
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 des menschlichen Bewegungsapparates

Di 19.02.2019

Inhalt der Vorlesung

- Thema: Organsystem Bewegungsapparat
 - 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
 - master piece of mechanical engineering mit Schwachstellen
 - Leitungsbahnen: Gefässe, Nerven (hier nur am Rande)
- Programm
 - allgemeine / spezielle Anatomie
 - Dozenten: David Wolfer, Irmgard Amrein
- Prüfung
 - MC Prüfung am PC, 1 Stunde
 - 30 MC Fragen (Typ A 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 2019

Hörsaal Y15-G40, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstrasse 190
Zeit Dienstag 15:00-16:45
Dozenten I. Amrein (Am), D.P. Wolfer (Wo)

| Datum/Woche | Dozent | Thema | |
|-------------|--------|-------|---------------------------------|
| 19.02.19 | 1 | Wo | Allgemeine Anatomie I |
| 26.02.19 | 2 | Wo | Allgemeine Anatomie II |
| 05.03.19 | 3 | Wo | Allgemeine Anatomie III |
| 12.03.19 | 4 | | keine Vorlesung (Reservetermin) |
| 19.03.19 | 5 | Wo | Allgemeine Anatomie IV |
| 26.03.19 | 6 | Wo | Untere Extremität I |
| 02.04.19 | 7 | Wo | Untere Extremität II |
| 09.04.19 | 8 | Wo | Untere Extremität III |
| 16.04.19 | 9 | Wo | Untere Extremität IV |
| 23.04.19 | | | keine Vorlesung (Osterferien) |
| 30.04.19 | 10 | Wo | Rumpf I |
| 07.05.19 | 11 | Wo | Rumpf II |
| 14.05.19 | 12 | Am | Obere Extremität I |
| 21.05.19 | 13 | Am | Obere Extremität II |
| 28.05.19 | 14 | Am | Obere Extremität III |

10.12.18 D.P. Wolfer

Weblinks und Bücher

- Moodle und andere Weblinks
 - Moodle-Kurs 376-0905-00L Funktionelle Anatomie: Programm der Vorlesung, PDFs der gezeigten Folien
 - Bücherliste
 - Groscurth-Anatomie (für Mediziner)
 - www.dpwolfer.ch/deutsch: Übungsfragen
- Bücherliste Funktionelle Anatomie
 - kein Referenzbuch für die Vorlesung
 - Buchempfehlungen zum Nachlesen und Vertiefen, Auswahl nach persönlicher Vorliebe
- Bücher Anatomie I+II
 - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
 - mehr Gewicht auf Topographie und Leitungsbahnen
- Lehrbücher für Medizinstudierende
 - Bewegungsapparat neben anderen Organsystemen
 - mehr Gewicht auf Topographie und Leitungsbahnen
 - umfangreicher als diese Vorlesung, bei speziellem Interesse oder als Nachschalgewerk

Funktionelle Anatomie

Vorlesung 376-0905-00 FS2019

Empfohlene Lehrbücher

Nur Bewegungsapparat

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

Gehrke T: Sportanatomie
8. Auflage, Nikol Verlag, 2009 oder RoRoRo Taschenbuch 2008

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

Bewegungsapparat und Biomechanik

Wirhed R: Sportanatomie und Bewegungslehre
3. Auflage, Schattauer Verlag, 2001

Ahonen J, Lahtinen T, Sandström M, Pogliani G: Sportmedizin und Trainingslehre
2. Auflage, Schattauer Verlag, 2003

Bewegungsapparat und übrige Organsysteme

Appell H-J, Stang-Voss C: Funktionelle Anatomie
4. Auflage, Springer-Verlag, 2008

Tittel K: Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen
16. Auflage, Kiener Verlag, 2016

Atlas

Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus, LernAtlas der Anatomie
Band I: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem
5. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2018

06.12.18, D.P. Wolfer

Lernziele in Vorlesungen (der Anatomie des Bewegungsapparates)

- Vielfältige Lernziele im Studium

- Erwerb von Wissen, Fertigkeiten, Haltungen, Rollen
- Ziel dieser Vorlesung hauptsächlich Wissenserwerb

- Dimensionen des Wissenserwerbs

- ① Ziel: Kompetenz, flexibel anwendbares Wissen beruhend auf Verständnis von Sachverhalten und Zusammenhängen
- ② Verstehen setzt zwar Kenntnis von Fakten voraus,
- ③ Auswendiglernen allein erlaubt aber keine flexible Anwendung
- ④ in Verständniszusammenhang eingebettete Fakten leichter zu merken und haften dauerhafter im Gedächtnis → durch Nachdenken kann man sich viel Auswendiglernen ersparen

- Flexible Anwendung von Wissen

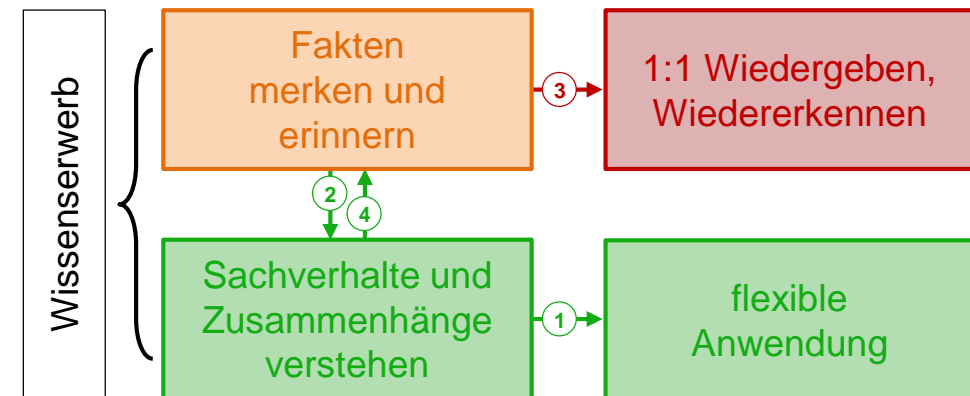
- Grundlage für weiteres Lernen (zB Physiologie, Biomechanik)
- Kompetenz zur Analyse und Bewertung von neuen Sachverhalten Entwickeln von Problemlösungen
- Weitergabe von Wissen, Vermitteln von Verständnis
- kritische Reflexion der Grenzen des eigenen Wissens
- Grenzen des Wissens im Fachgebiet überhaupt: Schaffen neuer Erkenntnisse und neuen Wissens in der Forschung

- Merken und Erinnern in der Anatomie

- Namen von Strukturen: Begriffzuordnung, Begriffsdefinition
- Systematik der Namen bildet Gliederung der Strukturen ab
- wiederholt kurz lernen effizienter als einmal lange lernen!

- Verstehen der Anatomie des Bewegungsapparates

- integrierte räumliche Vorstellung («3D Karte») → zB mental navigierbares 3D Modell des Bewegungsapparates
- Verständnis des Zusammenhangs Struktur ↔ Funktion (Biomechanik, auch Physiologie, Zellbiologie, Evolution)
- Verständnis der Entstehung und Differenzierung von Strukturen (Embryologie, Ontogenese, «innerer 3D Film»)



Bestandteile anatomischer Namen I

| | |
|-----------------------|---|
| anterior (ant.) | nach vorne, vordere(r) |
| posterior (post.) | nach hinten, hintere(r) |
| ventralis | ventral, bauchwärts |
| dorsalis | dorsal, rückenwärts |
| transversus | quer, quer verlaufend |
| rectus | gerade |
| obliquus | schräg |
| ulnaris | ulnar, ellenseitig |
| radialis | radial, speichenseitig |
| palmaris = volaris | palmar, in oder nach der Hohlhand hin |
| tibialis | tibial, nach dem Schienbein hin |
| fibularis = peronaeus | fibular, peroneal, nach dem Wadenbein hin |
| plantaris | plantar, in oder nach der Fusssohle hin |
| longus, brevis | lang, kurz |
| magnus, parvus | gross, klein |
| major, minor | grösser, kleiner |
| maximus, minimus | 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

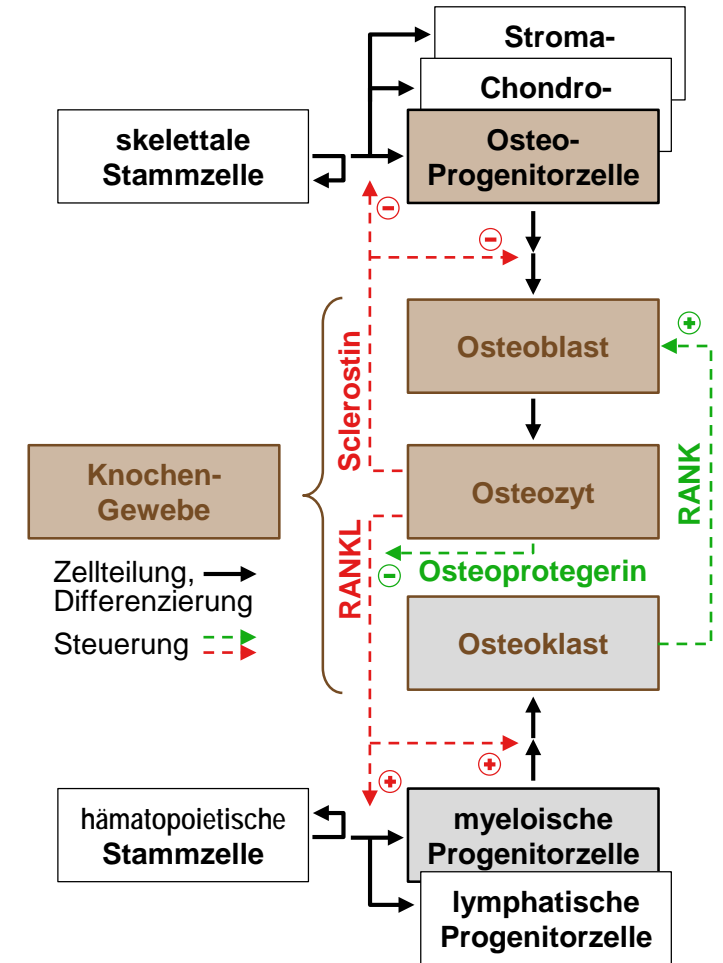
= Frontalebene

senkrecht zu Sagittal- und Frontalebene

Transversalebene im Stehen

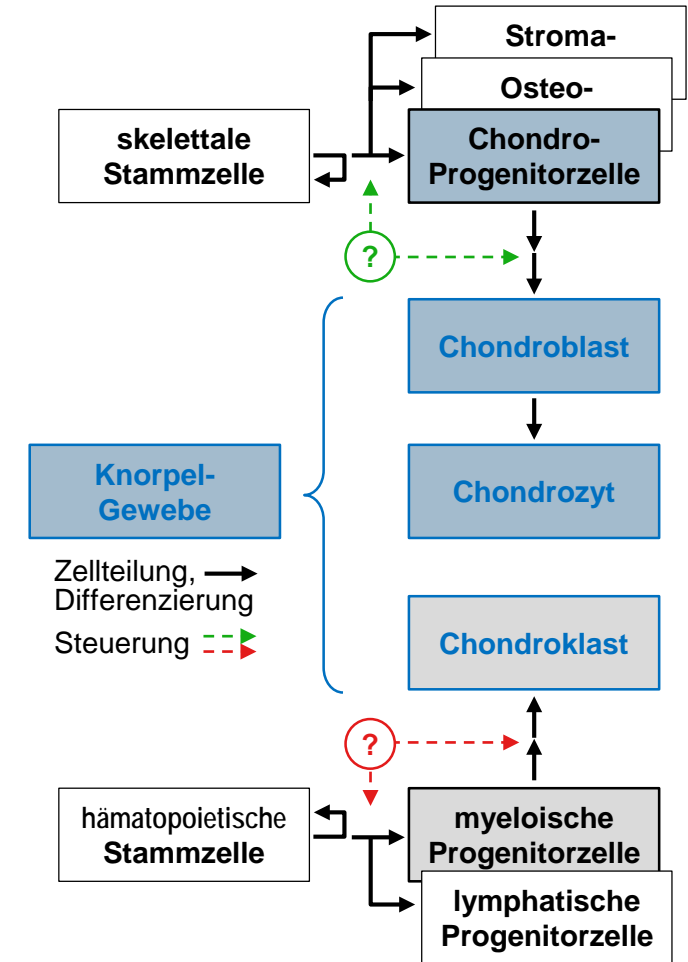
Knochengewebe und Knochen

- 3 knochengewebe-spezifische Zelltypen
 - 95% Osteozyten (eingemauert, nicht teilungsfähig): mineralisieren Matrix
 - Osteoblasten: bilden Osteoid (neue noch nicht mineralisierte Knochenmatrix) auf Knochenoberfläche (appositionelles Wachstum), sind Osteozyten-Vorläufer
 - Osteoklasten (spezialisierte Makrophagen): Abbau mineralisierter Matrix von Oberfläche aus (Na^+H^+ Exchanger NHA2 \rightarrow «Entkalkung» durch Ansäuern)
 - Abstammung von skelettalen, bzw. hämatopoietischen Stammzellen: asymmetrische Teilung \rightarrow Selbsterhaltung + Produktion von proliferierenden Osteo- bzw. myeloischen Progenitorzellen (ohne Fähigkeit zur Selbsterhaltung)
- Osteogenese
 - Neubildung und Wachstum von Skelettstücken (Knochen als Organ)
 - desmal = direkt: Mesenchym-Verdichtung \rightarrow Knochen
 - chondral = indirekt: Mesenchym \rightarrow Modell aus hyalinem Knorpel \rightarrow Knochen
- Ossifikation
 - Neubildung und Wachstum von Knochengewebe, immer appositionell durch Osteoblasten, kein interstitielles Wachstum des Knochengewebes
 - lebenslang möglich (Osteogenese, Knochenerneuerung, Knochenumbau und Frakturheilung), gesteuert via Zell-Zellkontakte und lösliche Faktoren, zB:
 - Sclerostin, Receptor Activator of Nuclear factor κ B Ligand \rightarrow Knochenmasse \downarrow
 - Osteoprotegerin, Receptor Activator of Nuclear factor κ B \rightarrow Knochenmasse \uparrow



Knorpelgewebe

- 3 knorpelgewebe-spezifische Zelltypen
 - 95% Chondrozyten (eingemauert): Unterhalt und Vermehrung (interstitielles Wachstum) der Knorpelmatrix, eventuell Mineralisation der Knorpelmatrix
 - Chondroblasten: bilden neue Knorpelmatrix auf Knorpeloberfläche (appositionelles Wachstum), sind Chondrozyten-Vorläufer
 - 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: oberflächliche Matrixanlagerung durch Chondroblasten
 - Interstitielles Knorpelwachstum: Teilung von Chondrozyten im Knorpelinneren und Matrixexpansion
 - im Gegensatz zu Knorpel wächst Knochen nur appositionell: Osteozyten sind teilungsunfähig, mineralisierte Matrix nicht mehr expandierbar



Chondrale Osteogenese: Röhrenknochen pränatal

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

Op Perichondrale Ossifikationszone

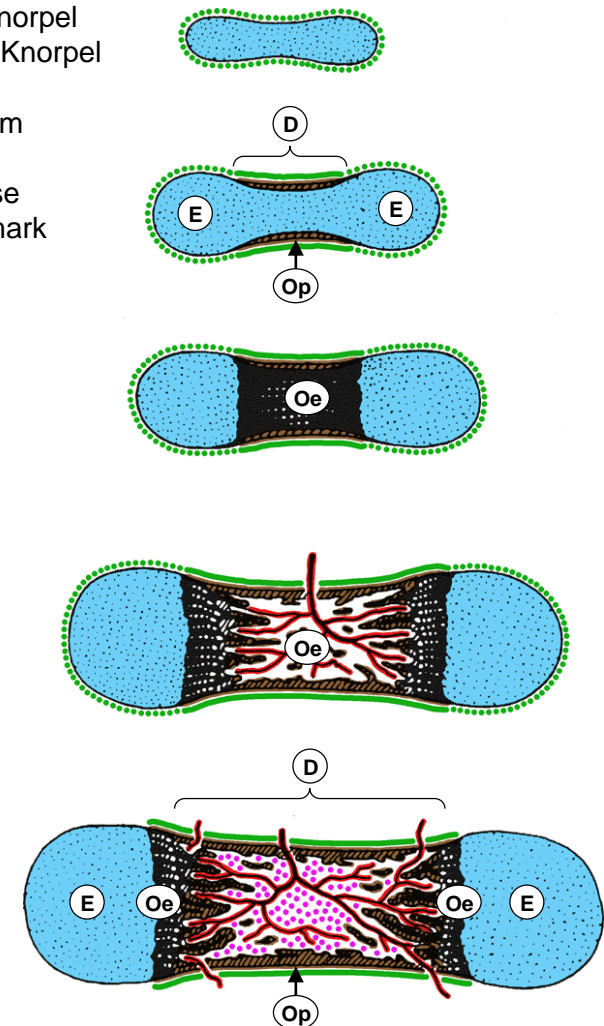
- zuerst Ablagerung von Knochengewebe auf Knorpelmodell (ca. 8. SSW) → kompakte Knochenmanschette um Diaphyse
- fortgesetztes appositionelles Knochenwachstum aus Periost plus Knochenabbau innen → langsames Dickenwachstum der Diaphyse

Oe Enchondrale Ossifikationszone

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

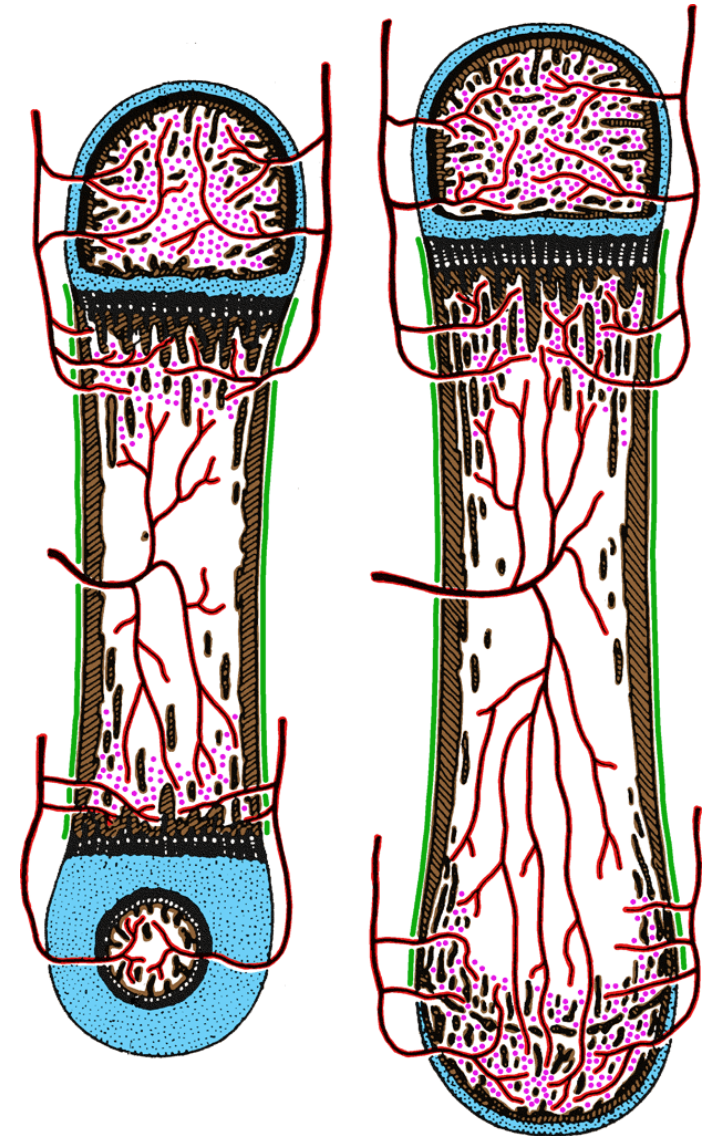
- hyaliner Knorpel
- verkalkter Knorpel
- Knochen
- Mesenchym
- Periost
- Blutgefäße
- Knochenmark

E Epiphyse
D Diaphyse



Chondrale Osteogenese: Röhrenknochen postnatal

- Sekundäre Knochenkerne
 - entstehen in Epiphysen durch Einwachsen von Gefäßen und Mesenchym, gefolgt von enchondraler Ossifikation
 - Knorpel wird reduziert auf Gelenkknorpel (ruhend) und Epiphysenfuge (Knorpel nicht röntgendicht!) = Wachstumszone
- 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 → 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

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

Ⓟ Proliferationszone

- gerichtetes interstitielles Wachstum → Säulen aus Chondrozyten

Ⓜ Hypertrophiezone

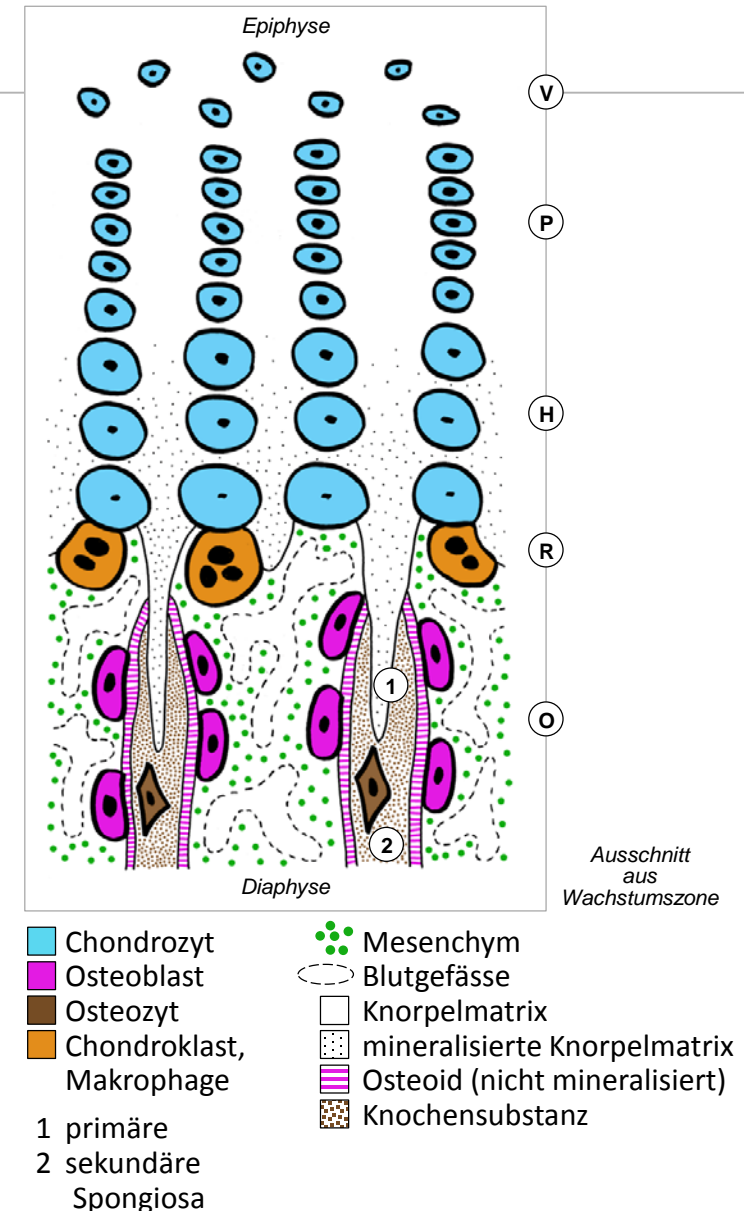
- Chondrozyten schwellen an (Verstärkung des Wachstums), induzieren Matrixmineralisation, bilden VEGF (vascular endothelial growth factor)

Ⓡ Resorptionszone

- Einwachsen von Mesenchym und Blutgefäßen durch VEGF Wirkung, Einwanderung von Makrophagen und Chondroklasten
- Makrophagen phagozytieren Chondrozyten, Chondroklasten bauen mittels Na^+H^+ Exchanger NHA2 mineralisierte Matrix mehrheitlich ab

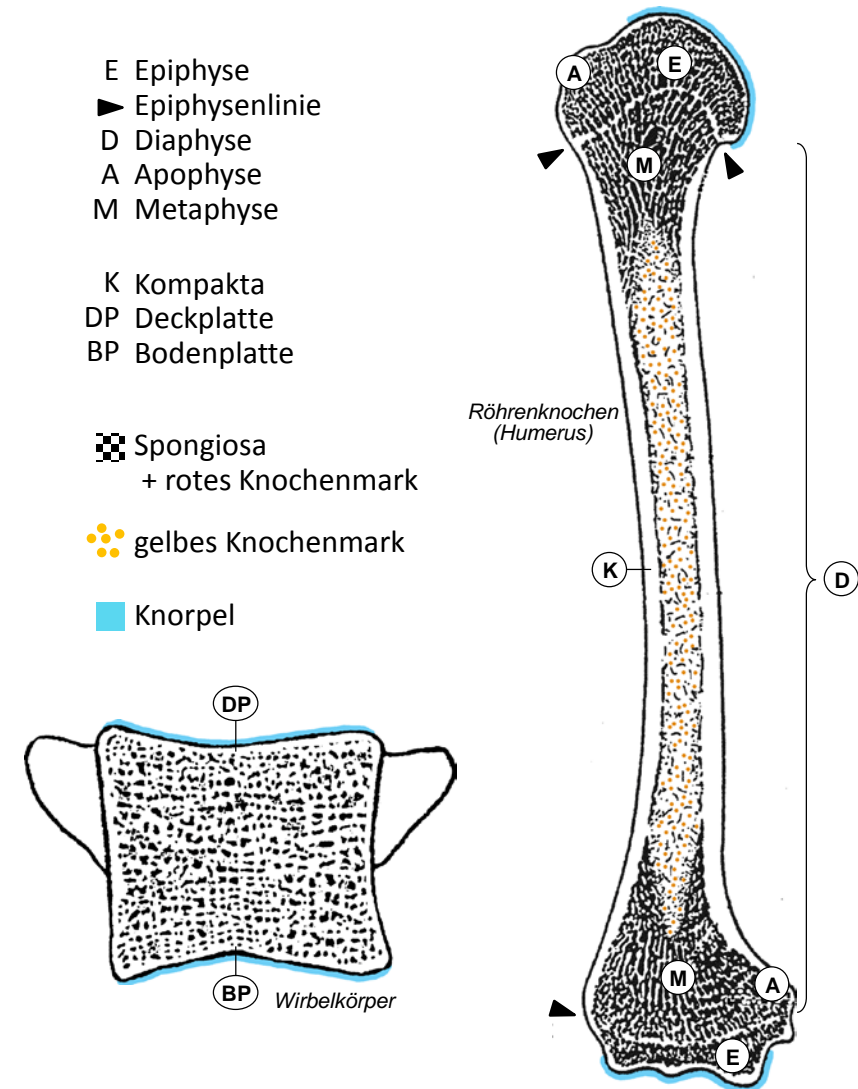
Ⓞ Ossifikationszone

- Osteoblasten lagern Osteoid auf Reste mineralisierter Knorpelmatrix ab
- Wenn eingemauert → Osteozyten, durch Mineralisation Osteoid → Knochenmatrix: primäre Spongiosa, Elimination der Knorpelmatrix durch Umbau → sekundäre Spongiosa
- Proliferation und Umwandlung parallel mit gleicher Rate → Längenwachstum



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
 - Diaphyse der Röhrenknochen
 - Orte ohne Krafteinwirkung
 - gelbes = ruhendes Knochenmark (Fettmark)



Organisation der Spongiosa

- Ausrichtung nach Kraftlinienverlauf
 - Ziel Minimierung von Scherkräften:
Knochengewebe optimal auf Zug- oder Druck belastbar
 - 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

