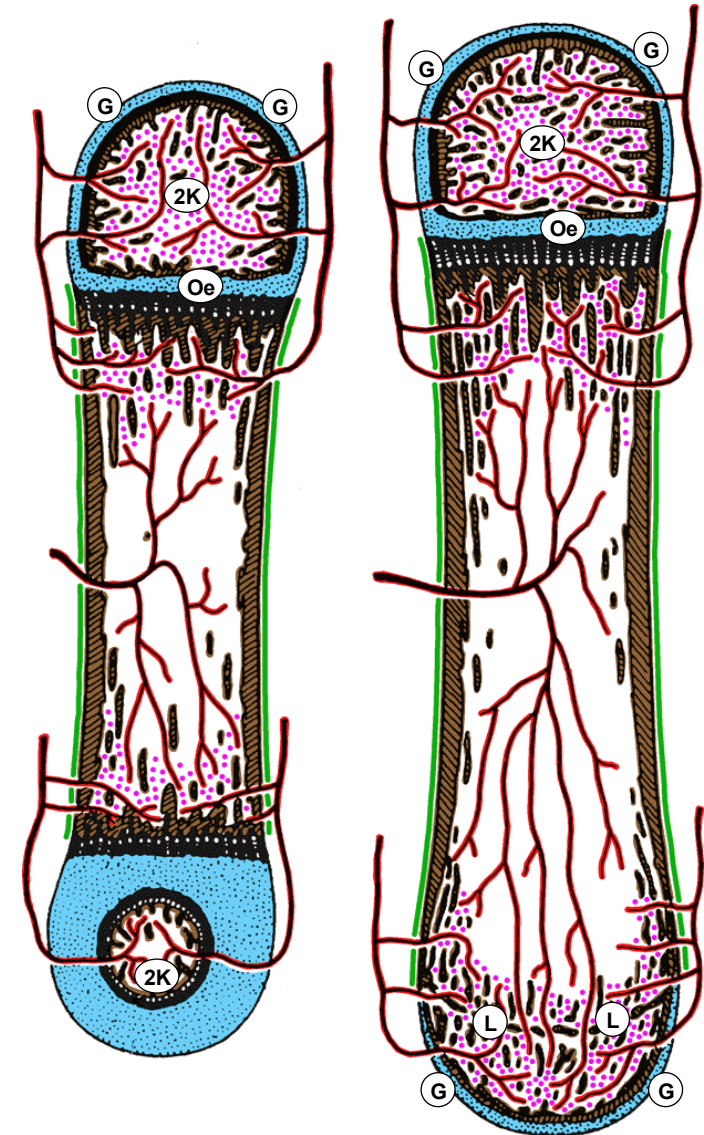
E Epiphyse
 D Diaphyse



Chondrale Osteogenese: Röhrenknochen postnatal

②K Sekundäre Knochenkerne

- entstehen in Epiphysen durch Einwachsen von Gefäßen und Mesenchym, gefolgt von enchondraler Ossifikation
- Knorpel wird reduziert auf ③ Gelenkknorpel (ruhend) und Epiphysen«fuge» (nicht röntgendicht!) = ④e enchondrale Ossifikationszone
- Knochenalter
 - Knochenkerne erscheinen nach bestimmtem Zeitplan, Muster definiert Entwicklungsstufe = biologisches Alter = Knochenalter
 - Vergleich mit chronologischem Alter: Wachstumsbeurteilung
- Pubertät
 - erhöhte Aktivität Epiphysenfuge → zentripetaler Längenwachstumsschub
 - Stopp der Knorpelbildung, Verknöcherung der Wachstumszone → ⑤ Epiphysenlinie, nur Gelenkknorpel bleibt erhalten, nicht mehr fähig zu Proliferation oder Regeneration
- Chondrale Osteogenese häufiger und effizienter
 - chondral meiste Röhren- und Würfelknochen, Schädelbasis: ermöglicht interstitielles und schnelleres Wachstum
 - desmal nur Clavicula, Scapula, Gesichtsschädel, Schädelkalotte



Enchondrale Ossifikation

Ⓥ Reservezone

- hyaliner Knorpel mit enchondralen skelettalen Stammzellen für enchondrale Ossifikation → Chondrozyten, Osteoblasten, Knochenmarkstromazellen

Ⓟ Proliferationszone (= Säulenknorpel)

- Mitosen, gerichtetes interstitielles Wachstum → Säulen aus Chondrozyten

Ⓜ Hypertrophiezone (= Blasenknorpel)

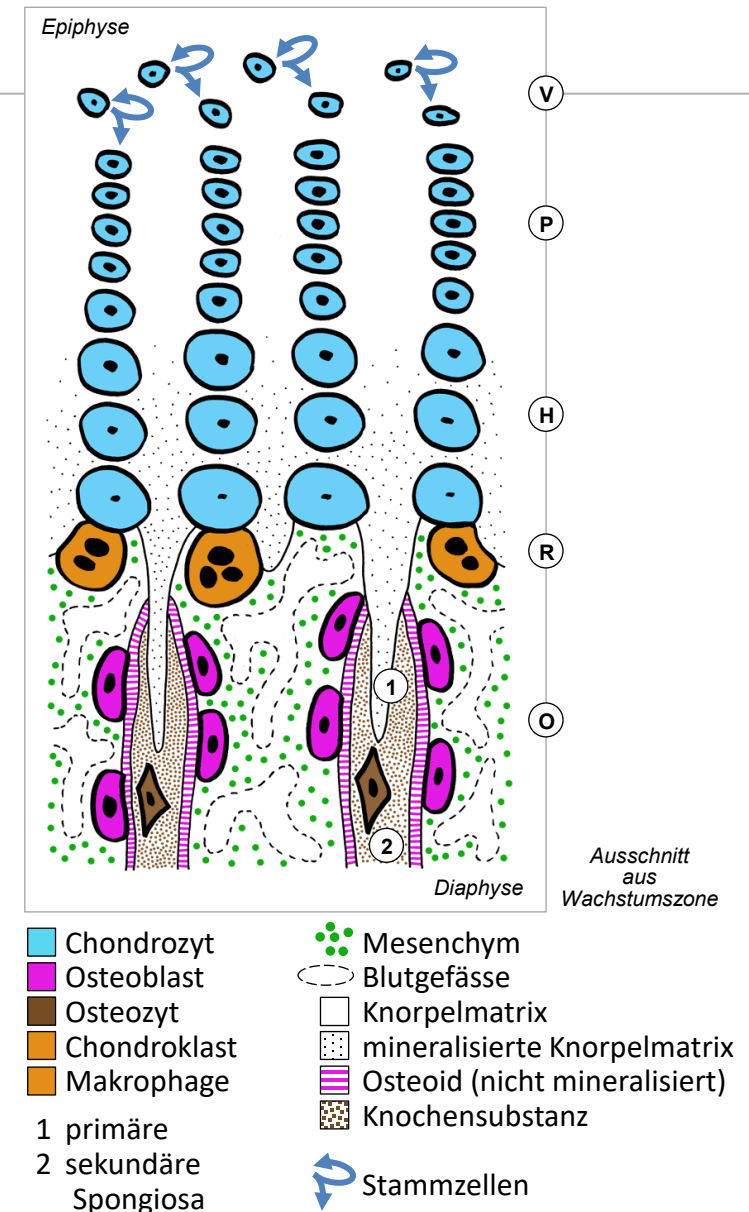
- Chondrozyten schwellen an → wesentliche Verstärkung des Wachstums, induzieren Matrixmineralisation, setzen VEGF und RANKL frei

Ⓡ Resorptionszone (= Eröffnungszone)

- VEGF → Einwachsen von Mesenchym und Blutgefäßen, Einwanderung von Makrophagen, RANKL → Bildung und Aktivierung von Chondroklasten
- Makrophagen phagozytieren Chondrozyten, Chondroklasten bauen mittels Na^+H^+ Exchanger NHA2 mineralisierte Matrix unvollständig ab

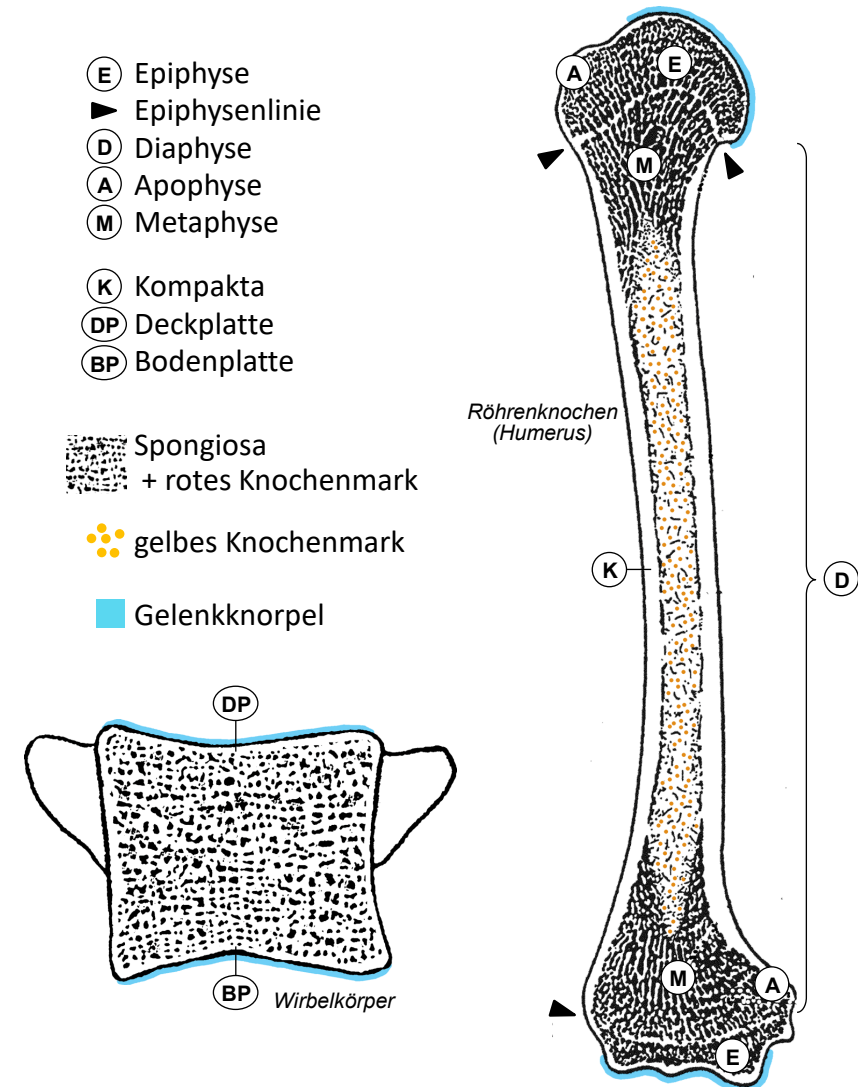
Ⓞ Ossifikationszone

- Osteoblasten lagern Osteoid auf Reste mineralisierter Knorpelmatrix ab, wenn eingemauert → Osteozyten, mineralisieren Osteoid zu Knochenmatrix
- primäre Spongiosa: Knochenmatrix + Reste Knorpelmatrix, Elimination der Knorpelmatrix durch Umbau → sekundäre Spongiosa



Kompakta und Spongiosa

- Optimierung und Dynamik
 - Gewährleistung erforderlicher Stabilität bei minimaler Masse
 - Ossifikation (\neq Knorpelneubildung) lebenslang möglich: Grundlage für permanenten Knochenumbau und dynamische Anpassung von Knochenmasse und Knochenstruktur an Belastung, Reparatur von Mikroschäden und Heilung von Frakturen
- Kompakta = Kortikalis aussen
 - Röhrenknochen: Diaphyse dicker als Epiphyse, Wirbelkörper: Deck- und Bodenplatten dicker als Seitenwand
- Spongiosa innen
 - Röhrenknochen: Epiphyse, Metaphyse = proximales und distales Ende der Diaphyse, Apophysen = Knochenvorsprünge
 - ganzer Wirbelkörper
 - zwischen Knochenbälkchen rotes = aktives Blut bildendes Knochenmark
- Hohlräume
 - Grossteil der Diaphyse der Röhrenknochen
 - Orte ohne / mit minimaler Krafteinwirkung
 - gelbes = ruhendes Knochenmark (Fettmark)



Organisation der Spongiosa

- Ausrichtung nach Kraftlinienverlauf
 - Knochengewebe optimal auf Zug- oder Druck belastbar
 - Minimierung von Scher- und Biegekräften durch Ausrichtung der Knochenbälkchen
 - Knochenbälkchen parallel zu Verlauf der Druckkräfte = Drucktrajektorien
 - Knochenbälkchen parallel zu Verlauf der Zugkräfte = Zugtrajektorien
- Dynamik
 - laufender Turnover der Spongiosa
 - Dicke und Zahl der Bälkchen passt sich Stärke der Belastung an
 - Richtung der Bälkchen ändert mit Geometrie der Kräfte

