

# Muskeln, Sehnen, Menisci

*PD OA Dr. Gruber Gerald*

**Universitätsklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie Graz**



# Muskulatur

---

## größtes Organsystem:

- ca. 40% des Körpergewichts
- ca. 400 Skelettmuskeln
- ca. 25% v. Ruheenergiebedarf
- bis zu 80% vom HZV bei Arbeit

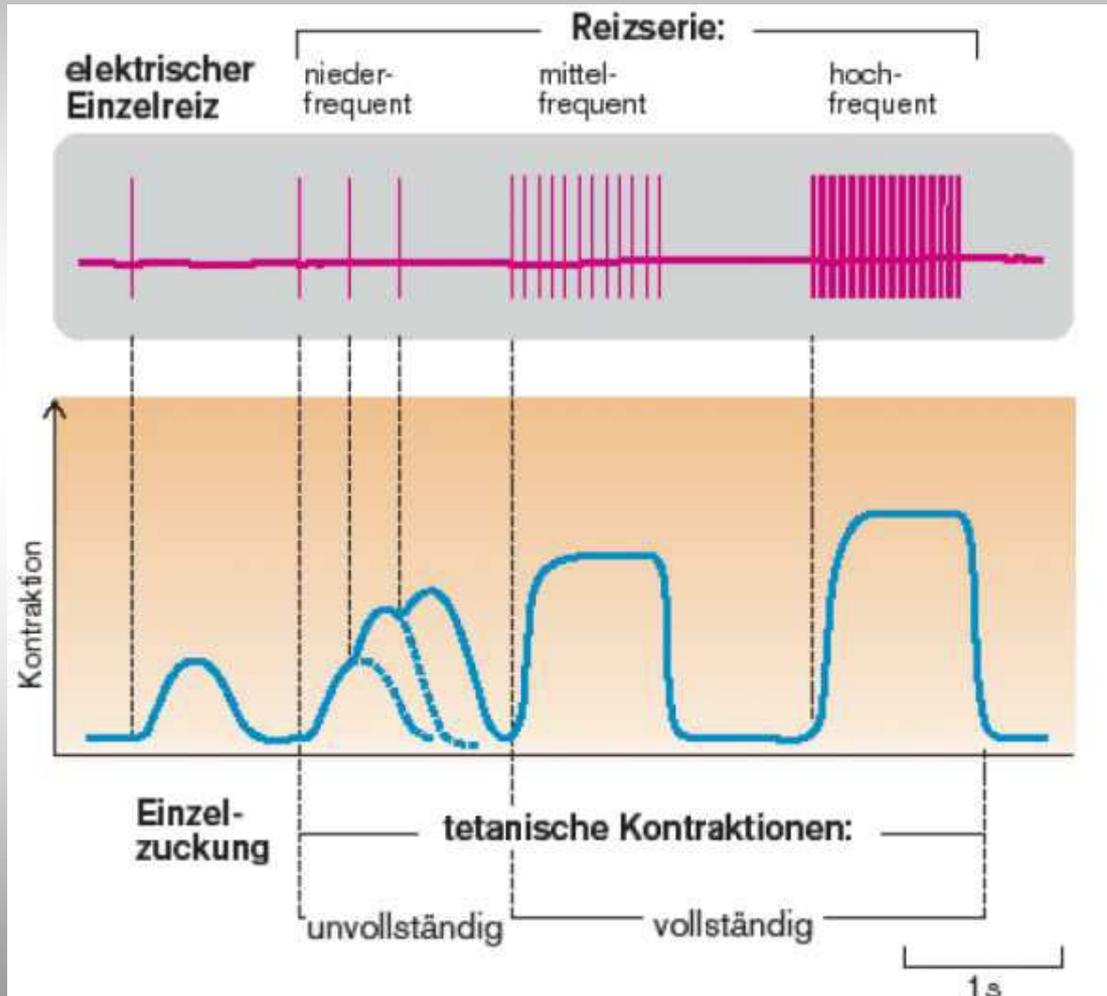
## Aufgaben:

- Kraft, Bewegung, Lokomotion
- Halten und Stabilisieren
- Transportfunktion
- Brems- und Dämpfungsfunktion
- Stell- und Meßfunktion
- Wärmeproduktion, Speicherung

**Weichteilgewebe mit  
willkürlich steuerbaren  
kontraktilen  
Eigenschaften**



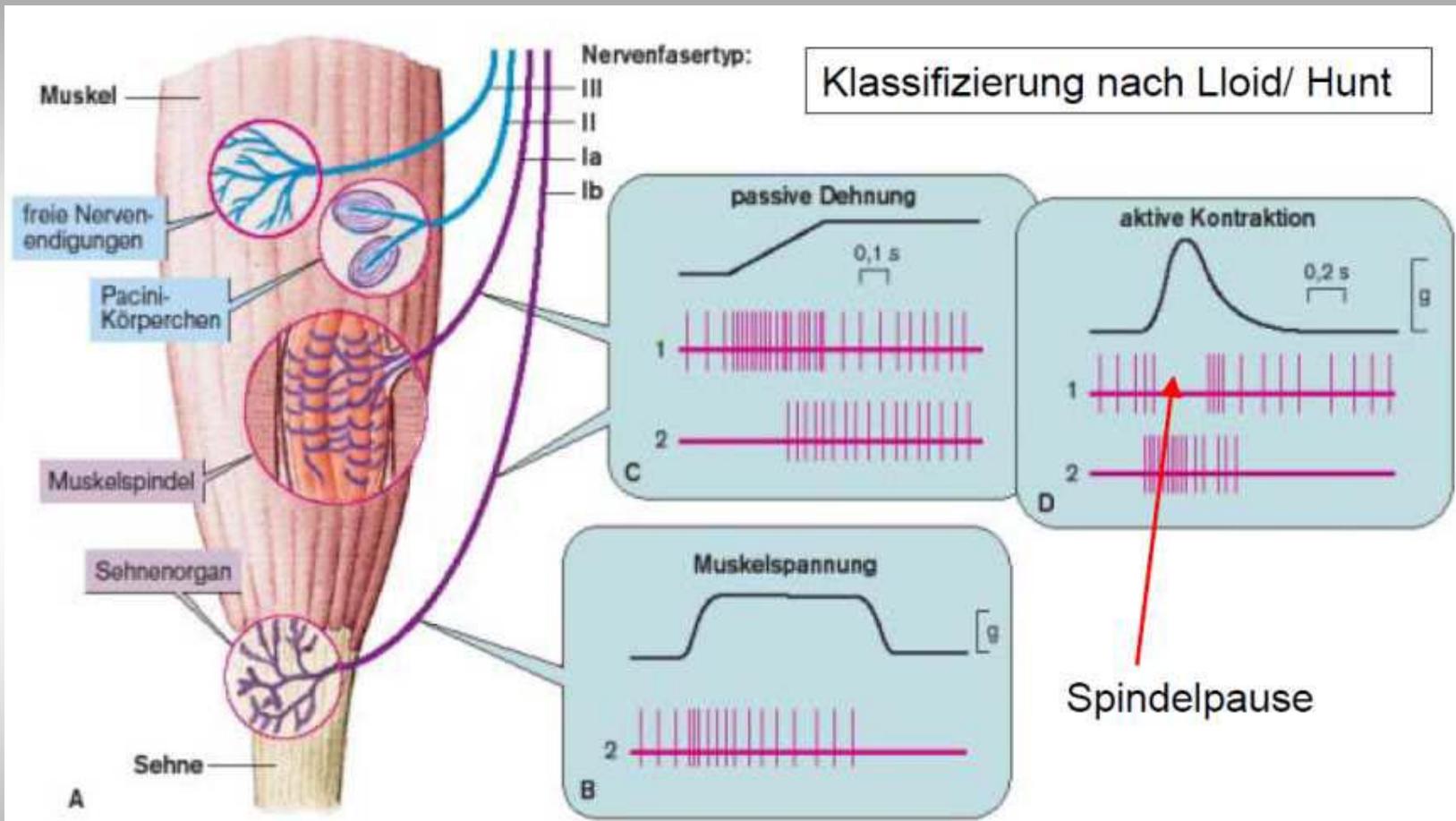
# Aktionspotential-Frequenz



**Kraftsteuerung durch zeitliche Summation**

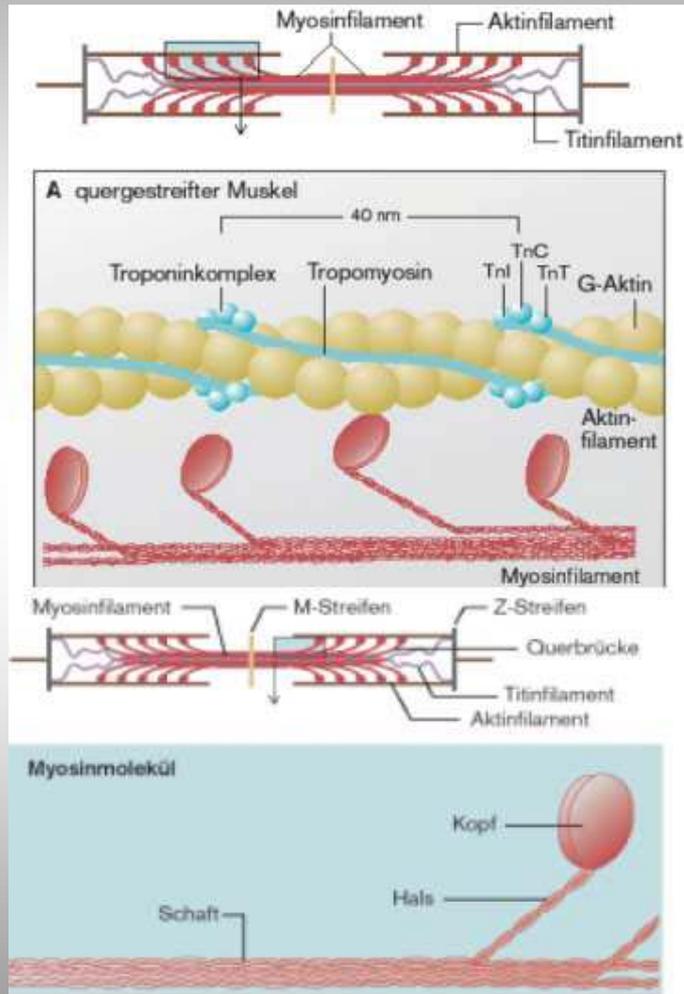


# Afferente Innervation - Muskelspindel



Muskelspindeln werden durch ein eigenes Innervationssystem vorgedehnt, dadurch bleibt die Meßfunktion auch während aktiver Kontraktion erhalten!

# Kontraktiler Apparat: Sarkomer und Proteine



## kontraktile Proteine:

Myosin (22%) molekularer Motor, ATPase-Aktivität  
 Aktin (22%) dünne Filamente

## Regulatorproteine:

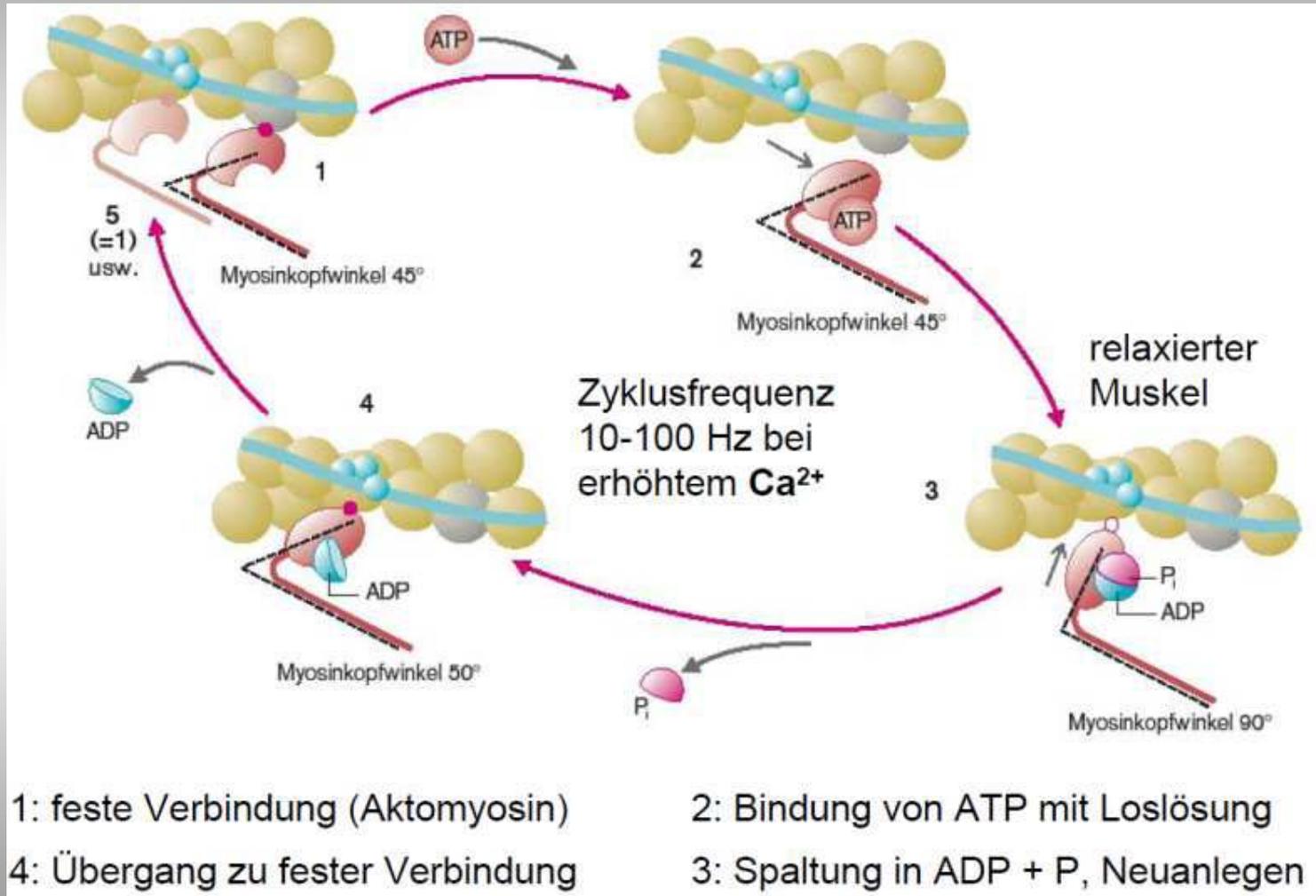
Troponin Molekülkomplex  
 Tropomyosin Verbindungsfaden

## Stützproteine:

Titin (10%) seriell zu Myosin  
 Nebulin parallel zu Aktin  
 Desmin ringf. um Z-Scheiben  
 Myomesin bildet M-Streifen



# Gleitfilamenttheorie

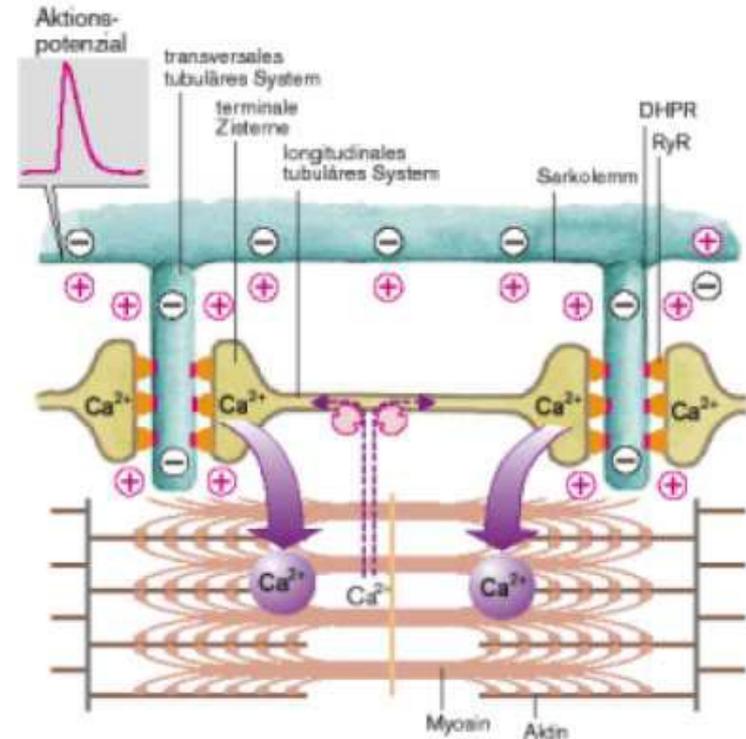
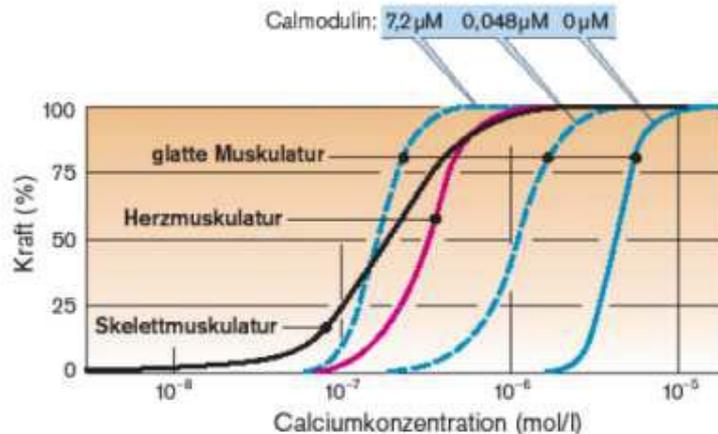


1: feste Verbindung (Aktomyosin)  
4: Übergang zu fester Verbindung

2: Bindung von ATP mit Loslösung  
3: Spaltung in ADP + P, Neuanlegen



# Calcium-Konzentration und Kontraktion

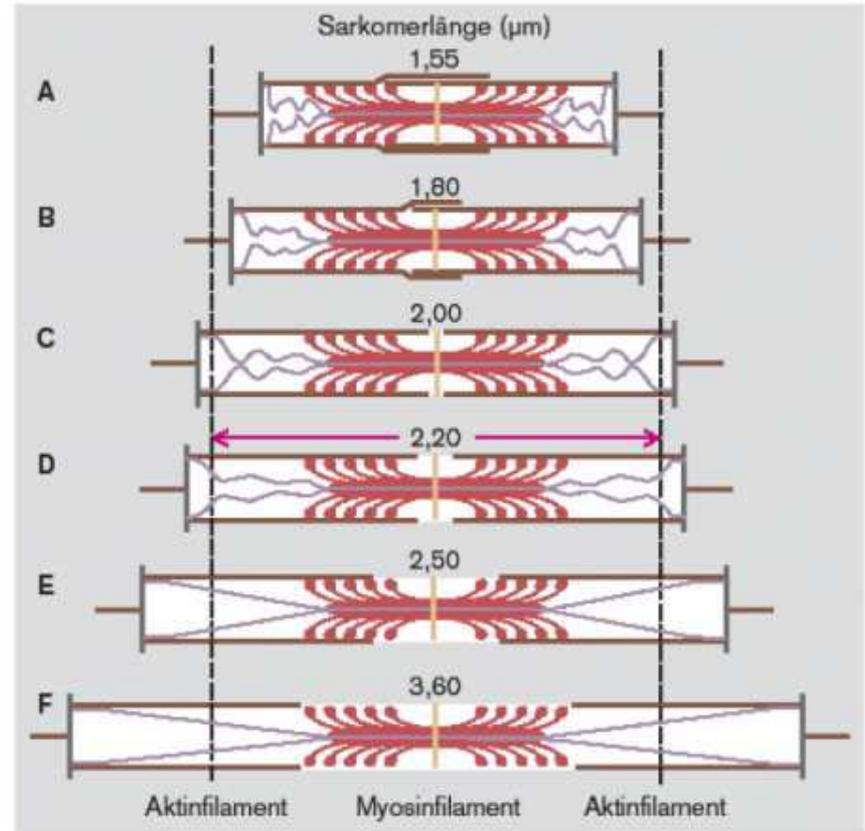
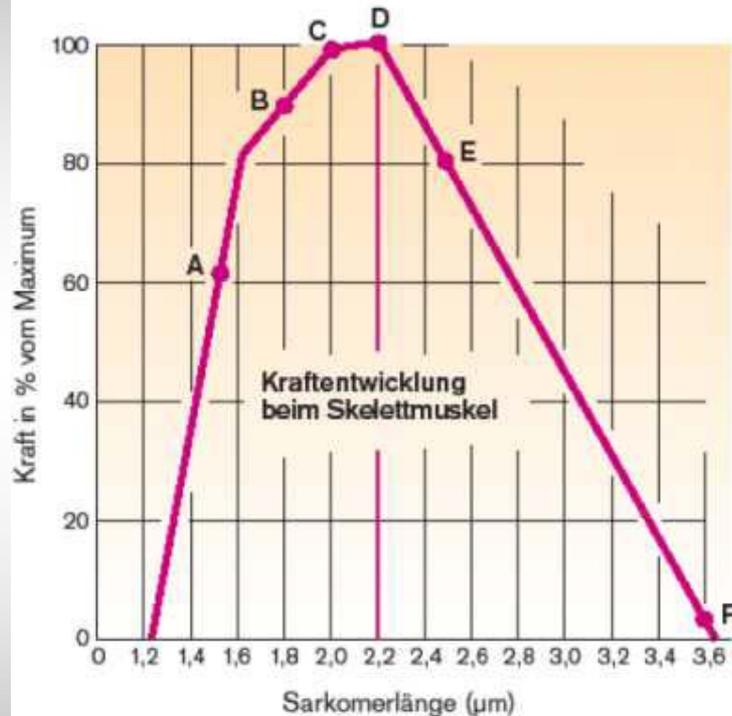


Kontraktur: Aktivierung ohne Depolarisation, Ursachen: Änderungen in der Na<sup>+</sup> und K<sup>+</sup> Permeabilität bzw. pharmakologische Ca<sup>2+</sup>-Freisetzung

Rigor mortis: bei Absinken des ATP-Spiegels bleibende Brückenbildung



# Muskeldehnung und Kraftentwicklung



Neben der Überlappung hängt die Kraftentwicklung auch von der intrazell.  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration, der ATP-Produktion und dem pH-Wert ab !!



# Belastungsinduzierte Effekte

## Muskelermüdung

- Anhäufung von Metaboliten und  $H^+$ - Ionen (pH-Wert)
- Reduktion der Energiebereitstellung,  $O_2$ -Versorgung
- Weichmacherwirkung von ATP geht zurück (Steifigkeit)

## Muskelkater

- Schmerzen die oft erst am nächsten Tag einsetzen
- Zerreissungen der Z-Scheiben,  $H_2O$ -Einwanderung
- Kraftverlust, Proteinabbau, schlechte Durchblutung



## Einflussnahme körpereigener Botenstoffe

- **Insulin - fördert den Glykogenaufbau und steigert die Proteinsynthese**
- **auch NO (lokale Bildung durch NOS) beeinflusst Glukoseaufnahme und Myosin-ATPase**
- **Glucocorticoide (Cortisol) - hemmen die Proteinsynthese (kataboler Effekt)**
- **Testosteron - stimuliert die Proteinsynthese (anaboler Effekt)**
- **Thyroxin - steigert die Membranpermeabilität für  $\text{Na}^+$  und  $\text{K}^+$  (erhöhte ATPase, Hyperthyreose mit Muskelschwäche und schneller Ermüdbarkeit)**



# Anpassungsmechanismen

- **Atrophie (Anzahl der Fasern bleibt gleich, Zahl der Myofibrillen nimmt ab)**
- **degenerative Dystrophie (Umwandlung von Fasern in Bindegewebe, z.B. denervierter Muskel, Duchenne)**
- **Hypertrophie (Faserzahl bleibt gleich, durch Proteinsynthese nimmt Anzahl der Myofibrillen zu)**
- **erhöhter Dehnungswiderstand und Ruhesteifigkeit (Zunahme der Titinfilamente, sportliches Training)**
- **Hyperplasie (Bildung neuer Fasern durch Teilung aus Satellitenzellen, z.B. nach Verletzung)**
- **Anpassung bei Kapillarisation u. Enzymaktivitäten**



# Muskel-zerrung/faserriss

- Therapie **konservativ:**
  - *PECH-Schema*
  - *Elektrotherapie (Galvanisation, Iontophorese, Interferenzstrom)*
  - *Taping (Kinesiotape)*
  - *Salbenverbände*
  - *NSAR, Muskellaxantien*
  - *Massagen, Ultraschall (ab Tag 4)*

» Volle Belastung nach 2/6 Wochen

# Muskelriss

- **Therapie operativ:**
  - *Rarität (subtotale Rupt. M. quadriceps)*
  - *mehr als 1/3 des Muskelquerschnittes*
  - *zu erwartender erheblicher Funktionsverlust (Muskelinsuffizienz - Narbenplatte)*



*Volle Belastung nach ca. 12 Wochen*

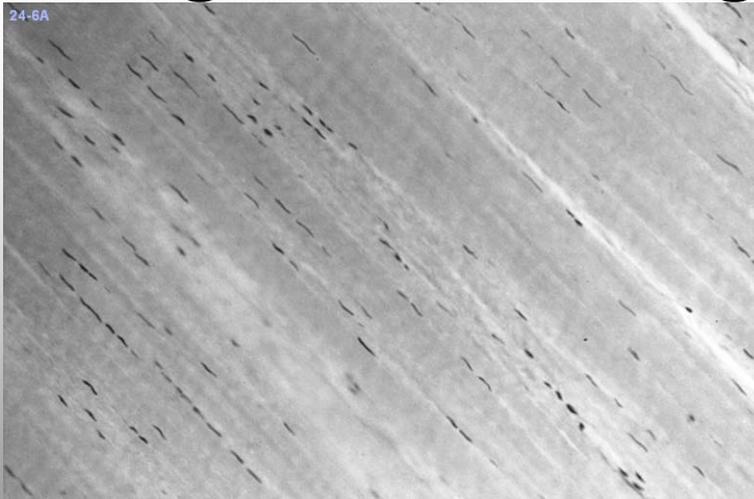
# Bänder / Sehnen

- **Ähnlich in der Struktur und in den biomechanischen Eigenschaften**
- **Bänder sind kurze und breite Gewebe die Knochen mit Knochen verbinden**
- **Sehnen sind längere und schmale Gewebstrukturen, die Muskel mit Knochen verbinden**

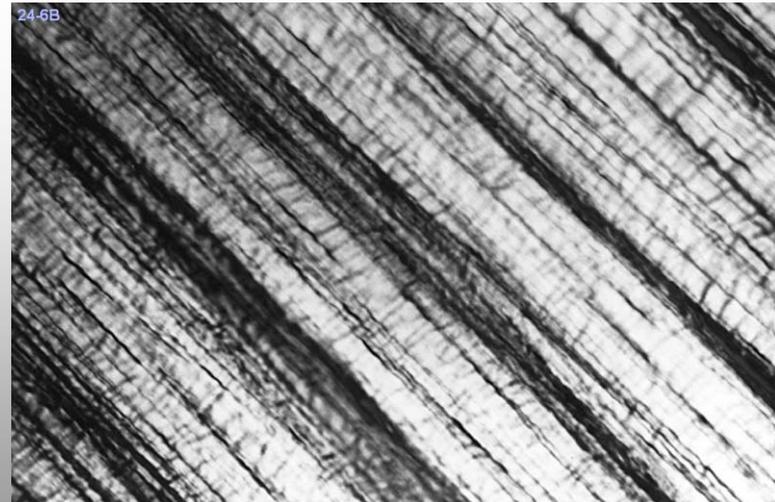


# Bänder / Sehnen

- Biomechanisch enthalten Bänder weniger Kollagen und mehr Grundsubstanz als Sehnen
- In Sehnen sind die Kollagenbündel longitudinaler ausgerichtet



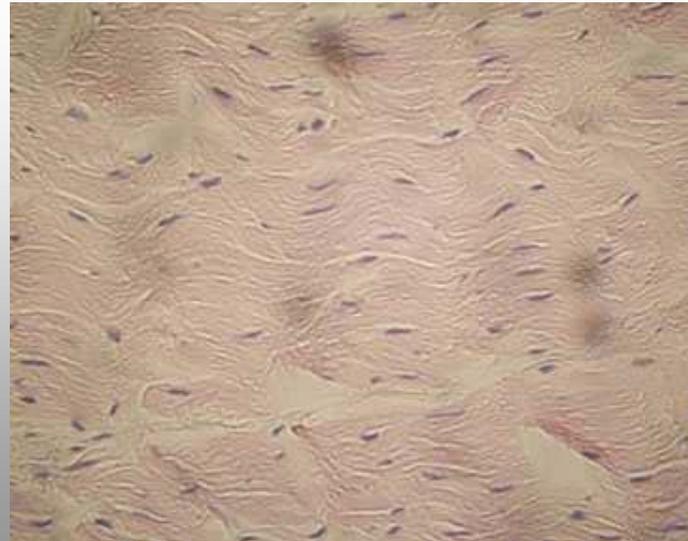
Sehne



Polarisationsmikroskopie

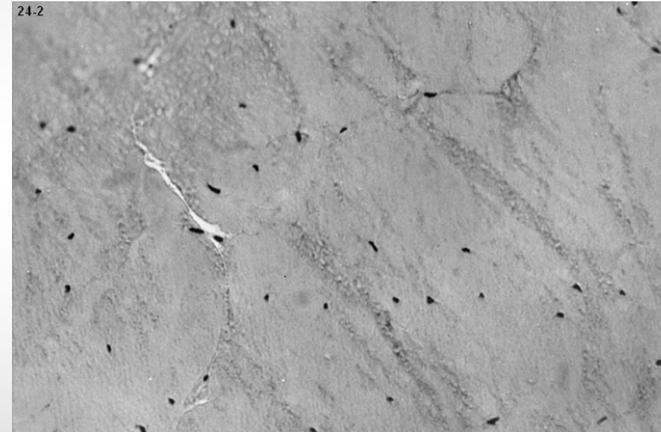
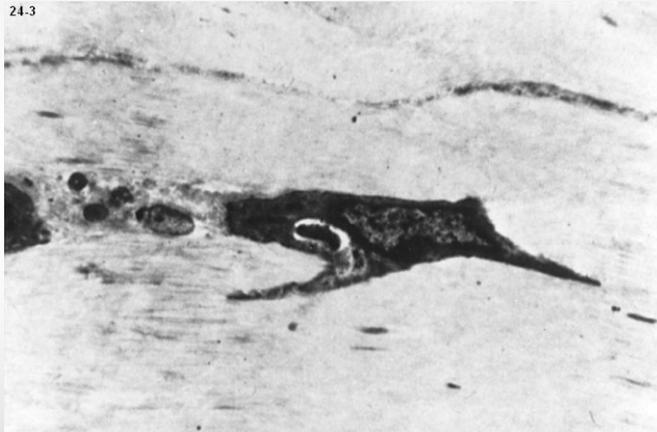
# Bänder / Sehnen

- **Bedingt durch ihre Funktion der Gelenkstabilisierung (verschiedene Raumrichtungen) sind in Bändern die Kollagenbündel in unterschiedliche Richtungen orientiert**



# Histologie

- Reihen von Fibroblasten in Bündeln
- Extrazellulärer Matrix
  - haupts. Kollagen Typ I (70% vom TG)

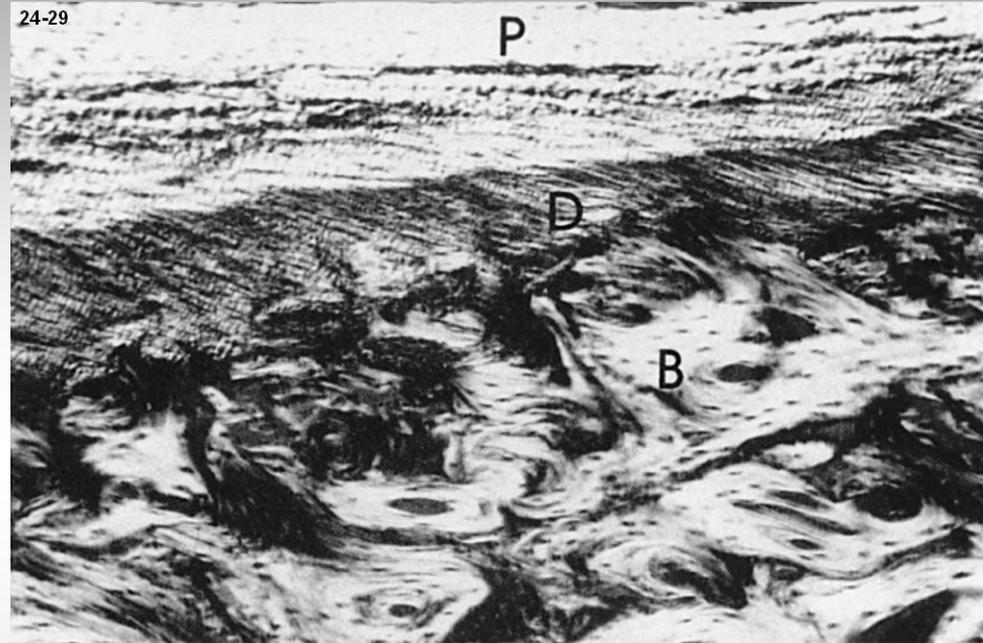


- Elastin
  - 1% vom TG
  - in einigen Bändern, wie Lig. flava et nuchae der Wirbelsäule ist Elastin der Hauptbestandteil

# Histologie

## □ Insertion

▪ indirekt



- Die oberflächliche Schichte inseriert direkt in das Periost
- Die tiefe Schichte strahlt mit Hilfe der Sharpey schen Fasern direkt in den Knochen schräg ein

# Histologie

## □ Vaskularisation



- erscheinen hypovaskular
- dennoch besteht eine homogene Microvaskularität
- geht von den Insertionen aus

# Histologie

## □ Innervation

- Propriozeption
- Nozizeption
- Schmerzfasern wurden in den Kapselbändern der Facettengelenke nachgewiesen

## □ Struktureigenschaften

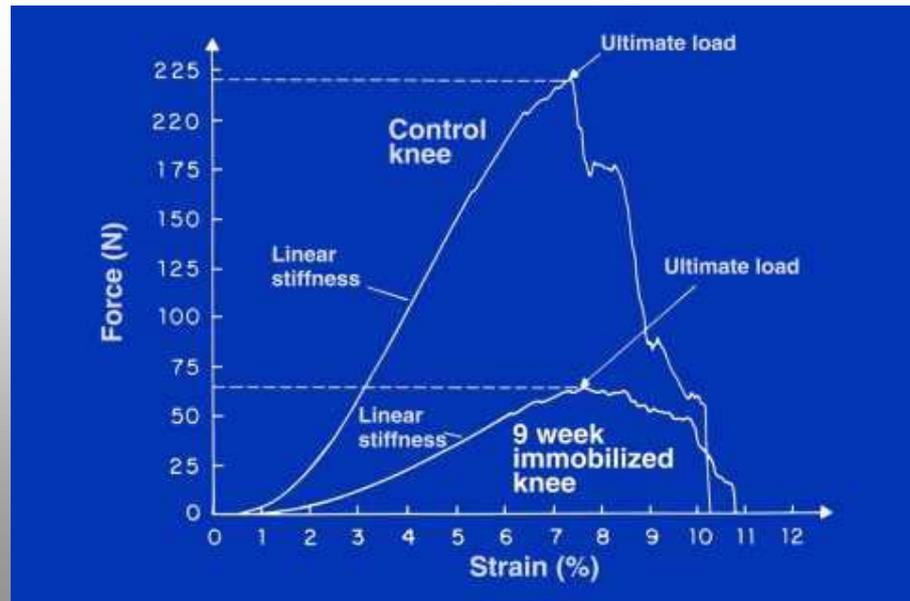
- charakterisieren den Knochen-Ligament-Knochen-Komplex –  
Belastungs/Dehnungskurve

## □ Mechanischen Eigenschaften

- charakterisieren die Eigenschaften der  
Bandstruktur selbst –  
Spannungs/Zugverhältnis

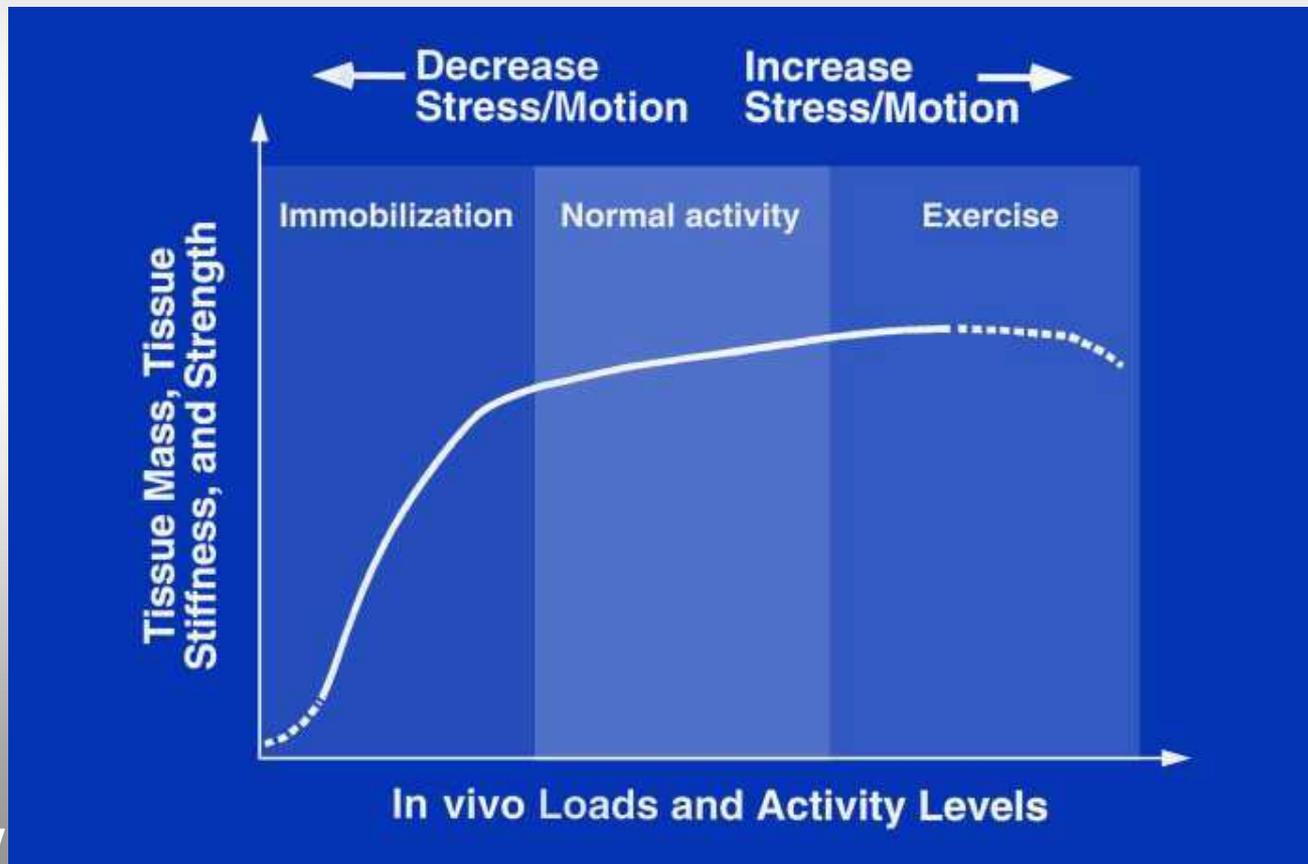
# Biomechanik

- Nach 9 Wo Mobilisierung hat das Band/ die Sehne wieder die gleichen mechanischen Eigenschaften.
- Jedoch die Maximale Belastung und absorbierte Energie des Knochen-Ligament-Knochen Komplexes liegt nach 1 Jahr bei ca 80-90%

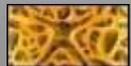


# Biomechanik

**Kann man Bänder/Sehnen auftrainieren?**  
Belastungsabhängigkeit von Training?



Woo 1997



# Heilung

## Ruptur

### ▪ Grad I (inkomplett)

- Ruptur einzelner Fibrillen
- schmerzhafter als komplette Ruptur
- druckschmerzhaft
- schmerzhaft unter Stress
- keine erhöhte Laxizität
- im MR geringe Signalerhöhung (Ödem)
- gute Prognose

# Heilung

## Ruptur

### ▪ Grad II (inkomplett)

- Ruptur ganzer Faserbündel im Ligament
- Schmerzhafter als komplette Ruptur
- druckschmerzhaft
- schmerzhaft unter Stress
- größerer Akutschmerz und Schwellung
- teilweise erhöhte Laxizität
- im MR deutliche Signalerhöhung
- meist gute Prognose, manchmal Instabilität



# Heilung

## Ruptur

### ▪ Grad III (komplett)

- Ruptur aller Faserbündel
- weniger schmerzhaft
- Hämatom und Schwellung
- deutliche Instabilität
- Im MR Enden mit einem Flüssigkeitsgefüllten Spalt
- bandspezifisch schlechtere Prognose
- knöcherner Bandausriß / bessere Prognose

# Heilung

## Ruptur

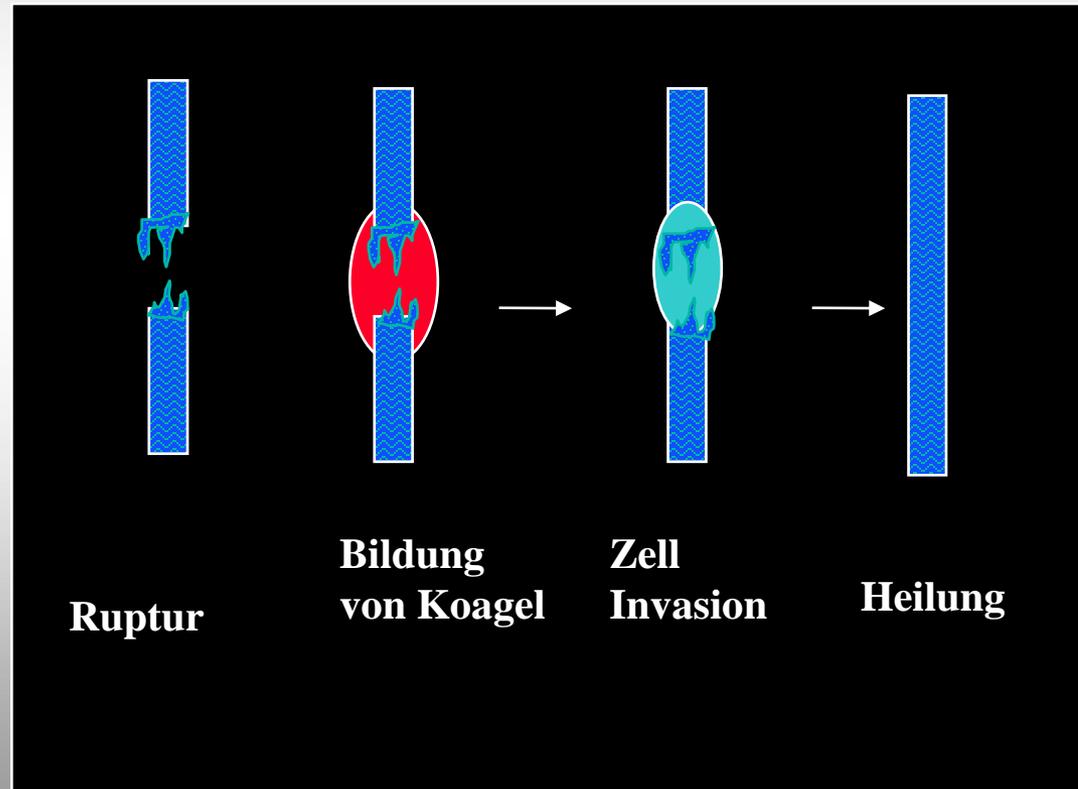
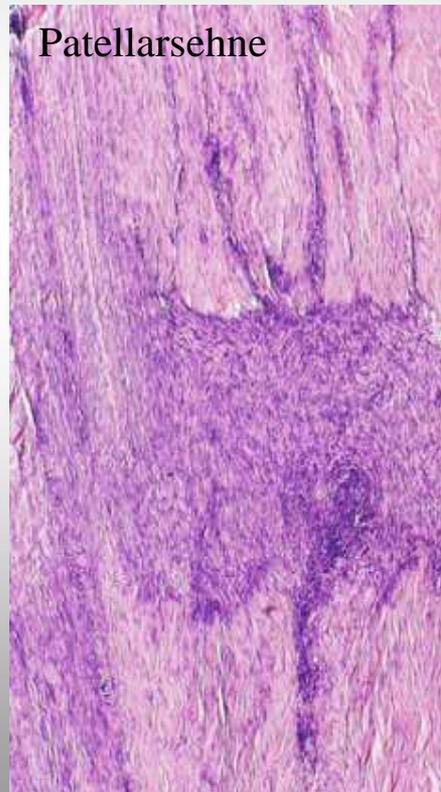
### ▪ Grad II

- Ruptur ganzer Faserbündel im Ligament
- schmerzhafter als komplette Ruptur
- druckschmerzhaft
- schmerzhaft unter Stress
- größerer Akutschmerz und Schwellung
- teilweise erhöhte Laxizität
- im MR deutliche Signalerhöhung
- meist gute Prognose, manchmal Instabilität



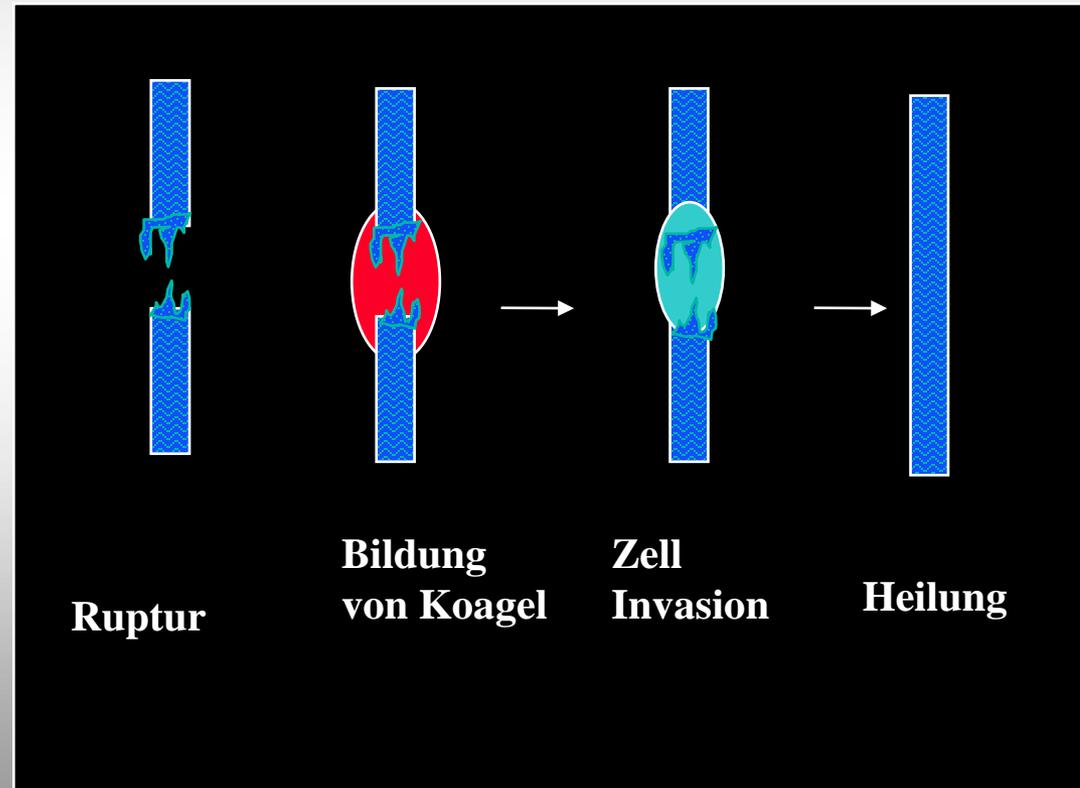
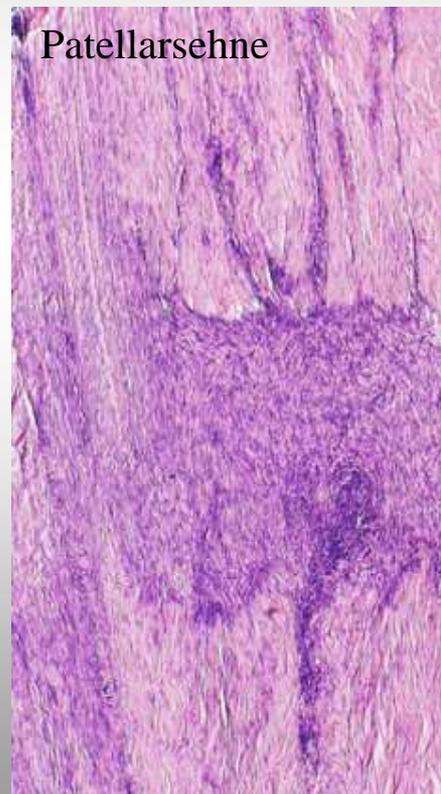
# Pathologie

- Die Bildung eines Blutkoagels nach erfolgter Bandruptur führt zur Bandreparation.



# Pathologie

Inflammationsphase – Proliferationsphase - Reparationsphase



# Pathologie

## Inflammationsphase

- in den ersten 72h
- Ruptur von Gefäßen / Einblutung
- Freisetzung von Vasodilatoren, Bradykinin, Histamin, Serotonin, Prostaglandinen
- Transudation und Einwandern von Entzündungszellen (Leukozyten, Monozyten, Makrophagen)
- Proliferation von Endothelzellen der Kapillaren
- Proliferation von Fibroblasten
- Rudimentäre Narbe aus Zellen und haupts. Kollagen Typ III



# Pathologie

## Proliferationsphase

- 6 Wochen
- Granulationsgewebe
- Organisation des Fibrinkoagels
- Kollagen Typ I wird produziert
- Anstieg von Glykosaminoglykanen
- Anstieg der mechanischen Belastbarkeit

# Pathologie

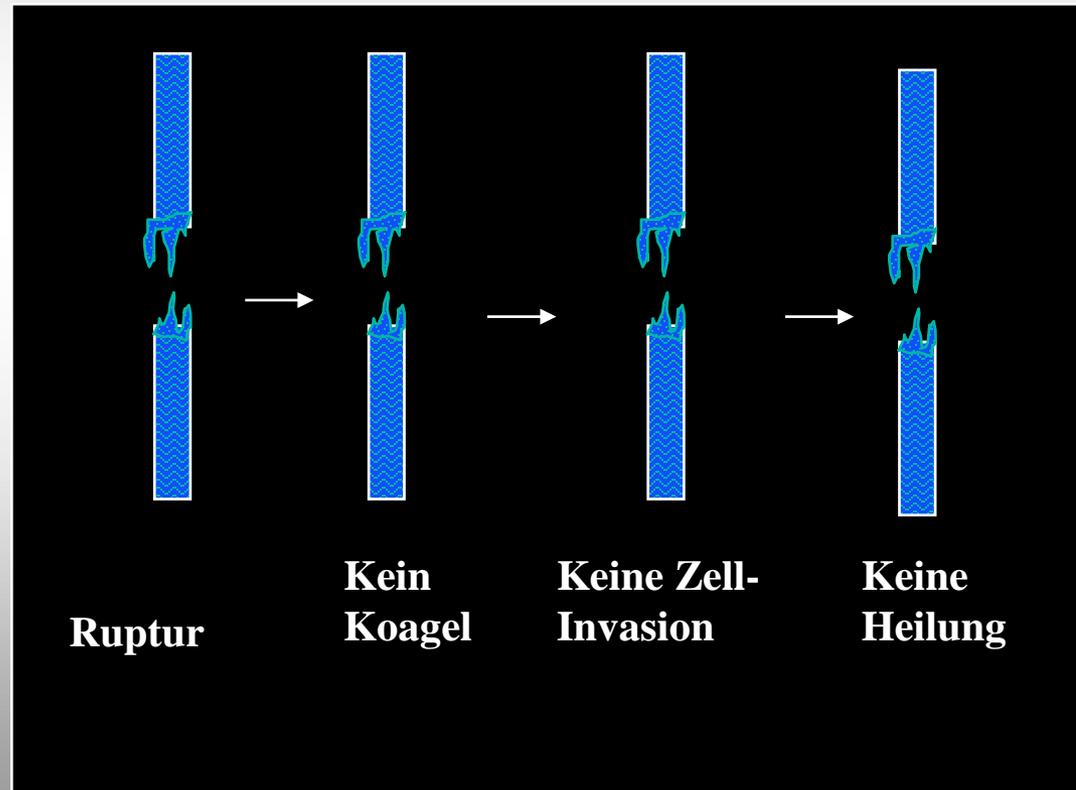
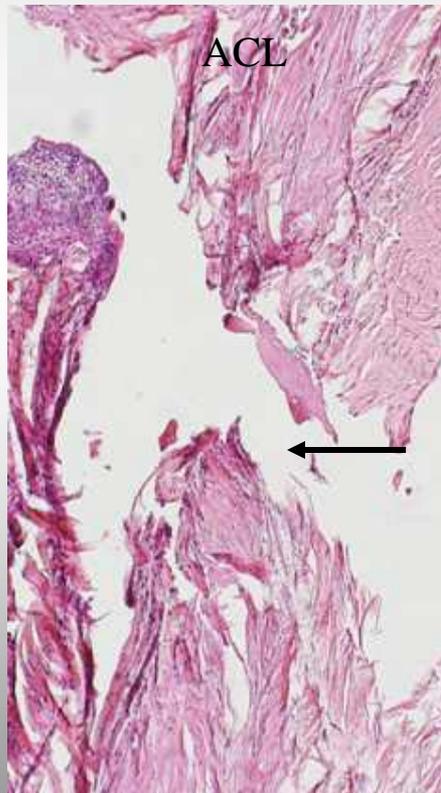
## Reparationsphase

- ca 1 Jahr
- Abnahme der Zellularität
- Abnahme der Vaskularität
- Zunahme der Kollagendichte
- Zunahme der Organisation der Kollagenfibrillen
- Abnahme der Proliferation
- Der Kollagengehalt erreicht ein Plateau nach einigen Wochen, während die Belastbarkeit weiter zunimmt (Reorganisation, Crosslinking)
- Das Band/ die Sehne bleibt jedoch hyperzellulär und etwas weniger organisiert im Vergleich zur Ausgangssituation



# Pathologie

- Wenn sich nach erfolgter Bandruptur kein Koagel bildet, wie z.B. bei vorderer Kreuzband (ACL)-Ruptur, kommt es zu keiner Bandreparation.



# Therapie

- Naht
- Autograftt
- Homograf
- Allograft
- Tissue Engineering?
- Genthherapie?



# Menisci

**Einst beschrieben als funktionslose Überreste der Beinmuskulatur, weiß man heute, daß die Menisci eine bedeutende Rolle in der komplexen Biomechanik des Kniegelenks spielen.**

# Menisci / Anatomie

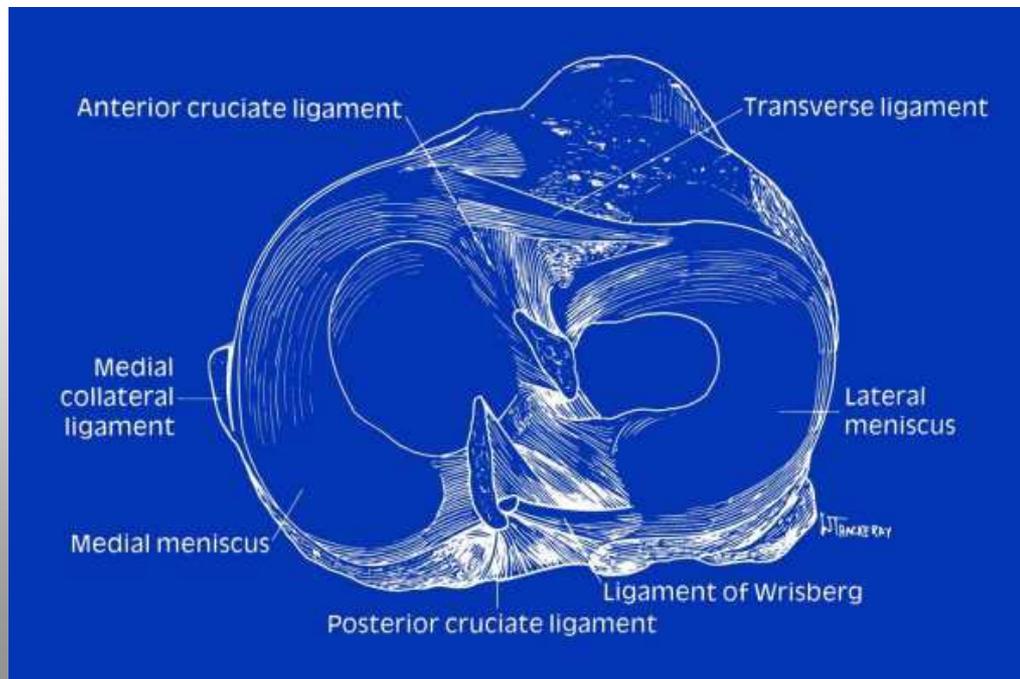
**Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen  
Tibia und Femurcondylen durch:**

- **breite konvexe Basis mit der Kapsel verwachsen**
- **konkave proximale Seite**
- **platte distale Seite**
- **flach auslaufender freier Rand**



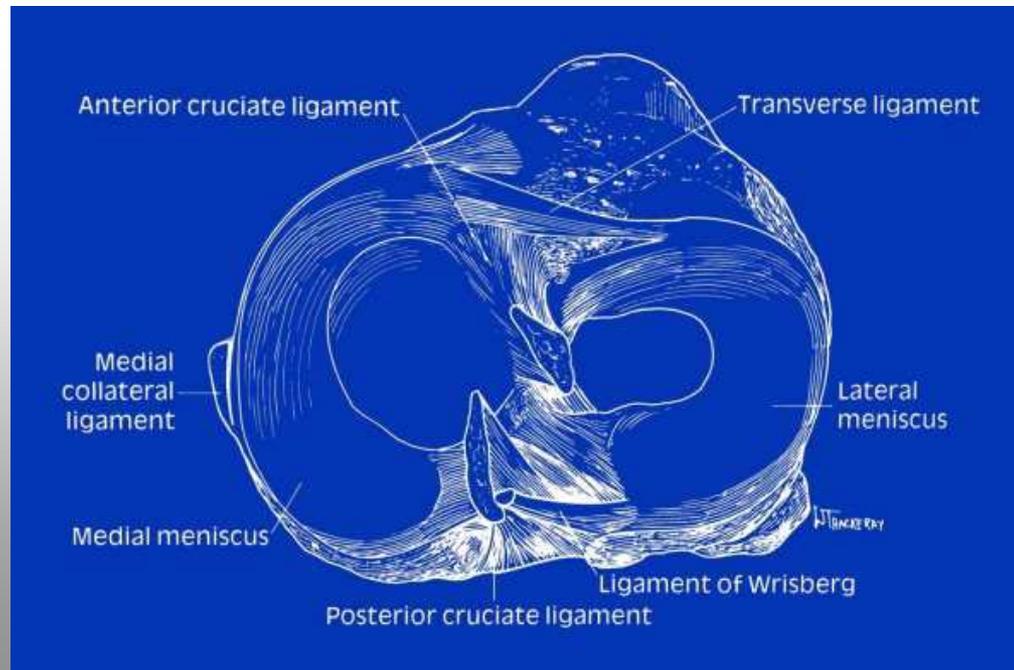
# Medialer Meniskus

- Semizirkulär
- Das Vorderhorn ist an der Tibia im Bereich der Fossa intercondylaris vor dem vorderen Kreuzband fixiert.
- Die hinteren Fasern laufen in das Ligamentum transversum aus.



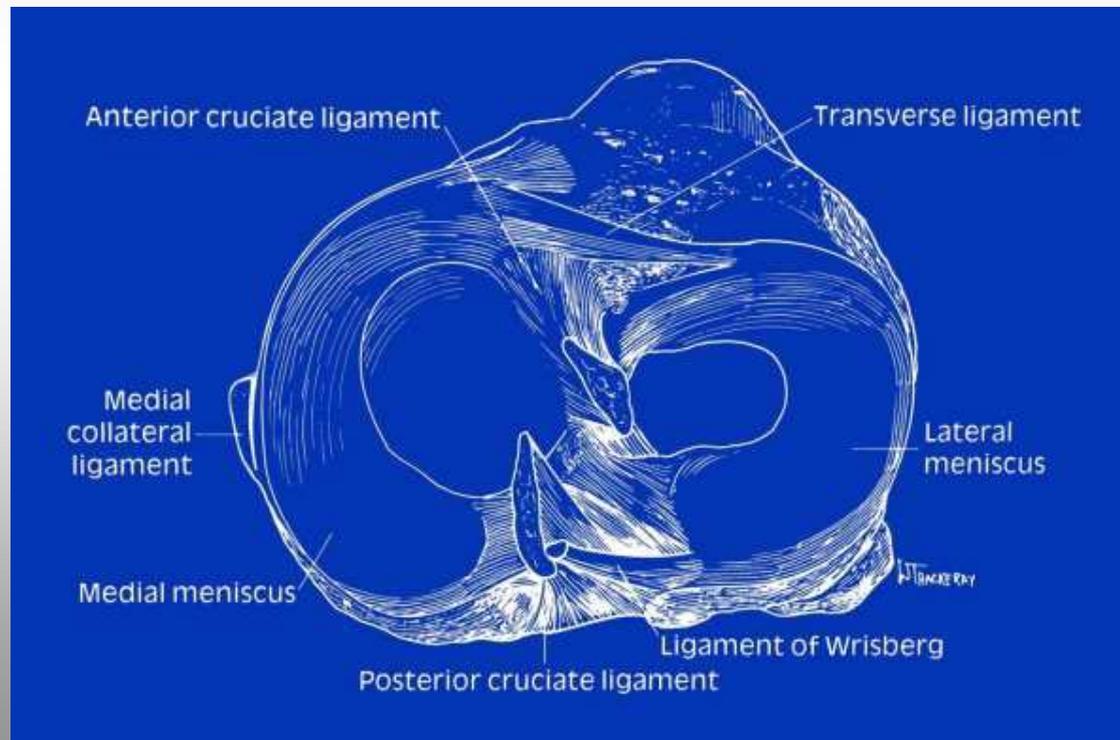
# Medialer Meniskus

- Das breitere Hinterhorn ist an der Tibia in der Fossa intercondylaris zwischen dem Ansatz des lateralen Meniskus Hinterhorns und dem des hinteren Kreuzbandes fixiert.
- Die Basis ist fest mit der Kapsel verwachsen (Lig. collaterale mediale) **→ nicht verdickt ist**



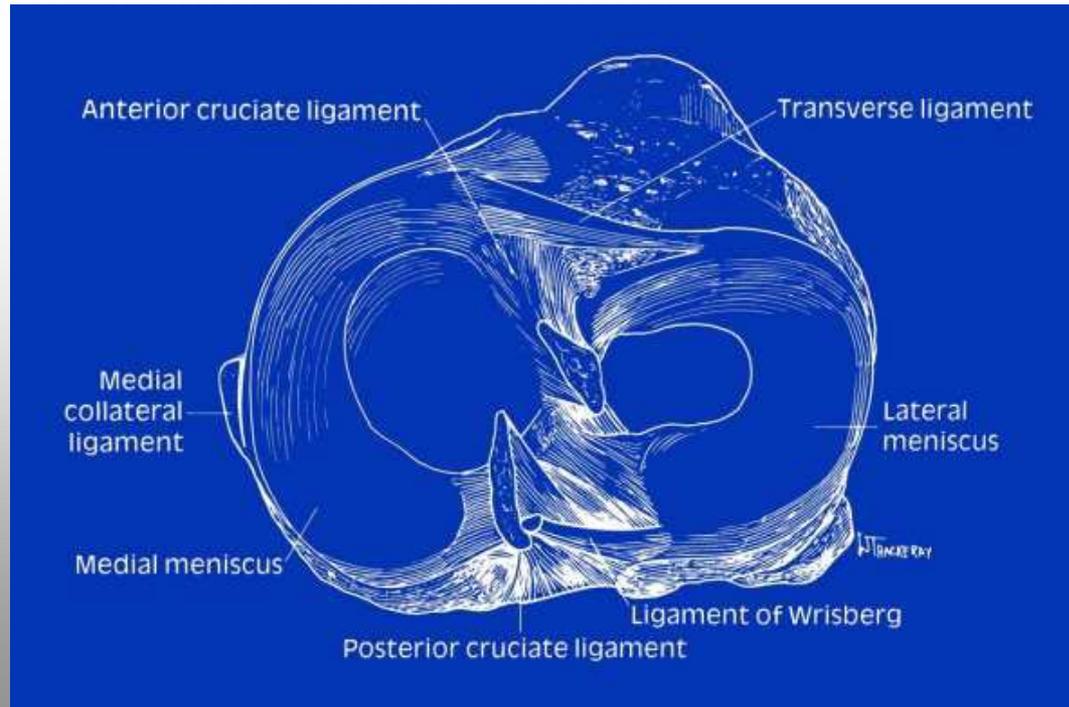
# Lateraler Meniskus

- **Circulär**
- **Bedeckt eine größere Oberfläche der Tibia als der mediale Meniskus**
- **Ist in allen Abschnitten annähernd gleich breit**



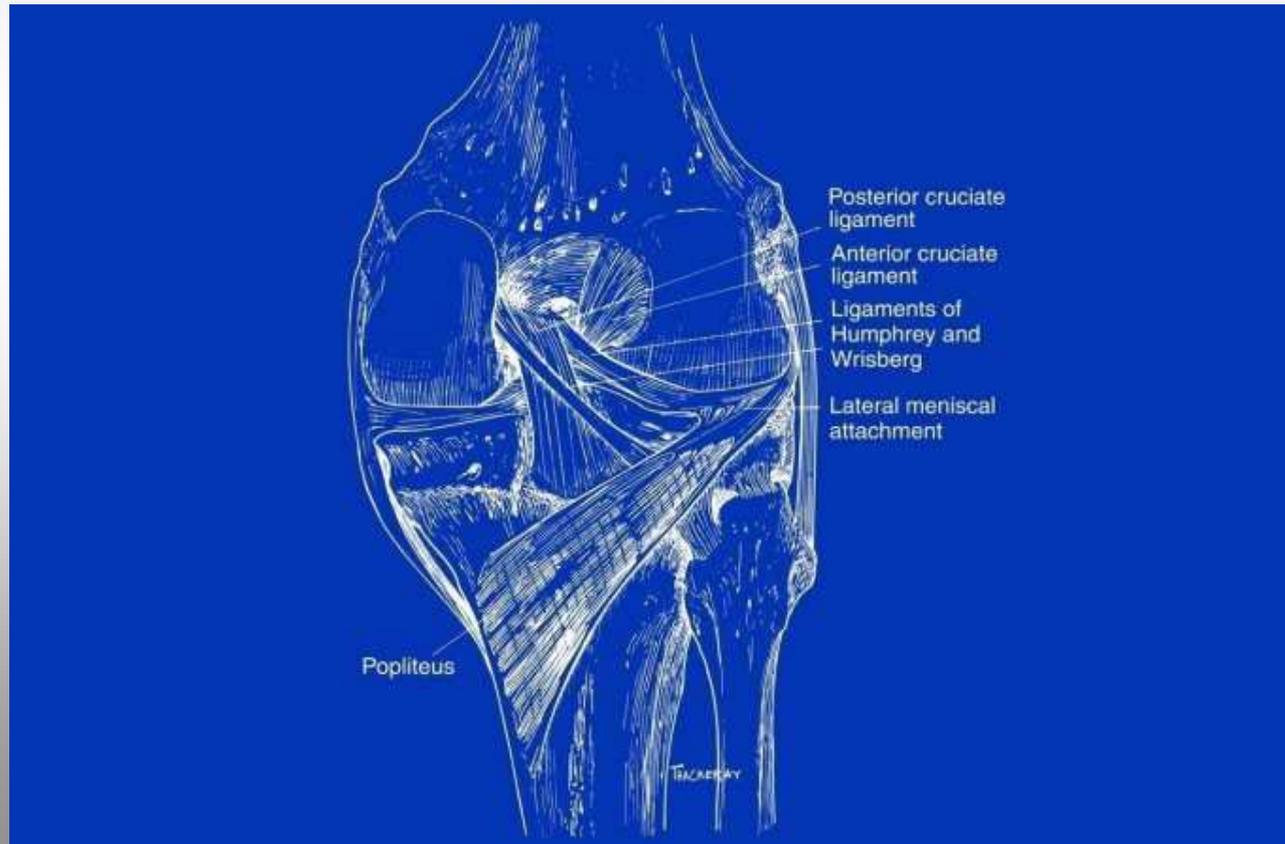
# Lateraler Meniskus

- Das Vorderhorn inseriert in der Fossa intercondylaris hinter dem vorderen Kreuzband und verschmilzt teilweise mit demselben
- Das Hinterhorn inseriert hinter der Eminentia intercondylaris vor dem Hinterhorn des medialen Meniskus



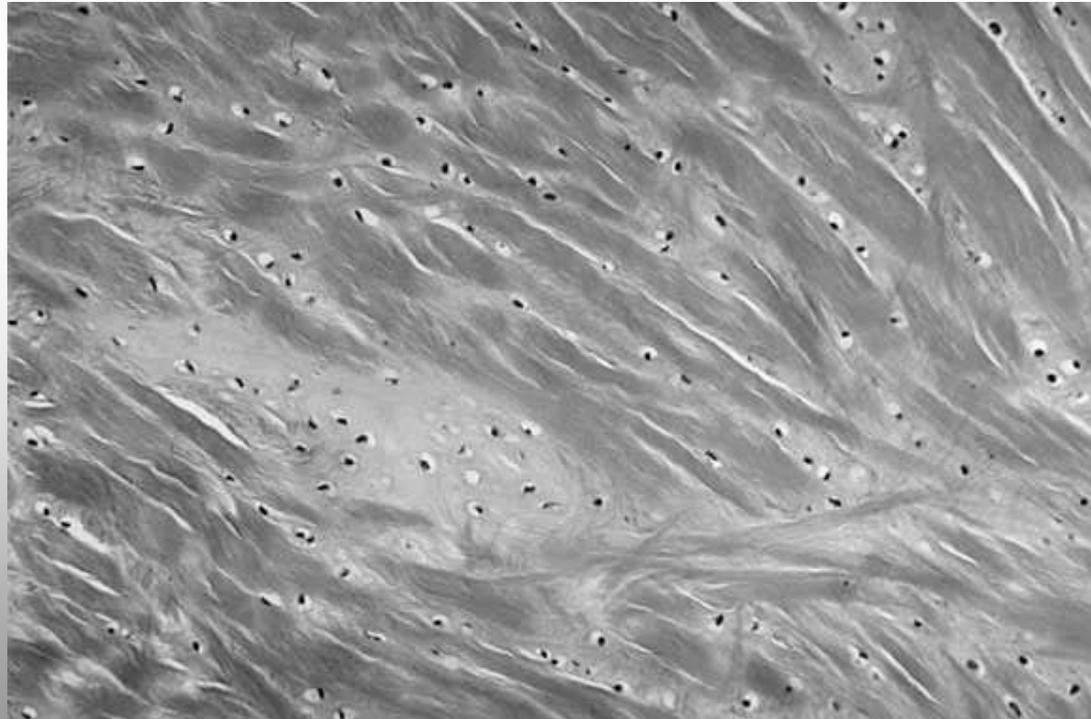
# Lateraler Meniskus

- Die Basis ist nur lose an die Kapsel und nicht an das laterale Seitenband fixiert
- Meniscofemorale Ligamente (anterior: Humphrey, posterior: Wrisberg)



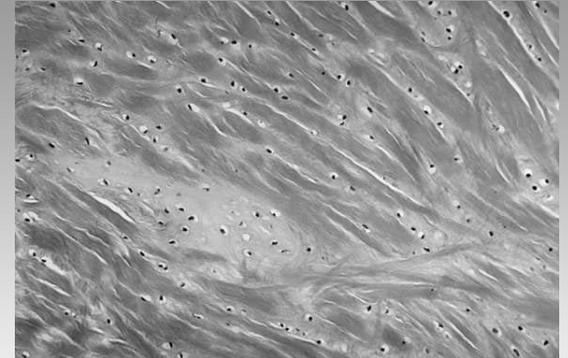
# Menisci / Histologie

- Zellen (*fusiform, polygonal*)
- Extrazelluläre Matrix:



# Menisci / Histologie

## □ Fibrochondrozyten:



### ➤ Aussehen wie Chondrozyten

- Wie Chondrozyten in avaskulärem Gewebe enthalten die Meniskuszellen als Zeichen der anäroben Glykolyse als Energiequelle viel Endoplasmatisches Retikulum und Golgi Körper und nur vereinzelt Mitochondrien.

### ➤ Produktion von fibröser Matrix

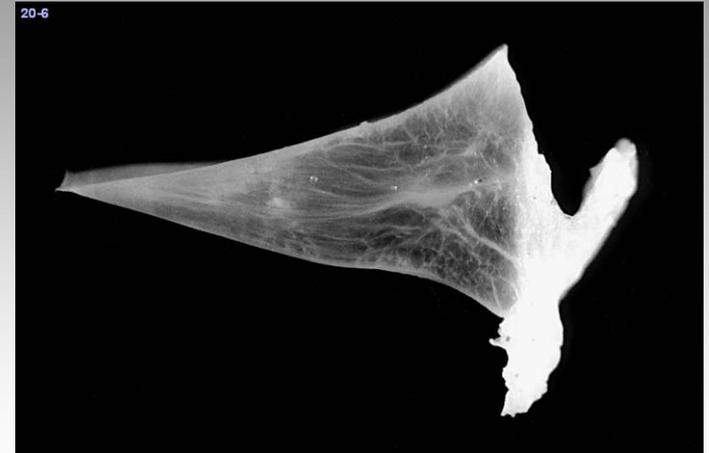
- (60-70% vom Trockengewicht)
- am meisten Kollagen Typ I
- in der inneren avaskulären Zone Kollagen Typ II
- minimal Kollagen Typ III, V, VI



# Menisci / Histologie

## □ Extrazelluläre Matrix:

- **Wasser (65-75%)**
- **Kollagenen Fasern**
- **Proteoglykane: z.B. Aggrecan zusammen mit Typ II Kollagen in der inneren Zone, binden Glycosaminoglykane)**
- **Glycosaminoglykane (GAGs): z.B. Chondroitinsulfat, Hyaluronat,**
- **Glykoproteine: 1% TG, 5% vom hyalinen Knorpel, adhäsiv stabilisieren die Proteoglykan-Glycosaminoglykan Aggregate, z.B. Fibronectin**
- **Elastin**



# Menisci / Histologie

## □ Kollagen

### ➤ Superfizielle Zone

- feine gewebte Fibrillen

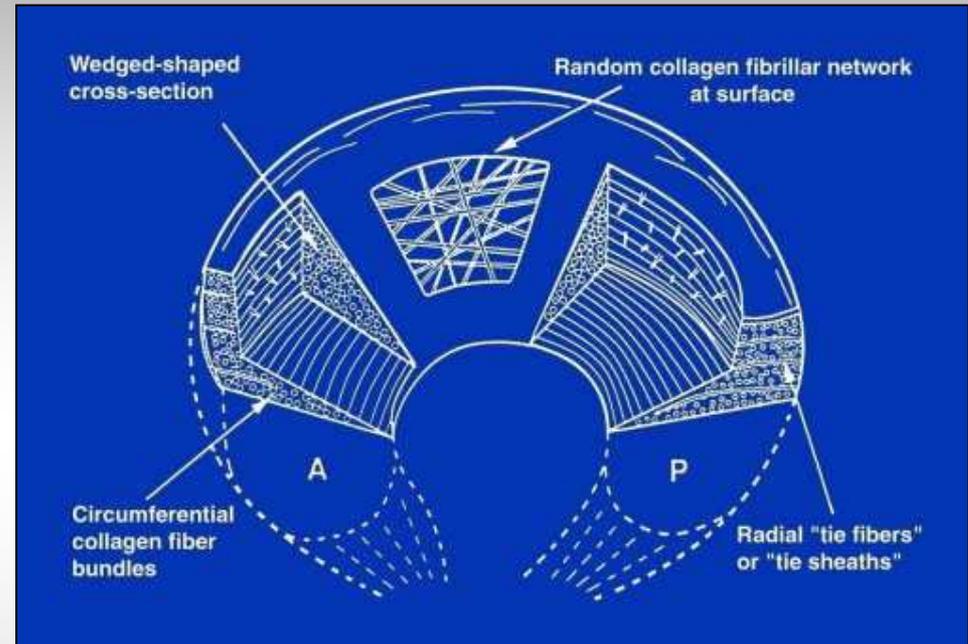
### ➤ Oberflächenzone

- irreguläre Bündel

### ➤ Innere Zone

- dickere Kollagenfasern, in parallelen Bündeln entlang der Circumferenz ausgerichtet

- in allen Schichten verlaufen einige radiäre Fasern, die longitudinale Kräfte abfangen.



# Menisci / Funktion

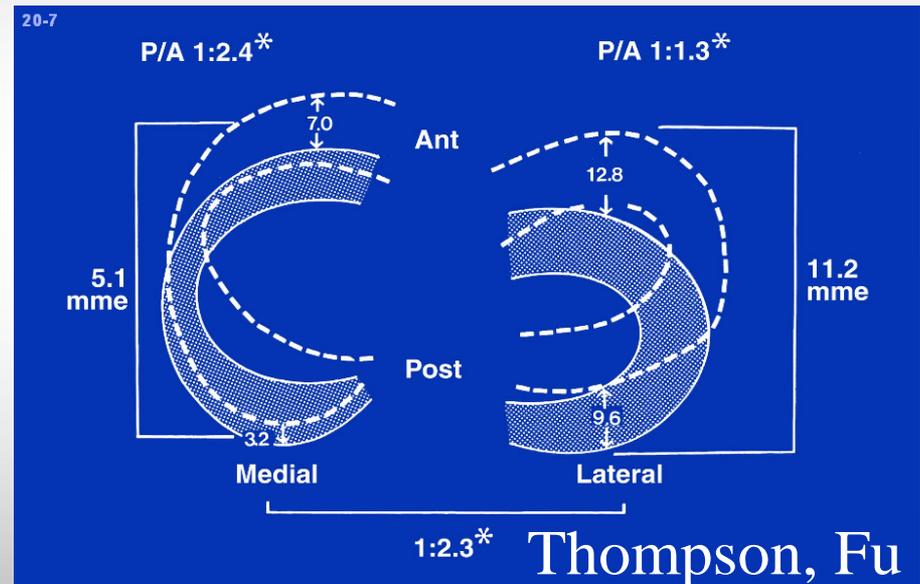
- Druckverminderung auf Gelenkflächen
- Schockabsorption
- Stabilität
- Gelenkschmierung ?
- Propriozeption ?



# Menisci / Funktion

- Druckverminderung durch Vergrößerung der Oberfläche und Anpassung an die Kongruenz der Gelenkflächen

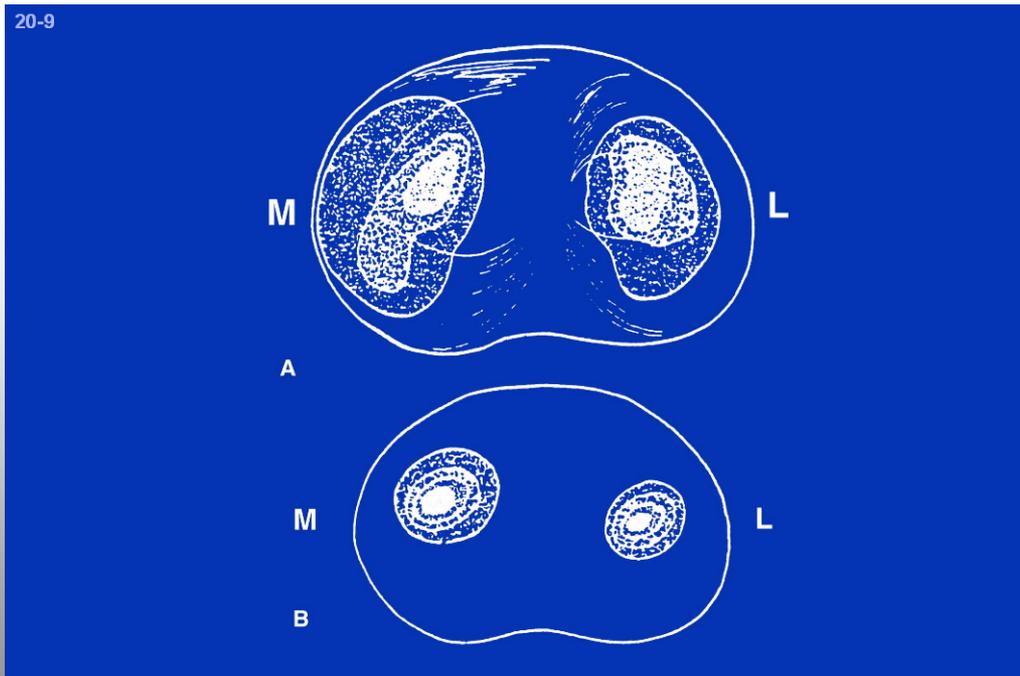
- Anterior-posterior Translation
- Deformierung



- Meiste Verformung passiert im medialen Vorderhorn mit steigender Konkavität der proximalen Fläche. (Anpassung an die steigende Konvexität des Femurkondyls in Beugung)

# Menisci / Funktion

- ❑ Mehr Gelenksfläche der Tibia wird von Meniskus bedeckt als von Femurkondylen.
- ❑ Die Gelenkskontaktfläche wird bei Meniskektomie um ca 50% reduziert.



Fukubayashi et al.

# Menisci / Funktion

- ❑ In Extension wird 50% der Kompressionsbelastung über die Menisci abgeleitet.
- ❑ In 90 Flexion ca. 85%
- ❑ Eine partielle Meniskektomie von 15-34% erhöht die lokale Druckbelastung auf den Gelenkknorpel um mehr als 350%



# Menisci / Funktion

## □ Gelenkschmierung ?

- Durch erhöhte Kongruenz bessere Verteilung der Synovia

## □ Propriozeption ?

- Ruffini Endungen
- Golgi Körper
- Pacinische Körperchen
- Vor allem in den Hinterhörnern

# Reparation

- 1885 Annandale T. erste chirurgische Refixation eines Meniskus.
- 1936 King D. Ersten Tierversuch zur Ergründung der biologischen Meniskusreparation.
- Reparation ist abhängig von der Durchblutung des Gewebes und von der Blutkoagelbildung im Defekt.



# Reparation

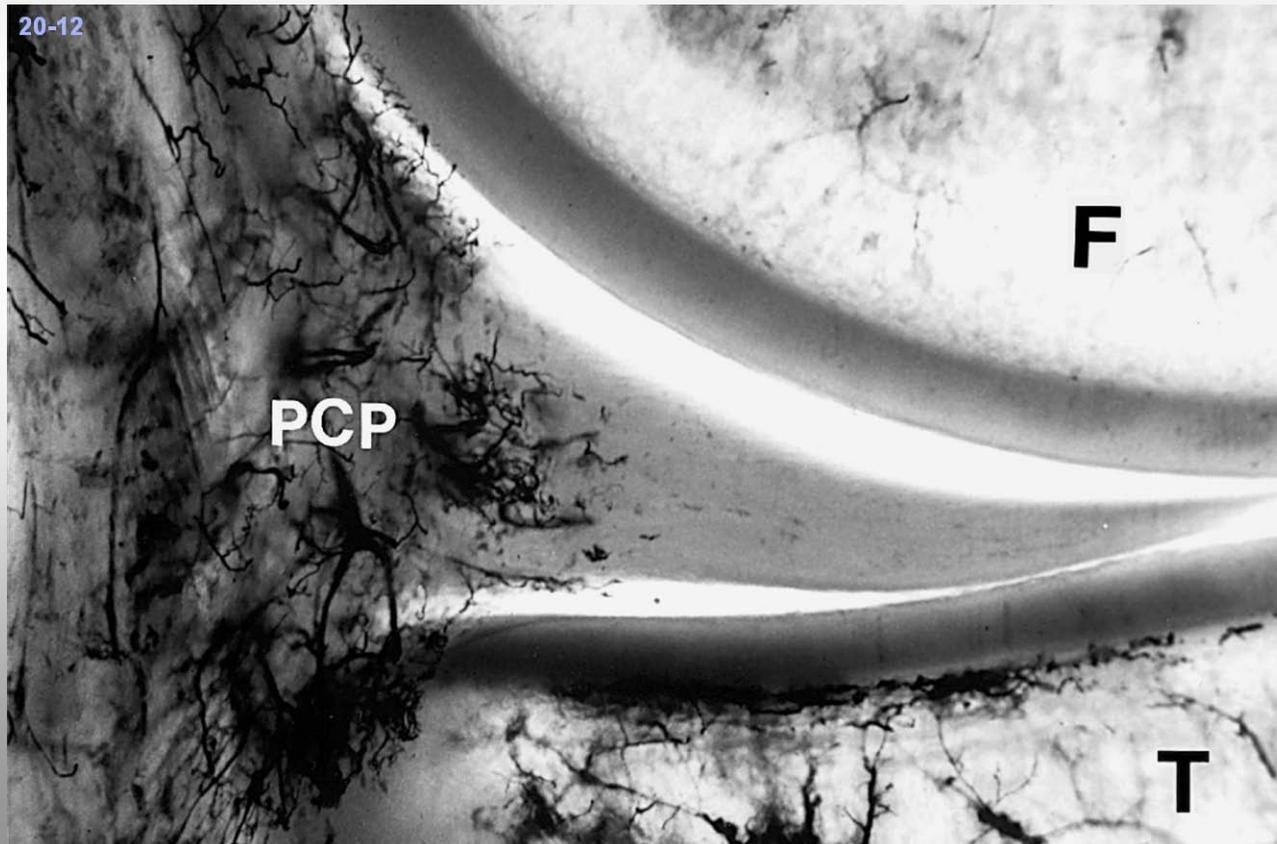
□ Arteria genu medialis et lateralis superior et inferior

➤ zirkulär orientiert mit radiären Ästen

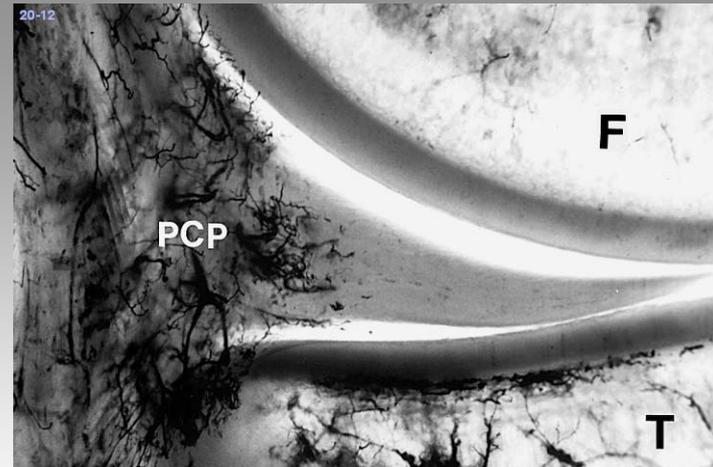


# Reparation

- 10-30% der Meniskusbreite ist kapillarisiert
- Die Ernährung des inneren Teiles erfolgt durch Diffusion oder Pumpwirkung



# Reparation



## Rot-rot Zone

- Ausriß aus der Kapsel: funktionelle Blutversorgung auf der Kapsel und Meniskusseite – gute Prognose

## Rot-weiß Zone

- Meniskusrand: funktionelle Blutversorgung nur an der Außenseite – eine Reparation sollte stattfinden

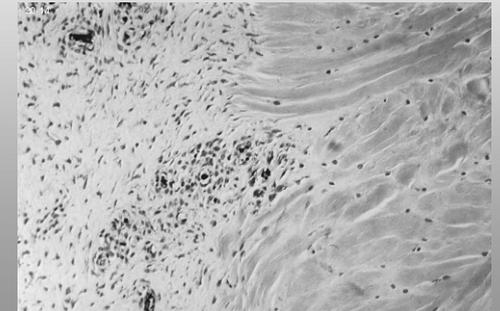
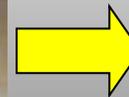
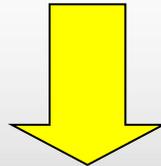
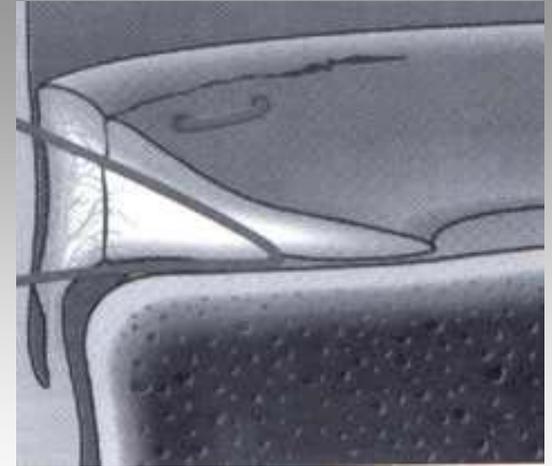
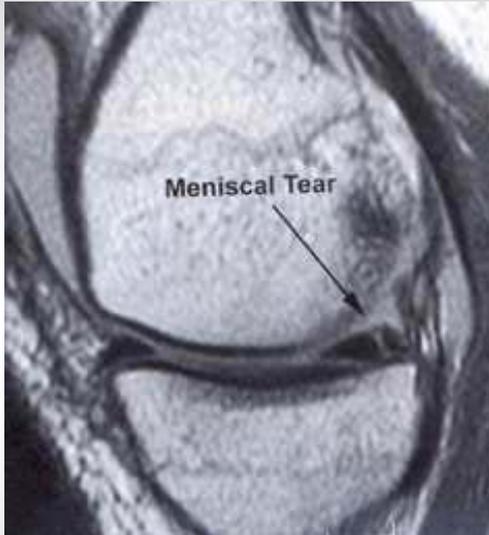
## Weiß-weiß Zone

- In der avaskulären Zone: keine Reparation?



# Therapie

## □ Meniskusnaht



# Therapie

□ Meniskusteilresektion



□ Meniskusresektion

in bis zu 83% minderwertiges  
Regenerat - ARTHROSE!



**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit**

