

# Allgemeine Histologie

Zusammenstellung von Fabian Knörr fürs erste Anatomietestat (Uni Gießen).

<b>Epithel</b>	<b>1</b>
<b>Bindegewebe</b>	<b>5</b>
<b>Fettgewebe</b>	<b>9</b>
<b>Knochengewebe</b>	<b>10</b>
<b>Knorpelgewebe</b>	<b>15</b>
<b>Muskelgewebe</b>	<b>17</b>
<b>Nervengewebe</b>	<b>22</b>

## Epithel

### ►Übersicht

epi, gr.: auf  
thele, gr.: Brustwarze

- Grenzgewebe, das die Oberflächen des Körpers bedeckt und seine inneren Hohlräume auskleidet
- **Oberflächenepithel**: auf Körperoberfläche, Körperhöhlen, weitlumige Hohlräume
- **Drüsenepithel**
- **Gangepithel**
- **Sinnesepithel**
- **Exoepithelien**: stehen direkt oder über Gangsysteme mit der Aussenwelt in Verbindung
- **Endoepithelien**: kleiden innere Kompartimente aus
- **Herkunft**: entstehen aus allen Keimblättern
  - **Mesoderm** -> Epithelien der Blutgefäße, Körperhöhlen, Nierentubuli und innere GO
  - **Endoderm** -> Epithelien von Rumpfdarm und unteren Atemwegen
  - **Ektoderm** -> Epidermis, Brust- und Speicheldrüsenepithel, Epithelien des Innenohrs
  - **Neuroektoderm** -> epitheliale Auskleidung des Hirnventrikels, Pigment, Ziliar- und Irisepithel des Auges
- Strukturelle Merkmale
  1. Begrenzung von mit Flüssigkeiten oder Luft gefüllten Kompartimenten
  2. Solider Zellverband ohne Blutgefäße
  3. Vorhandensein einer Basallamina, die die Epithelien mit dem unterliegenden Gewebe verbindet

## ► Strukturelle Klassifizierung

Einteilung in Gruppen:

- einschichtige Epithelien
- Übergangsepithel
- mehrschichtige Epithelien

### Einschichtige Epithelien

- Zellen fußen mit ihren basalen Zellabschnitten auf der **Basallamina**
- im **einfachen Epithel** ( *Epithelium simplex* ) erreichen alle Zellen mit ihrem apikalen (luminalen) Zellpol die Oberfläche des Epithel, Zellkerne liegend dann annähernd auf gleicher Höhe
- im **mehrrheiligem Epithel** ( *Epithelium pseudostratificatum* ) erreicht nur ein Teil die apikale Seite (aber alle Zellen sind basal mit der Basallamina verbunden)
- bei allen **einschichtigen Exoepithelien** kommen **Zytokeratinfilamente vom Typ 8 und 18** vor

Einteilung nach Zellform:

- **Einfaches Plattenepithel** ( *Epithelium simplex squamosum* )
  - Durchmesser der Basis der Zellen wesentlich größer als Höhe
  - Beispiele: Alveolarzellen der Lunge, Epithel der dünnen Abschnitte der HENLEschen Schleife der Nierentubuli, Epithelauskleidung der Körperhöhlen (Mesothel), innere Auskleidung der Blutgefäße (Gefäßendothel) und das innere Epithel der Hornhaut des Auges (Korneaendothel)
  - vgl. Abbildungen 102-105
- **Einfaches kubisches (isoprismatisches) Epithel** ( *Epithelium simplex cuboideum* )
  - Breite und Höhe der Zellen etwa gleich groß
  - Beispiele: Kortikale Sammelrohre der Niere, Linsenepithel, Epithel kleiner Gallengänge
  - vgl. Abbildung 106
- **Einfaches Säulenepithel (zylindrisch, hochprismatisch)** ( *Epithelium simplex columnare* )
  - Zellen sind höher als breit
  - Beispiele: Nierenpapillen, Oberflächenepithel des Magens und Darms, der Gebärmutter und des Eileiters sowie der Bronchiolen
  - die meisten exokrinen Drüsen gehören zu dieser Epithelform
  - vgl. Abbildung 107-109
- **Mehrrheiliges (pseudostratifiziertes) Epithel** ( *Epithelium pseudostratificatum* )
  - alle Zellen haben Kontakt zur Basallamina, aber nicht alle erreichen die Oberfläche (Basalzellen)
  - evtl. sind die Basalzellen teilungsfähige Stammzellen aus denen das Oberflächenepithel hervorgeht
  - Beispiele: Kinozilien-tragendes Epithel (Flimmerepithel) der Atemwege, Epithel des Nebenhodenganges
  - vgl. Abbildungen 110-112

### Oberflächendifferenzierungen

- Mit glatter Oberfläche
  - nur wenige Mikrovilli und Microplicae sind vorhanden

- Beispiele: Gefäßendothelzellen, distale Tubuli und Sammelrohe der Niere, Oberflächenepithel des Magens, die Epithelien der meisten exokrinen Drüsen
- Mit Bürstensaum
  - dichter Besatz der Zelloberfläche mit Mikrovilli
  - Beispiele: Epithel von Darm, Gallenblase und proximalen Tubus der Niere
- Mit Stereozilien
  - (stereos, gr.: hart, steif; cilium, lat: Augenwimper)
  - Büschel von langen, flexiblen Microvilli der Samenwege des Mannes (Samenwegs-Stereozilien) und der Sinnesepithelien des Innenohrs (Innenohr-Stereozilien)
  - Zilien mit Actinfilamenten
- Mit Kinozilien
  - meistens hochprismatische Epithelien
  - Kinozilien können durch Mikrotubulussystem eine gerichtete Bewegung ausführen
  - Beispiele: Nasenhöhle, Bronchiolen, Eileiter, Ependym

### **Übergangsepithel, Urothel ( *Epithelium transitionale* )**

- mehrschichtiges bis mehrreihiges Epithel, beschränkt auf die harnleitende Organe: Nierenbecken, Urether, Harnblase, proximale Teil der Harnröhre
- besteht aus Basalzellen, Intermediärzellen und Superfizialzellen (Deckzellen)
- Deckzellen oft mehrkernig, buckeln sich in das Lumen vor, haben basal stielartige Ausziehungen (partielle Mehrreihigkeit, "umbrella cells")
- Deckzellen bilden Barriere zum Harn, Schutz durch gut ausgebildete *Zonulae occludentes* mit vielen Leisten und durch rigide plattenförmige Areale der apikalen Plasmamembran (Plaques)
- Uroplakin Ia, Ib, II und III

### **Mehrschichtige Epithelien ( *Epithelium stratificatum* )**

- Epithelzellen in mehreren Schichten übereinander gelagert: Basalzellschicht, Intermediärzellschicht, Superfizialzellschicht

#### **Mehrschichtiges prismatisches Epithel**

( *Epithelium stratificatum cuboideum/columnare* )

- besteht aus 2-5 Zelllagen
- Superfizialzellen iso- bis hochprismatisch
- Beispiele: distale Abschnitte der männlichen und weiblichen Harnröhre, Epithel der Umschlagfalte der Bindehaut des Auges, Epithel der Hauptausführungsgänge der Mundspeicheldrüsen

#### **Mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel**

( *Epithelium stratificatum squamosum noncornificatum* )

- Epithelzellen nehmen mit zunehmender Entfernung von der Basalzellschicht eine abgeplattete Form an
- Superfizialzellen besitzen Zellkern
- Vorkommen: mechanisch beanspruchte Stellen im Bereich der Anfangs- und Endabschnitte des Verdauungs- und Urogenitaltraktes ( Mundhöhle [außer hartem Gaumen und Zahnfleisch], Speiseröhre, Analkanal [*Zona alba*], Vagina, Mündungsbereich der Harnröhre) sowie äußere Epithelbedeckung des Auges ( *Cornea, Conjunctiva* )

## **Mehrschichtiges verhorntes Plattenepithel**

( *Epithelium stratificatum squamosum cornificatum* )

- Besonderheiten gegenüber unverhornten Plattenepithel: *Stratum superficiale* besteht aus verhornten, abgestorbenen Zellen, dem *Stratum corneum*
- *Stratum intermedium* gliedert sich in das (basale) *Stratum spinosum* und in das (apikale) *Stratum granulosum*
- Unterscheidung in Orthokeratinisiertes Epithel mit deutlichem *Stratum granulosum* und zellkernfreier Hornschicht und Parakeratinisiertes Epithel mit schwach ausgeprägtem *Stratum granulosum* und vereinzelt Zellkernen im *Stratum corneum*

## ▶ **Topologische Klassifizierung**

### **Exoepithel**

- Epithel der Körperoberfläche (Epidermis) und alle Epithelien mit direkter oder indirekter **Verbindung zur Körperoberfläche**
- Epithelien der Hautdrüsen
- Epithelien des gesamten Verdauungssystems (Kopf- und Rumpfdarm)
- Epithelien des gesamten Atemsystems einschließlich der Nasennebenhöhlen und des Mittelohrs
- Epithelien der männlichen und weiblichen Geschlechtsorgane
- Epithelien des Harnsystems (Nierentubuli und harnleitende Organe)

### **Endoepithel**

- kleiden innere Hohlräume aus, die keine Verbindung zur Körperoberfläche haben
- epitheliale Auskleidung des Herz-Kreislauf-Systems ("Endothel")
- Auskleidung der Lymphgefäße ("Endothel")
- Auskleidung der Körperhöhlen ("Mesothel" der Brust-, Bauch- und Perikardhöhle)
- inneren Epithelien von Auge und Innenohr
- Epithelien von Schilddrüse, Ovarfollikel, Flüssigkeitsräume des Gehirns (Ependym, Plexusepithel, Neurothel)
- Exo- und Endoepithelien werden nach ihrer Lokalisation eingeteilt in **Oberflächenepithel**, **Gangepithel** und **Drüsenepithel**

## ▶ **Epitheliale Funktionen**

### **Barrierefunktion**

- Physikalische Barriere
- Chemische Barriere

### **Transportfunktion**

- Resorption
- Sekretion

# Bindegewebe

## ► Spezifische Bindegewebszellen

### Fibroblasten

- synthetisiert alle Komponenten der Fasern und der Grundsubstanz des Bindegewebes
- teilungsfähige Zellen
- gehen fließend in Fibrozyten (inaktivierte Zellen) über
- Zellkern lang und abgeplattet und enthält unterschiedlich stark gefärbtes Chromatin
- Zytoplasma lichtmikroskopisch kaum zu erkennen

### Retikulumzellen

- auf das retikuläre Bindegewebe der lymphatischen Organe und des roten Knochenmarks beschränkt
- Aufgabe: Synthese des Prokollagens für retikuläre Fasern und der mit den Fasern verbundenen Glykoproteinen und Proteoglykane
- schlanker Zelleib mit zahlreichen, langen Zellfortsätzen
- Zellkern ist groß, oval, euchromatisch, besitzen einen oder mehrere Nucleoli

## ► Eingewanderte (freie Zellen)

### Makrophagen

- zählen zu den Gewebemakrophagen
- können sich amöboid fortbewegen und so durch das Bindegewebe wandern
- Aufgaben: Beseitigung von abgestorbenen Zellen, Zellfragmenten, eingedrungenen Fremdstoffen und Erregern durch Phagozytose und lysosomalen Abbau
- hoher Gehalt an Phagosomen und Lysosomen
- lamellenförmige und mikrovilliäre Fortsätze

### Mastzellen

- kommen häufig in der Nachbarschaft von Gefäßen vor
- runde bis ovale Zellen (Durchmesser 6-12 µm)
- hoher Gehalt an Sekretgranula

### Plasmazellen

- entstehen nach Antigenkontakt aus B-Lymphozyten, die aus dem Blut eingewandert sind
- sezernieren Immunglobuline (Antikörper)
- exzentrisch liegende, heterochromatische Zellkerne
- große Mengen an rauem endoplasmatischem Retikulum

## ► Fasern

- Unterscheidung in kollagene und elastische Fasern, Sonderform der kollagenen: retikuläre Fasern

## Allgemeines und Lichtmikroskopie

### Kollagenfasern

- Hauptform Kollagen I
- hohe Zugfestigkeit, verleihen Bindegewebe hohe mechanische Widerstandskraft
- Faserdurchmesser 1-10 µm, lagern sich zu dickeren Bündeln zusammen
- Dehnbarkeit ist sehr gering

- Erhitzen führt zu Denaturierung

### **Retikuläre Fasern**

- ebenfalls aus Kollagen aufgebaut ( Kollagen III)
- bilden netzartig angeordnete Fasern (Durchmesser 0,5 - 2  $\mu\text{m}$ )

### **Elastische Fasern**

- bestehen aus quer vernetzten Tropoelastinmolekülen und elastischen Mikrofibrillen
- Vorkommen beispielsweise in Wänden herznaher Arterien (Windkesselfunktion), elastische Bänder (Ligamenta flava zwischen den Wirbelbögen), Lunge

## **Ultrastruktur und Molekularbau der Fasern**

### **Kollagene Fasern**

- setzen sich aus parallel angeordneten Kollagenfibrillen zusammen
- Durchmesser der Fibrillen schwankt zwischen 30-70 nm
- Fibrillen bestehen aus langen, stäbchenförmigen Tropokollagenmolekülen (Länge 300 nm, Dicke 1,23 nm), die hinter- und nebeneinander angeordnet sind
- Aufbau aus drei umeinandergewundenen, fadenförmigen Proteinketten ( $\alpha$ - Ketten), bilden eine stabile  $\alpha$ -Tripelhelix
- lagern sich extrazellulär treppenförmig seitlich aneinander, jeweils um ein Viertel ihrer Moleküllänge gegeneinander versetzt, Lücke von 40 nm zwischen den Molekülen
- elektronenmikroskopisches Bild einer Querstreifung

### **Retikuläre Fasern**

- Aufbau aus Kollagen Typ III mit wechselnden Anteilen von Kollagen Typ I
- ebenfalls typische Querstreifung
- Durchmesser der Fibrillen (20-45 nm)

### **Elastische Fasern**

- lassen keine geordneten Binnenstrukturen erkennen und besitzen keine Querstreifung
- amorphe Grundstruktur aus Elastin
- darin eingelagerte Mikrofibrillen (Durchmesser 10-12 nm)

## **►Grundsubstanz**

- Zellen und Fasern sind in eine amorphe Grundsubstanz
- Maschenwerk aus Makromolekülen (Glykosaminoglykane, Proteoglykane, Glykoproteine)
- überwiegend hydrophil, erlauben die Diffusion von Flüssigkeiten

## **Glykosaminoglykane**

- lineare Polysaccharidketten aus repetitiven Disaccharideinheiten
- stark sauer (polyanionisch) und binden kationische (basische) Farbstoffe
- wichtiger Vertreter: Hyaluronsäure

## **Proteoglykane**

- spezielle Form von Glykoproteinen
- ein Kernprotein mit Seitenketten mit sulfatierten Glykosaminoglykanen

## **Glykoproteine**

- enthalten nur kurze Seitenketten, die nicht sulfatiert sind

## ► Bindegewebsformen

### Mesenchym

- typisches embryonale Bindegewebe
- besteht aus Mesenchymzellen die über Nexus miteinander verbunden sind und ein weit-räumiges Maschennetz bilden
- Grundsubstanz v.a. aus dem Glykosaminoglykan Hyaluronsäure
- faserfrei

### Gallertiges Bindegewebe, Gallertgewebe

- Grundgewebe der Nabelschnur
- fortsatzreiches Fibroblastennetzwerk
- Interzellulärsubstanz steht im Vordergrund
- enthält große Mengen an Hyaluronsäure
- kollagene und retikuläre Fasern bilden einen lockeren, maschenartigen Verband
- aufgrund der hohen Wasserbindungsfähigkeit der Hyaluronsäure prallelastische Konsistenz

### Faserarmes Bindegewebe

#### Lockerer kollagenes Bindegewebe

- weit verbreitete Bindegewebsform, Bindegewebe im eigentlichen Sinn
- bildet Stroma von Organen, bindet Nerven und Gefäße verschieblich in umgebende Gewebe und Organe, ist Bindschicht zwischen Epithel bzw. Endothel und sich anschließenden Geweben, untergliedert Skelettmuskeln und Sehnen
- wichtiger Bestandteil der Subkutis der Haut
- im Interzellulärraum in lockerer Anordnung kollagene, retikuläre und weniger elastische Fasern
- in der Grundsubstanz kommen Hyaluronsäure und verschiedene Proteoglykane vor, die aufgrund ihrer Wasserbindungsfähigkeit den hohen Flüssigkeitsgehalt ausmachen
- alle Typen von freien Zellen

#### Retikuläres Bindegewebe

- spezielle Form des faserarmen Bindegewebes
- Grundgewebe in lymphatischen Organen und im roten Knochenmark
- fortsatzreiche (fibroblastische) Retikulumzellen bilden einen weitmaschigen Gewebeverband

### Fasereiches Bindegewebe

#### Straffes geflechtartiges Bindegewebe

- Faserverlauf bietet Zugfestigkeit in alle Richtungen
- Kollagenfaserbündel verlaufen sich kreuzend in alle Richtungen

#### Straffes parallelfaseriges Bindegewebe, Sehnen

- ist das Grundgewebe von Sehnen (strangartige Form), Aponeurosen (platte Sehnenform) und Bändern
- parallele Anordnung der Fasern
- abgeplattete Fibroblasten (Flügelzellen)
- Sehne wird durch faserarmes lockeres Bindegewebe untergliedert und umscheidet
- Bindegewebsscheide ist Epitendineum
- Bindegewebssepten im Inneren der Sehne Peritendineum

- Funktion ist Innervation und Versorgung und Bildung von Verschiebeschichten

### **Elastische Bänder und Sehnen**

- kommen im menschlichen Körper selten vor
- Beispiel sind die Ligamenta flava, die die Wirbelbögen verbinden
- glatten Muskeln die Haare aufrichten (Mm. arrectores pilorum) haben elastische Endsehnen
- bestehen aus sich verzweigenden elastischen Fasern

### **Basalmembran und Basallamina**

- lichtmikroskopisch als Basalmembran bezeichnet
- elektronenmikroskopisch aus zwei Schichten bestehend: Basallamina und Lamina fibroreticularis
- Basallamina besteht aus Lamina rara und Lamina densa
- Lamina densa 50 nm dick
- zwischen Lamina densa und Zelloberfläche Lamina rara, 10-50 nm
- auf der anderen Seite schließt sich 0,2 - 0,5 µm dicke Lamina fibroreticularis an
- diese enthält Kollagenfibrillen

# Fettgewebe

## Herkunft

- entwickelt sich aus Mesenchymzellen
- können sich im Erwachsenenorganismus permanent aus Vorläuferzellen (Prädipozyten) entwickeln

## ► Weißes Fettgewebe

### Vorkommen und Bedeutung

- Bedeutung als **Kälteschutz** (subkutanes Fettgewebe)
- mechanische Funktion (**Baufett**)
- Energiedepot (**Speicherfett**)
- Bei Überangebot von Nährstoffen wird vermehrt Fett in Fettzellen gebildet, das bei Unterversorgung wieder abgebaut wird

### Struktur

- einzeln oder in Gruppen im faserarmen Bindegewebe
- Fettgewebe im eigentlich Sinn sind größere Anzahl von Fettzellen in läppchenartigen Zellverbänden
- Lichtmikroskopisch runde bis polygonale Form der Zellen
- Zelle von einem großen Fetttropfen ausgefüllt, Zytoplasma in einem schmalen peripheren Saum, Zellkern abgeplattet
- Durchmesser 70 - 120  $\mu\text{m}$
- **ein** großer Fetttropfen typisch, **unilokäre Fettzellen**
- bei Paraffinschnitt-Technik wird das Fett vollständig aus der Zelle gelöst, Vakuole bleibt übrig, **univakuläre Fettzellen**
- in Zellmembran Cavolae, dienen Vergrößerung der Zelloberfläche
- um jede Fettzelle Basallamina

### Fettstoffwechsel

- hormongeregelter (Insulin, Adrenalin, Noradrenalin) Auf- und Abbau von Triglyceriden in weißen Fettzellen

## ► Braunes Fettgewebe

### Vorkommen und Bedeutung

- Wärmeproduktion
- im adulten Organismus nur noch an wenigen Orten (z.B. im Mediastinum und um die Aorta)
- bei Säuglingen und winterschlafenden Tieren wichtig für Wärmeregulation

### Struktur

- kleiner als im weißen Fettgewebe, Durchmesser ca. 30  $\mu\text{m}$
- Zellkern liegt meistens zentral
- umgeben von **zahlreichen** Fetttropfen, **multilokäre, plurivakuläre Fettzellen**
- Zellen enthalten viele Mitochondrien (Fettsäureabbau)
- im umliegenden Bindegewebe viele Blutgefäße und sympathischer Nervenfasern

# Knochengewebe

## ► Makrostruktur des Knochen

- knöcherner Skelett besteht in der Regel aus **210** anatomisch abgrenzbaren Knochen
- in den Extremitäten lange **Röhrenknochen** (Ossa longa)
- Schaft (**Diaphysis**, Corpus) und an den Enden (**Epiphysen**) mit Gelenkknorpel versehen
- zwischen Diaphyse und Epiphyse **Metaphyse** und eine **Epiphysenfuge**, die nach Abschluss des Wachstums zur **Linea epiphysialis** verknöchert
- Epiphysen und Metaphysen sowie alle anderen Knochen bestehen hauptsächlich aus einem Gerüst aus Knochenbälkchen (**Substantia spongiosa**)
- äußere Wand (**Substantia corticalis**) besteht aus kompaktem Knochengewebe
- Zwischenräume der Spongiosa mit blutbildendem, **roten Knochenmark** (*Medulla ossium rubra*) ausgefüllt
- Diaphysen der langen Röhrenknochen bestehen hauptsächlich aus kompaktem Knochengewebe (**Substantia compacta**), Kortikalis nicht weiter abgegrenzt
- Markhöhle (*Cavitas medullaris*) mit Fettgewebe ausgefüllt (*Medulla ossium flava*, **gelbes Knochenmark**)

## ► Hüll- und Hilfsstrukturen

- äußere Oberfläche wird von **Periost** bedeckt
- Periost fehlt bei überknorpelten Gelenkflächen, Knochenflächen die von Synovialmembran überzogen sind, und auf den Anheftungszonen von Bändern, Sehnen und Muskeln
- innere Schicht, **Stratum osteogenicum** des Periost zellreich
- enthält osteogene und chondrogene Vorläuferzellen
- äußere Schicht aus straffem, geflechtartigem kollagenem Bindegewebe (**Stratum fibrosum**)
- Bündel von Kollagenfibrillen gehen direkt in das Kollagenfibrillen System der Kortikalis über (*Fibrae perforantes*, **SHARPEYSche Fasern**)
- kleinere periostale Blutgefäße versorgen die äußeren Abschnitte der Kortikalis
- Periost dicht innerviert, besonders schmerzempfindlich

## ► Knochenmatrix

- Mineralsubstanz besteht hauptsächlich aus **Hydroxylapatit-Kristallen** ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$ )
- außerdem **Kalziumcarbonat**  $\text{CaCO}_3$  und **Kalziumhydrogenphosphat**  $\text{CaPO}_4\text{P}$
- organische Matrixkomponenten aus **Kollagen Typ I**, die Fibrillen mit hoch geordnetem Verlaufsmuster bilden

## ► Mikrostruktur des Knochen

- Knochengewebe besteht hauptsächlich aus **Lamellenknochen**
- kompakter Knochen (Substantia compacta, Substantia corticalis) ist auf Aussenschicht beschränkt
- **Spongiosatrabekel** sind platte, bzw. säulenförmige, verzweigte Strukturen, bilden gitterförmiges Gerüst
- Trabekel verlaufen bevorzugt in Richtung der Druck- und Zugbelastungen
- Oberfläche der Spongiosa mit **Endost** bedeckt

## Lamellenknochen

- Strukturelement ist die 2—4 µm dicke Knochenlamelle
- innerhalb der Lamelle sind **Kollagenfibrillen gleichsinnig ausgerichtet**
- kommen in vier verschiedenen Anordnungen vor

### Osteonlamellen (Speziallamellen)

- Osteone bestehen aus konzentrischen Lamellen
- sind auf kompakten Knochen beschränkt
- Osteon aus durchschnittlich 30 konzentrischen Lamellen, umschließen einen zentralen Gefäßkanal (**Haversscher Kanal**)
- peripher begrenzt durch 1—2 µm dicke kollagenfreie Zementlinie
- **VOLKMANNSCHE Kanäle** (Canales perforantes) verlaufen transversal durch Kompakta, verbinden Haverssche Kanäle, **nicht** von konzentrischen Lamellen umhüllt
- im Lamellensystem gibt es **Osteozyten-Lakunen** in denen die Osteozyten liegen
- verbunden durch **Canaliculi ossei**

### Interstitielle Lamellen

- Zwischenräume zwischen Osteonen mit unregelmässigen Lamellen ausgefüllt

### Zirkumferenzlamellen

- an der periostalen und endostalen Oberfläche der Kompakta (Kortikalis)
- oberflächenparallelen Lamellen

### Trabekellamellen

- Trabekel der Spongiosa aus halbmondförmigen Lamellenpaketen aufgebaut

## Geflechtknochen

- bei Knochenneubildung wird zunächst Geflechtknochen entwickelt
- Kollagenfibrillen bilden ein Flechtwerk aus Kollagenfasern
- beim Erwachsenen im knöchernen Labyrinth des **Felsenbeins**, Suturen der **Schädelknochen** und im **Kallusgewebe**
- Sonderform: Bündelknochen

## ► Spezifische Zellen des Knochens

- Spezifischen Zellen sind: Osteoblast, Osteozyt, endostale Saumzelle und Osteoklast

### Osteoblast

- **Synthese** von Osteoid
- einkernige annähernd kubische, plumpe Zellen (Durchmesser 15—30 µm)
- Zellen basophil, reich an Ribosomen und rauem ER zur **Proteinsynthese**
- Plasmamembran reich an **alkalischer Phosphatase**
- stark entwickelter Golgi-Apparat
- Zellen sind untereinander durch Adhärenskontakte, Nexus und fleckförmige Occlusidenskontakte verbunden

### Osteozyten

- sind eingemauerte, **inaktive** Osteoblasten
- dominierender Zelltyp in Knochen
- befinden sich in Osteozyten-Lakunen
- über Zellfortsätze in den Canaliculi durch Nexus verbunden

## Endostale Saumzelle

- flach und enthalten abgeplatteten Zellkern
- bilden kontinuierlichen Zellverband auf den Trabekeln, auf der inneren Oberfläche der Kortikalis und an der Wand der HAVERSSchen Kanäle
- zwischen Zellen und verkalkter Knochenmatrix schmaler **Matrixsaum**
- Saumzellen durch Nexus untereinander und mit Osteozyten verbunden
- Saumzellen sind **ruhende Osteoblasten**

## Osteoklast

- sind für Demineralisierung und Abbau der Knochenmatrix verantwortlich
- stark azidophile, **vielkernige Riesenzellen** (bis 25 Zellkerne, Zelldurchmesser 30–100 µm)
- im Bereich der Trabekel befinden sie sich in den **Erosionslakunen**
- im kompaktem Knochengewebe befinden sie sich in der Spitze von **Erosionstunneln**
- aktive Osteoklasten sind polar organisiert, mit lakunärer (apikaler) und stromawärtiger (basolateraler) Membranoberfläche
- lakunäre Membrandomäne durch zahlreiche Mikroplicae zu einem **Faltensaum** aufgeworfen (Oberflächenvergrößerung)
- an der Grenze der Membrandomänen haftet die Zelle durch fokale Zellsubstratkontakten vom Typ der **Podosomen** an der Knochenmatrix
- Zytoplasma reich an Mitochondrien (Azidophilie, ATP-Produktion)

## ► Knochenentwicklung, Knochenwachstum

- Knochengewebe entsteht aus osteogenen und chondrogenen Mesenchymverdichtungen
- diese können direkt verknöchern (**membranäre oder desmale Ossifikation**)
- der daraus hervorgehende Knochen wird Bindegewebe-, Deck- oder Belegknochen genannt
- durch desmale Ossifikation entsteht der **Schlüsselbeinschaft** und die Knochen des **Schädeldachs** und des **Gesichtsschädels**
- zweite Form, durch die das übrige Skelett entsteht ist die **chondrale (kartilaginäre) Ossifikation**
- dabei entsteht zunächst Knorpelgewebe das anschließend in Knochen umgewandelt wird

## Membranäre (desmale) Ossifikation

- **osteogene Mesenchymzellen** wandeln sich in syntheseaktive Osteoblasten um
- diese geben zu allen Seiten Osteoid ab, mauern sich so ein
- werden zu Osteozyten die in Lakunen liegen und über Fortsätze miteinander in Verbindung bleiben
- so entsteht eine **primäre Spongiosa** aus **Geflechtknochen**
- Umwandlung in **Lamellenknochen** durch Auflagerung von Knochenlamellen auf die primären Trabekel
- Trabekel werden anschließend durch Osteoklasten abgebaut und komplett durch lamellären Knochen ersetzt (**sekundäre Spongiosa**)
- ausserdem Umwandlung durch **Kompaktierung**
- d.h. Bildung primärer Osteone um Blutgefäße, die kontinuierlich mit umgebenden Knochen verwachsen sind, nicht mit Zementlinien abgegrenzt
- anschließend Umwandlung in sekundäre Osteone
- entstehende Knochen wachsen nur durch **appositionelles Wachstum**

## Chondrale Ossifikation

- Knorpelanlagen der Knochen vergrößern sich
- Osteoblasten entwickeln sich im Perichondrium
- bilden durch membranäre Ossifikation die **perichondrale Knochenmanschette**
- Knorpelzellen im Zentrum der Anlage vergrößern sich (**hypertrophischer Knorpel**), leiten Verkalkung ein
- Einwachsen von Blutgefäßen wird stimuliert
- Osteoklasten bauen verkalkte Matrix ab
- Osteoblasten füllen Erosionsherde mit spongiöser Knochenmatrix (**primäres Ossifikationszentrum**)
- Dickenwachstum der Diaphyse durch Knochenabbau von innen und **appositionelles Wachstum** von aussen
- Längenwachstum erfolgt durch **interstitielles Wachstum** in der **Epiphysenfuge**
- Epiphysen beginnen erst postnatal zu verknöchern
- Epiphysenfugen verknöchern gegen Ende der Pubertät (Linea epiphysalis)
- Epiphysenfugen in fünf Zonen aufgeteilt (von Epiphyse -> Diaphyse)
  1. **Reservezone** (Zona reservata)
  2. **Proliferationszone** (Zona proliferata)
  3. **Hypertrophiezone** (Zona hypertrophica)
  4. **Resorptionszone** (Zona resorbens)
  5. **Ossifikationszone** (Zona ossificationis)
- **Reservezone** liegt am Übergang zwischen Epiphyse und Epiphysenfuge
- besteht aus hyalinem Knorpel mit hauptsächlich einzeln liegenden Chondrozyten
- in der **Proliferationszone** zeigen Chondroblasten starke Mitoseaktivität
- Zellteilung hauptsächlich in der Längsachse des Knochen
- Zellen stapeln sich zu **Säulen**
- Zellen flachen ab
- in der **Hypertrophiezone** findet eine Dickenzunahme der Knorpelzellen statt
- in der **Resorptionszone** findet zunächst eine Verkalkung der longitudinalen Knorpelwände statt
- dadurch bilden sich die Zellsäulen umgebende **Knorpeltunnel** (Cavitates cartilaginae), die zur Diaphyse hin offen sind
- Chondrozyten gehen dann apoptotisch zugrunde
- in der **Ossifikationszone** werden die Tunnelwände dann von einer dünnen Schicht von Geflechtknochen überzogen
- Kapillaren wachsen ein, induzieren die Bildung primärer Osteone (**Kompaktierung**)
- **Postnatal** entstehen in den Epiphysen ebenfalls Ossifikationszentren
- ersten Epiphysenknochenkerne treten in der distalen Femur- und proximalen Tibiaepiphyse zum Zeitpunkt der Geburt auf

## ► Knochenumbau

- ständiger Umbau bewirkt ständige Materialerneuerung
- Knochen wird durch zwei Mechanismen abgebaut, die als Erosionslakunen und Erosionstunnel in Erscheinung treten
- **Erosionslakunen** typisch für die Spongiosatrakel, sind napfförmige Vertiefungen (50—70 µm tief, Durchmesser ca. 100 µm)
- **Erosionstunnel** haben Durchmesser von 200 µm und können mehrere Millimeter in die Kompakta vorangetrieben werden

## ► **Leitungsbahnen**

- **Blutversorgung** erfolgt durch Vasa nutricia die über Foramina nutricia durch die Kortikalis in die Cavitas medullaris verlaufen
- in Röhrenknochen meist ein bis zwei große Diaphysenarterien
- Kortikalis hauptsächlich von innen nach aussen versorgt, Abfluss über kleine Venen in das Periost
- **Nerven** treten zumeist mit den Blutgefäßen in den Knochen
- folgen in die HAVERSSchen und VOLKMANNschen Kanäle und in die Spongiosa
- **Periost** dicht innerviert, besonders schmerzhaft

# Knorpelgewebe

## ► Hyaliner Knorpel

### Vorkommen

- milchig trübes, derbes Gewebe mit weißlich blauer Färbung (*hyalos*, gr. Glas)
- verstärkt Wandabschnitte der Atemwege, bildet Sternum- und Bogenabschnitte der Rippen, ist Gelenkknorpel
- hyaliner Knorpel bildet während der Entwicklung ein temporäres Knorpelskelett

### Entwicklung

- entsteht ab der 5. Embryonalwoche innerhalb zellreicher Mesenchymverdichtungen
- Zellen runden sich ab und wandeln sich in **Chondroblasten** um
- diese Beginnen mit Sekretion der Knorpelmatrix, rücken dadurch auseinander
- nach Versteifung der Knorpelmatrix teilen sich die Chondroblasten, Chondrozyten bilden gruppenförmige Aggregate, **Chondrone**
- Chondrone und umgebende Matrixsaum wird Territorium genannt
- zwischen den Territorien liegender Matrixraum sind Interterritorien
- Knorpelwachstum durch Zellteilung und Matrixsynthese **interstitielles Wachstum**
- **appositionelles Wachstum** durch Auflagerung von Knorpelzellen und Knorpelmatrix

### Zellen

- **Chondroblasten** (teilungsfähig)
- **Chondrozyten** (postmitotisch)
- liegen in matrixfreien Knorpelzellohlen (Lacunae cartilagineae)
- beide Formen sezernieren große Mengen von Knorpelmatrix, daher viel rauhes ER und großer GOLGI-Apparat
- viele Mitochondrien, Lysosomen und Glykogenpartikel
- Zellkern euchromatisch mit deutlichen Nucleoli

### Matrix

- Knorpelmatrix ist basophil
- gute Anfärbung durch Methylenblau und Hämatoxylin
- enthält **Kollagen** (hauptsächlich Typ II), **Proteoglykane**, **Glykoproteine**

### Kollagen

- hauptsächlich Typ II
- netzförmig bis parallel angeordnete, 50-150 nm dicke Fibrillen in den Interterritorien
- in oberflächlichen Regionen parallel zur Oberfläche (**Tangentialfasern**)
- in tieferen Schichten senkrecht oder schräg zur Oberfläche
- in territorialer Matrixzone dichtes Netzwerk von 10-20 nm dicken Fibrillen
- in perizellulärer Matrix keine nennenswerten Mengen von Kollagenfibrillen

### Proteoglykane

- hoher Gehalt der Matrix an **Aggrecan**
- höchste Konzentration von Aggrecan im Knorpelhof, also perizelluläre und territorialer Matrix
- trockenes Aggrecan kann das 50-fache seines Volumens an Wasser binden
- Quelldruck im Knorpel 200 N/cm<sup>2</sup>

## **Glykoproteine**

- Matrylin
- an Oberfläche von Chondrozyten Anchorin und Chondronectin zur Bindung an Kollagen-Typ-II-Fibrillen

## **Verkalkung**

- Hyaliner Knorpel kann verkalken
- im Gelenkknorpel ist knochenwärts eine schmale Zone verkalkt und gegen den nicht verkalkten Knorpel scharf abgegrenzt (Frontlinie, tidemark)

## **Hüllstrukturen**

- Oberfläche von Perichondrium bedeckt

## **Blutgefäße, Stoffaustausch**

- Gelenkknorpel kann bis zu 8 mm dick werden, Rippenknorpel bis zu 12 mm
- Gelenkknorpel blutgefäßfrei, wird von subchondralen Knochen und Synovia versorgt
- Rippenknorpel mit Knorpelkanälen durchsetzt (Canales cartilaginei)
- diese enthalten eine zentrale Arteriole, mehrere Venulen und Kapillaren
- maximale Diffusionsstrecke über die hyaliner Knorpel vital bleibt 3–4 mm
- intermittierende Druckbelastung beschleunigt durch Auspressen und Wiedereinstrom von Wasser den Stofftransport
- zu starke und zu geringe Druckbelastung sowie Dauerdruck können zur Degeneration des Gelenkknorpels führen

## **►Faserknorpel**

- unterscheidet sich von hyalinem Knorpel durch einen hohen Gehalt an Kollagen Typ I
- daher weiße Farbe, nicht transparent
- Faserknorpel entsteht in Anpassung an kombinierte Druck-, Zug- und Scherbelastungen

## **Vorkommen**

- Zwischenwirbelscheiben, Symphysen, Meniski und Disci

## **►Elastischer Knorpel**

- hauptsächlich im äußeren Ohr, Kehldeckel (Epiglottis)
- hoher Gehalt an Elastin, gelblich trübe Eigenfarbe

# Muskelgewebe

## ► Skelettmuskulatur

- Skelettmuskel besteht aus zahlreichen Muskelfasern, durch Bindegewebehüllen zu Bündeln zusammengefasst

## Bindegewebehüllen

*Faszie, Epimysium*

- oberflächliche Bindegewebehülle, **Muskelfaszie**, aus **straffem** kollagenen Bindegewebe
- erlaubt im begrenzten Umfang Quer- und Längsdehnungen
- **Epimysium**, **lockere** kollagene Bindegewebeschicht, liegt dem Muskel oberflächlich auf
- in vielen Muskeln ist Faszie vom Epimysium durch eine **Verschiebeschicht** aus weniger straffen Bindegewebe getrennt

*Peri- und Endomysium*

- **Perimysium**: vom Epimysium in den Muskel einstrahlende **Bindegewebeblätter**
- umgreifen mehrere Millimeter dicke Bündel von Muskelfasern (**Sekundärbündel**)
- diese Bündel weiter unterteilt in **Primärbündel** ( Querschnitt ca. 1 mm<sup>2</sup>, Faserzahl: 250)
- innerhalb der Primärbündel Muskelfasern von Schicht aus **retikulären Fasern** überzogen, **Endomysium**

*Basallamina*

- jede Muskelfaser von einem kontinuierlichem **Basalmembranschlauch** umgeben

## Blutgefäße

- Eintrittsstelle liegt meistens im mittleren Abschnitt des Muskels (**Hilum**)
- Blutgefäße verzweigen sich innerhalb des Perimysiums
- dringen mit ihren Endverzweigungen (Arteriolen und Venulen) in die Primär- und Sekundärbündel ein
- enthalten kontinuierliches Endothel
- in Längsrichtung orientiert

## Länge und Dicke der Skelettmuskelfasern

- Faser-Ø beim ♂ Ø 64 µm (30—80 µm), bei der ♀ Ø 49 µm (20—70 µm)
- Länge schwankt abhängig von der Länge der Muskeln von wenigen mm bis zu 10 cm
- meisten Fasern überlappen sich im Muskel, Ausbildung eines Muskelbauches
- Verbindung erfolgt durch **Zwischensehnen innerhalb des Endomysiums** oder durch direkte **myomyale Kontakte**

## Struktur der Muskelfasern

### Zellkerne und Querstreifung

*Querschnitt*

- Muskelfasern innerhalb der Primärbündel dicht aneinander gelagert
- erscheinen im Querschnitt polygonal
- Muskelfaser entsteht als **Synzidium** aus zahlreichen hintereinander gelagerten **Myoblasten**, die miteinander verschmelzen
- eine Faser besitzt auf **1 mm** Länge etwa **50—100 Zellkerne**
- durch Gewebeschrumpfung sind die Fasern häufig von einem hellen Schrumpfspalt umgeben

### Längsschnitt

- charakteristisch für **Skelettmuskel** ist die **Querstreifung**, bestehend aus **1,5 µm breiten stark angefärbten Banden**, getrennt durch helle Banden
- dunklen Banden doppelbrechend (anisotrop, **A-Banden**)
- helle Banden nicht doppelbrechend (isotrop, **I-Banden**)
- innerhalb der hellen I-Banden liegt dunkle Zwischenscheibe (**Z-Scheibe / Linie**)
- **Sarkomer** ist Abschnitt der Myofibrille zwischen zwei Z-Linien
- etwas hellere Zone in A-Bande ist **H-Zone**
- in deren Mitte **M-Zone**
- **bei Kontraktion verschwinden H-Zone und I-Bande**

### Membransysteme

- **Plasmamembran** enthält zahlreiche **Cavolae**
- abgeplattete Membranschläuche (Tubuli) zweigen im Abstand von 1 — 1,5 µm in Zytoplasma ab
- diese transversalen Tubuli (**T-Tubuli**) umkreisen die Myofibrillen an der Grenze zwischen A- und I-Bande
- werden zu beiden Seiten durch je eine Zisterne des **sarkoplasmatischen Retikulums** begleitet
- diese sind mit den T-Tubuli durch **Triadenfüßchen** miteinander verbunden bilden zusammen eine **Triade**
- T-Tubuli dienen der Ausbreitung der elektrischen Erregung

### Membranskelett

- zytoskelettale Verdichtungszone, **Costamere** verlaufen kreisförmig um die Z-Scheiben und M-Zonen
- Plasmamembran wird von einem filamentalen Gerüstwerk unterlagert, dem Membranskelett
- für die reversible Dehnungsfähigkeit und Stabilität verantwortlich
- besteht im wesentlichen aus fadenförmigen Proteinen **Dystrophin**, **Utrophin** und **Spectrin**

### Myofibrillen

- nehmen 85—90% des Faservolumens ein
- ca. 2500—3500 pro Faser (bei Faserdicke 50—60 µm)
- bestehen aus **Myosinfilamenten** und **Actinfilamenten**
- **Myosinfilamente** 15 nm dick und 1,5 µm lang
- sind auf die A-Bande beschränkt
- jedes Myosin besteht aus 300 Molekülen
- ein Myosinmolekül besteht aus Kopfabschnitt (S1), Halsabschnitt (S2) und Schwanzteil (leichtes Meromyosin, LMM)
- Kopfabschnitte stehen von der Filamentoberfläche ab, bilden die **Querbrücken**
- im Mittelabschnitt der Myofibrillen fehlen Querbrücken
- in der M-Zone sind die Myosinfilamente miteinander quer vernetzt
- **Actinfilamente** 8 nm dick und 1 µm
- erstrecken sich von den Z-Linien ausgehend zwischen die Myosinfilamente
- die Überlappungszone ist optisch dichter (dunkler Teil der A-Bande)
- zwischen Überlappungszone H-Zone, etwas heller
- im Bereich der Z-Linie durch  $\alpha$ -Actinin Actinfilamente quer verbunden
- **superdünnes Filamentsystem**, hauptsächlich **Titin**
- Titinfilamente reichen von Z-Linie bis über die Mitte der M-Linie

- bildet ein elastisches Filamentsystem, hält Sarkomere bei starker Dehnung des Muskels zusammen (**Überdehnungsbremse**), ermöglicht automatisches Zurückgleiten
- Z-Scheibe ist besonders elektronendicht
- Breite der Z-Linie variiert (langsame Zuckungsfasern 120 nm, schnelle Z. 75 nm)
- von **Ringbündel aus Intermediärfilamenten** (Desmin) eingefasst)
- gewährleistet exakte Ausrichtung der Myofibrillen

## Kontraktionsvorgang

- aktive, krafterzeugende Verkürzung der Muskulatur erfolgt durch den **Gleitfilament-Mechanismus**
- bei  $\text{Ca}^{2+}$  - Konzentrationen von  $\geq 1 \mu\text{M}$  binden Myosin-Querbrücken mit einem Winkel von  $90^\circ$  an das Actinfilament
- anschließend knickt die Querbrücke ab (auf  $50^\circ$ )
- dieser **Kraftschlag** erfolgt in Richtung auf die M-Zone (Actinfilament ca. 10 nm verschoben)
- **50–70 Querbrückenzyklen** reichen aus um Actinfilamente zur M-Linie zu bewegen

## Muskelfasertypen

### Extrafusale und intrafusale Fasern

- Unterteilung in Fasern der Arbeitsmuskulatur (extrafusale Fasern) und in Fasern der Muskelspindeln (intrafusale Fasern)
- **intrafusale Muskelfasern** sehr dünn (5–20  $\mu\text{m}$  dick, 3–9 mm lang)
- Aufgaben sind Einstellung der Empfindlichkeit der Muskelspindeln durch Spannungs- und Längenänderung und
- Funktion als Dehnungsrezeptoren
- **extrafusale Muskelfasern** können bei Reizung innerhalb von Sekundenbruchteilen kontrahieren und wieder erschlaffen
- werden als **Zuckungsfasern** bezeichnet
- besitzen in der Regel nur einen Synapsenkontakt mit einer motorischen Nervenfasern (**motorische Endplatte**)
- **Tonusfasern**, deren Zellmembran kein Aktionspotenzial weiterleiten können, werden durch zahlreiche kleine Nervenendigungen versorgt
- können nur **langsam kontrahieren**
- kommen in Muskelspindeln vor

### Langsame und schnelle Zuckungsfasern

- extrafusale Zuckungsfasern in langsam zuckende (Typ-I-Fasern) und schnell zuckende (Typ-II-Fasern) unterteilt
- **Typ-I** auf Dauerleistung ausgelegt, geringe Erschöpfbarkeit
- verbrauchen für die selbe Krafterzeugung wie Typ-II nur 1/3 soviel ATP
- reich an Mitochondrien, decken ihren Energiebedarf durch oxidative ATP-Bildung
- enthalten reichlich Fetttropfen als Energiespeicher
- hoher Gehalt an **Myoglobin, rote Muskelfasern**
- **Typ-II** (unterteilt in Typ IIA und IIB) für schnelle und kurze kraftvolle Kontraktionen verantwortlich
- ermüden schnell, decken ihren periodisch hohen Energiebedarf hauptsächlich durch den Abbau von Glucose (anaerobe Glykolyse)
- hohe Myosin-ATPase-Aktivität

## Motorische Einheit

- jede motorische Nervenzelle im Vorderhorn des Rückenmarks innerviert gleichzeitig zahlreiche Muskelfasern
- Nervenzelle und innervierte Muskelfasern bilden eine **motorische Einheit**
- Muskelfasern einer Einheit gehören demselben Fasertyp an
- bei Muskeln für fein abgestimmte Bewegungen 100-300 Muskelfasern pro Einheit
- bei Muskeln mit gröberen Funktionen bis zu 2000 Muskelfasern pro Einheit
- Fasern einer Einheit gleichmäßig über Muskelfaser verteilt

## Regeneration und Satellitenzellen

- **segmentale Nekrose**: Fasern gehen nur lokal zugrunde, Enden bleiben bestehen
- Skelettmuskelfasern sind zu Regeneration befähigt
- **Satellitenzellen** sind runde bis spindelförmige Zellen, liegen zwischen Basallamina und Faseroberfläche
- sind ruhende Myoblasten
- Zellkern ist **hyperchromatisch**

## Myotendinöse Verbindungen

- Verbindung zwischen Muskelfasern und Sehnen erfolgt durch Spezialisierungen der Plasmamembran
- tunnel- und rinnenförmige **Einfaltungen** vergrößern die Oberfläche auf das Fünf- bis Zehnfache
- auf der Innenseite der Plasmamembran eine ca. 20 nm dicke **Anheftungsplaque**
- Aufbau entspricht fokalen Zellsubstratkontakten

## ►Herzmuskulatur

- ist auf Dauerleistung ausgelegtes, quergestreiftes Muskelgewebe
- Herzmuskelfasern setzen sich aus Einzelzelle (Kardiomyozyten) zusammen (meist nur 1 Zellkern), Zellkern zentral gelegen
- Durchmesser 10—20  $\mu\text{m}$ , Länge 40—100  $\mu\text{m}$

## Glanzstreifen

- innerhalb der Fasern sind die Zellen durch Glanzstreifen (Disci intercalares) miteinander verbunden
- **Stufenbildung** ist charakteristisch, Unterscheidung in transversale und longitudinale Abschnitte
- **Fascia adherens** (Kontaktplatte) in **transversalen** Abschnitten dienen der mechanischen Übertragung der Kontraktionskraft
- in **longitudinalen** Abschnitten Verbindungen durch **Nexus** (Gap junctions), dienen der elektrischen Kopplung, Protein: **Connexin 43**

## Membransysteme

- jedes Sarkomer nur von **einem T-Tubulus** in Höhe der Z-Scheibe umgeben
- T-Tubulus mit weitem Lumen (100—300 nm)
- benachbarte T-Tubuli sind untereinander verbunden
- **sarkoplasmatisches Retikulum** nur **spärlich** ausgebildet
- terminale Zisterne und T-Tubulus bilden **Dyade**

## Reizleitungsmuskulatur und Schrittmacherzellen

- automatische Selbsterregung erfolgt durch Reizbildungs- und Reizweiterleitungssystem
- besteht aus **Schrittmacherzellen** (im Sinusknoten, Atrioventrikularknoten) und **Reizleitungsbündeln**
- **Schrittmacherzellen** durch lockeres und teilweise ungeordnetes Myofibrillensystem gekennzeichnet
- keine Glanzstreifen, nur Nexus
- Zellen der Reizleitungsbündel (PURKINJE-Fasern) mit wenig Myofibrillen und hohem Glykogengehalt
- Muskelzellen der Bündel sind durch Glanzstreifen miteinander verbunden (**Connexin 40**)

## Weitere Besonderheiten

- Herzmuskelzellen enthalten viel Myoglobin, zahlreiche Mitochondrien und Lipidtropfen
- Myofibrillen sind innerhalb der Herzmuskelzellen weniger dicht gepackt als in der Skelettmuskulatur
- im Alter Anhäufung von Lipofuszingranula

## ►Glatte Muskulatur

- hauptsächlich auf **Wandungen von Hohlorganen** beschränkt

## Form, Größe , Anordnung

- spezifische Zelle ist die **spindelförmige**, glatte Muskelzelle
- Länge zwischen 5—10  $\mu\text{m}$  und 800  $\mu\text{m}$ , Dicke 3—10  $\mu\text{m}$
- an verschiedenen Stelle kommt auch **sternförmig** verzweigte Muskulatur vor
- bilden Bündel von parallel ausgerichteten Zellen
- in den Wänden von Hohlorganen häufig **schichtenförmige** Anordnung

## Struktur

- zentralständiger Zellkern
- Kerne oft zigarrenförmig lang ausgezogen
- Organellen an beiden Polen der Zellkerne konzentriert
- Basalmembran umhüllt die Zellen komplett

## Kontraktiler Apparat

- besteht aus Actin- und Myosinfilamenten und umschriebenen Quervernetzungszone
- keine reguläre Anordnung, keine Querstreifung
- Anheftungszonen von Actinfilamenten über die gesamte Zellmembran verteilt

## Innervation und Erregungsleitung

### Spontan aktive Muskel

- in Schrittmacherzellen entstehen spontane Entladungen des Membranpotenzials
- breitet sich über Nexus auf benachbarte Zellen aus
- da Muskeln eine funktionelle Einheit: **Single-Unit-Typ**
- Regulation durch **Neurotransmitter**

### Nicht-spontan aktive Muskeln

- Kontraktion durch Nervenstimuli ausgelöst
- sind nur spärlich mit Nexus verbunden, dafür dichte Innervation
- **Multi-Unit-Typ**

# Nervengewebe

## ► Nervenzelle (Neuron)

- ist die spezifische Zelle des Nervengewebes, hochspezialisiert und nicht mehr teilungsfähig (irreversibel **postmitotisch**)
- das menschliche Gehirn enthält ca. **100 Milliarden Neurone**
- sind untereinander mit **Synapsen** verknüpft

### Allgemeiner Bauplan

- bestehen aus **Zelleib** mit Zellkern (**Perikaryon, Soma**) und Fortsätzen (**Axon** und **Dendrit**)
- Einteilung nach Zahl der Fortsätze
- **Bipolare** Neurone: 2 gegenüberliegende Fortsätze (**Axon** und **Dendrit**)
- **Pseudounipolare** Neurone: gehen aus bipolaren Neuronen hervor, Abschnürung des Zelleibs führt zu einem T-förmigen Verlaufsmuster
- **Multipolare Neurone**: sind der häufigste Neurontyp, 1 Axon und viele sich aufästelnde Dendriten
- nach der Leitungsrichtung der Erregung erfolgt Einteilung in **afferente** (zum ZNS ziehende) und **efferente** (vom ZNS kommende) Neurone

### Perikaryon

- Perikaryon und Soma oft synonym verwendet: eigentlich ist
- Perikaryon **Zytoplasma um den Zellkern** und
- Soma gesamter Zellkörper einschließlich Zellkern
- Größe und Form sehr unterschiedlich (PURKINJE-Zellen der Kleinhirnrinde 50–70  $\mu\text{m}$ , Körnerzellen der Kleinhirnrinde 5–8  $\mu\text{m}$ )
- relativ **großer runder Zellkern, euchromatisch**, enthält einen bis mehrere Nucleoli
- Zytoplasma häufig mit basophiler, scholliger **NISSL-Substanz (NISSL-Schollen, Tigroid)**, es handelt sich dabei um arealisiert verteiltes raues ER
- ausserdem **GOLGI-Apparat** und **Neurofibrillen**, gebündelt verlaufende Intermediärfilamente
- mit zunehmenden Alter Einlagerung von Lipofuszin, **Alterspigment**
- **Mikrotubuli** verlaufen in die Fortsätze
- Ursprungskegel weitgehend **organellenfrei**

### Fortsätze

#### Dendrit

- Nervenzellen besitzen unterschiedliche große Anzahl von Dendriten
- sind die rezeptiven Schenkel der Neurone
- enthalten im Gegensatz zu Axonen **raues ER** und freie **Ribosomen**
- Dendriten besitzen **Dornen**, bis ca 2  $\mu\text{m}$  lange Ausbuchtungen
- an den Dornen enden die Axone anderer Nervenfasern, Bildung von **Synapsen**
- in PURKINJE-Zellen der Kleinhirnrinde ca. 180 000 Dornen und 200 000 Synapsen

#### Axon (Neurit)

- entspringt normalerweise am Ursprungskegel des Perikaryons und ist der efferente Schenkel eines Neurons
- Axonursprung (**Axonhügel, Ursprungskegel**) enthält keine NISSL-Substanz

- an den Ursprungskegel schließt sich **Initialsegment** an, gekennzeichnet durch Vorkommen von Mikrotubuli, die sich zu Bündeln zusammenlagern
- Axone enden mit meist rundlichen Endaufreibungen (**präsynaptische Terminale** oder **terminaler Bouton**)
- Axone besitzen unterschiedlich große Durchmesser (0,05–20  $\mu\text{m}$ ) und können bis über 1 m lang werden

## Synapsen

- Neurone sind untereinander und mit ihren Zielzellen über spezialisierte Kommunikationskontakte verbunden
- **chemische Synapsen** überwiegen, es gibt auch elektrische Synapsen

## ►Nervenfaser, Nerven

- Axone werden von **Neurogliazellen** eingehüllt, Verbindung aus Axon und Neurogliazelle als **Nervenfaser** bezeichnet
- Neurogliazellen können vielschichtige Membranzwicklungen um Axone aufbauen, **myelinisierte Nervenfasern**
- werden die Axone nur einfach bedeckt: nichtmyelinisierte Nervenfasern
- die umhüllenden Gliazellen sind im ZNS **Oligodendrozyten**, im PNS die **Schwann-Zellen**

## Nichtmyelinisierte Nervenfasern des PNS

- Axone mit einem  $\varnothing$  unter 1–2  $\mu\text{m}$  in der Regel nicht myelinisiert
- sind in den **Invaginationen** der **Schwann-Zellen** gelegen
- Schwann-Zellen und Nervenfasern außen von einer Basalmembran bedeckt
- eine einzelne Schwann-Zelle hüllt eine Gruppe von Axonen auf einem Abschnitt ein, viele Schwann-Zellen hintereinander gelagert
- besitzen eine **niedrige Leitungsgeschwindigkeit** (< 3 m/s)

## Nichtmyelinisierte Nervenfasern des ZNS

- Axone haben keine Gliazellhüllen

## Myelinisierte Nervenfasern des PNS

- treten in der Evolution erst bei Wirbeltieren
- Axondurchmesser liegt zwischen 1,5 und 22  $\mu\text{m}$
- jeweils ein Axon röhrenförmig von einer unterschiedlich dicken **Myelinscheide** umhüllt
- Myelinscheide in bestimmten Abschnitten unterbrochen durch **Ranvier-Knoten**, Abschnitte dazwischen sind **Internodien**
- Internodien sind 0,2–1,5 mm lang, internodiale Myelinscheide wird durch eine myelinbildende Schwann-Zelle gebildet
- Markscheide besteht ultrastrukturell aus konzentrisch angeordneten Plasmamembranlamellen der Schwann-Zelle
- Axon liegt zunächst in einer Invagination der Schwann-Zelle, später wird es eingewickelt

## Myelinisierte Nervenfasern des ZNS

- Markscheiden des ZNS werden durch Oligodendrozyten gebildet
- ein **Oligodendrozyt** umhüllt mit seinen Zellfortsätzen Abschnitte **mehrerer Axone**
- Fasern werden nicht von Basallamina bedeckt

## Nerven

- bestehen aus Bündeln von Nervenfasern und bindegewebigen Hüllstrukturen
- Unterscheidung in **Spinalnerven** (aus Rückenmark) und **Hirnnerven**
- äußere Bindegewebescheide ist **Epineurium**
- versorgt, schützt und verbindet den Nerv verschieblich mit umgebenden Gewebe
- **Perineurium** umhüllt Nervenfaserbündel
- **Endoneurium** umgibt die Nervenfasern
- 

## ► Neuroglia

### Neuroglia des ZNS

- häufigsten Gliazellen des ZNS sind **Oligodendrozyten** und **Astrozyten (Makroglia)** und **Mikroglia**

#### Astrozyten

- kommen sowohl in grauer als auch weißer Substanz vor
- haben **Fortsätze**, die strahlenförmig in alle Richtungen reichen
- nehmen über ihre Fortsätze durch Nexus Kontakt mit anderen Astrozyten auf
- Zellkern meist relativ groß, rundlich und chromatinarm, organellenarmes helles Zytoplasma
- hoher Anteil an **Glykogengranula** und **Gliafilamenten**

#### Oligodendrozyten

- kleiner und dunkler gefärbt als Astrozyten
- großer runder heterochromatinreicher Zellkern
- reich an Mikrotubuli
- Fortsätze und Zelleiber lokal durch Nexus miteinander verbunden
- kommen in weißer Substanz als myelinscheidenbildende interfazikuläre Zellen und
- in grauer Substanz ebenfalls mit dieser Funktion und außerdem in der Nachbarschaft von Perikarya und in der Nähe von Blutgefäßen

#### Mikrogliazellen

- sind Makrophagen, Unterteilung in **ruhende** und **aktiviert**
- **ruhend**: basophiler Zellkern, dünner Zytoplasmasaum, zahlreiche unregelmäßige Fortsätze
- **aktiviert**: entstehen schnell aus ruhenden bei Verletzungen des Nervengewebes, Vergrößerung des Zelleibs zu einer rundlichen bis stäbchenförmigen Gestalt, verstärkte Proliferation

### Neuroglia des PNS

#### Schwann-Zellen

- unterscheiden sich in **myelinbildende** und **nichtmyelinbildende** Zellen
- **myelinbildende**: umhüllen ein Internodium eines Axon, Zytoplasma dabei kaum noch zu erkennen, Zellkern schlecht von Fibroblasten zu unterscheiden
- **nichtmyelinbildende**: sind für die Hüllung nichtmyelinisierter Axone verantwortlich

#### Mantelzellen

- Perikarya der meisten Neurone des PNS von Mantelzellen umgeben
- sind platte bis prismatische Zellen, Zellkern rund bis bohnenförmig
- nach außen Basalmembran