

---

# Allgemeine Anatomie III

## Gelenke, Muskel

---

David P. Wolfer

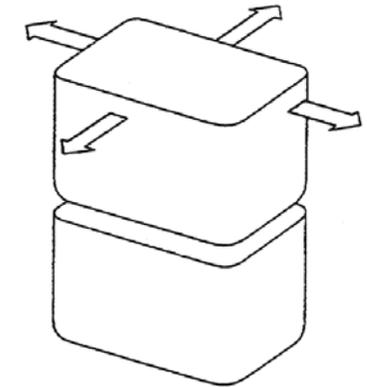
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich

Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

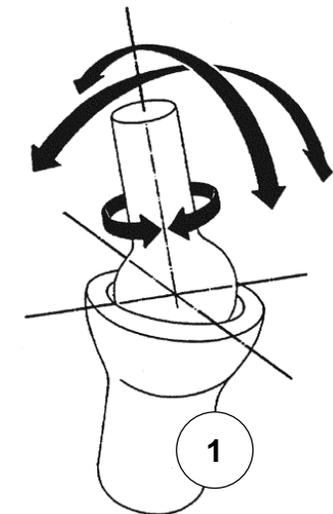
376-0905-00 Funktionelle Anatomie, Di 03.03.2020 15:00-16:45 Y15-G40

# Systematik der Diarthrosen, Kugelgelenk

- 2 Gelenkskörper → einfaches Gelenk
- >2 Gelenkskörper → zusammengesetztes Gelenk, 1 oder getrennte Gelenkshöhlen
- Theoretische maximale Freiheitsgrade (FG) freier Bewegung
  - 3 Rotationsfreiheitsgrade (3 zueinander senkrechte Achsen):  
konvex-konkave Gelenkflächen, Rotation bei meisten Gelenken für Bewegungsumfang bestimmend, je nach Gelenktyp 0-3 FG biomechanisch realisiert
  - 3 Translationsfreiheitsgrade (3 zueinander senkrechte Richtungen):  
in Translationsrichtung plane Gelenkflächen, 0-2 FG biomechanisch realisiert
- 7 Gelenktypen: Geometrie und Anatomie
  - Einschränkung der Bewegung:  
artikulär: knöcherner und Bandführung, Teil eines zusammengesetzten Gelenks;  
extraartikuläre Faktoren: behindernde Weichteile, fehlende Muskelkraft
  - geometrische Modelle und Gelenktypen nur Annäherung an effektive Biomechanik
  - theoretisch «unmögliche» Bewegungen teilweise biologisch möglich: Gelenkknorpel deformierbar, bewegliche Disci articulares / Menisken, Bandführung mit Spiel
- 3 Rotations-Freiheitsgrade
  - Kugelgelenk: max. 3 FG Rotation aber keine Translation
  - Kopf: kugelförmig, konvex; Pfanne: kugelförmig, konkav
  - Effektiv 3 FG: Schultergelenk, Hüftgelenk. Effektiv 2 FG: Humeroradial-, Finger- und Zehengrundgelenke. Effektiv 1 FG: vordere Abteilung unteres Sprunggelenk



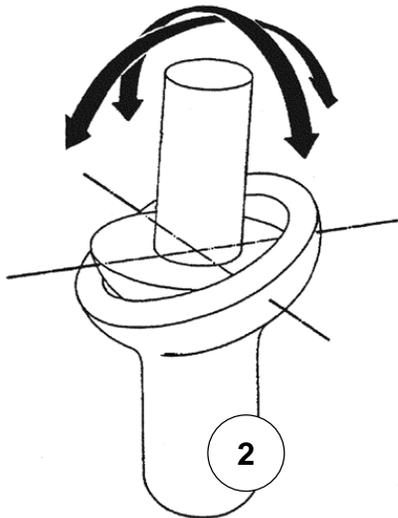
⇨ Translation  
↻ Rotation



# Diarthrosen mit 2 Rotationsfreiheitsgraden

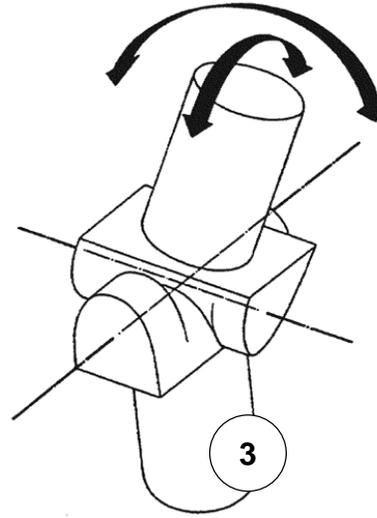
- **Eigelenk**

- keine Translation, keine Rotation um Längsachse
- Kopf und Pfanne eiförmig (Ellipsoid), deformierbar
- Radiokarpalgelenk, Atlantookzipitalgelenk



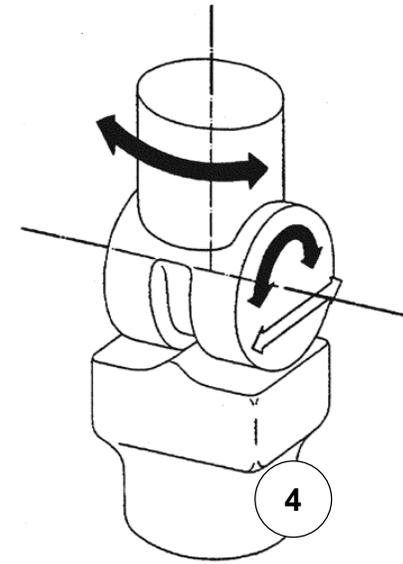
- **Sattelgelenk**

- keine Translation
- Kopf und Pfanne über Kreuz konvex-konkav
- Daumensattelgelenk (zusätzliche leichte Rotation für Opposition des Daumens nur dank lockerer Bandführung möglich)



- **bikondyläres Gelenk**

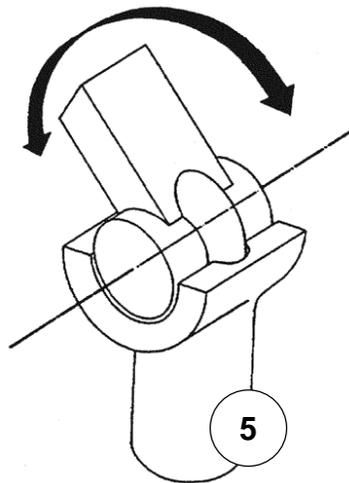
- max. 1 FG Translation
- 2 Kondylen = Gelenkrollen, 2 napfförmige flache Pfannen, typisch mit Gelenkscheiben
- 2 Kammern: Kiefergelenk, 1 Kammer: Kniegelenk (Translation nur gekoppelt an Rotation)



# Diarthrosen mit 1 Rotationsfreiheitsgrad

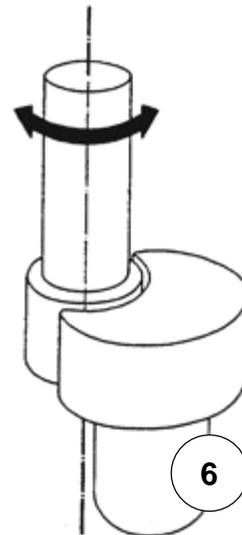
- Scharniergelenk

- Translation verhindert durch Gelenkform und Bandapparat
- Kopf (Trochlea) annähernd walzenförmig, Pfanne bildet Rinne
- Humeroulnargelenk, Interphalangealgelenke, oberes Sprunggelenk, hintere Abteilung unteres Sprunggelenk



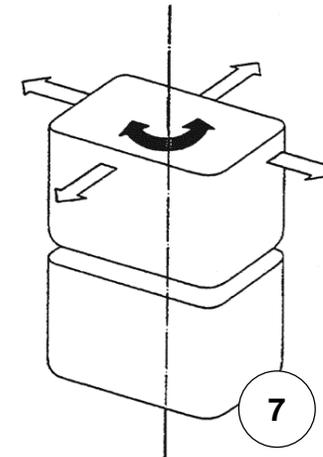
- Rad- = Zapfengelenk

- Translation verhindert durch Bandapparat
- Kopf rad- oder zapfenförmig, Rotation um Längsachse
- proximales und distales Radioulnargelenk, Atlantoaxialgelenk



- Planes Gelenk

- max. 2 FG Translation, max. 1 FG Rotation
- $\pm$  plane Gelenkfläche
- Facettengelenke der Wirbelsäule, Femoropatellargelenk (Rotation blockiert, aktiv nur 1 FG Translation)



# Skelettmuskelfaser

## • Entwicklung

- Muskelstammzellen (Pax7) im Somiten-Myotom (Innervation durch Spinalnerven) und Schlundbogen-Mesenchym (Innervation durch Hirnnerven) → Myoblasten (Myf5, MyoD): Proliferation, Migration
- Myoblasten → Myozyten (MyoD, Myogenin, Mrf4) → Fusion zu Myotuben (Synzytium) → Bildung von Myofibrillen (Querstreifung ab 13 SSW) → Skelettmuskelfaser = zelluläre Einheit des Skelettmuskels, definitive Zahl mit Geburt, bzw spätestens im 1. Lebensjahr erreicht
- Pax7: muskelstammzell-spezifischer Transkriptionsfaktor
- Myf5, MyoD, Myogenin, Mrf4: muskel-spezifische Transkriptionsfaktoren

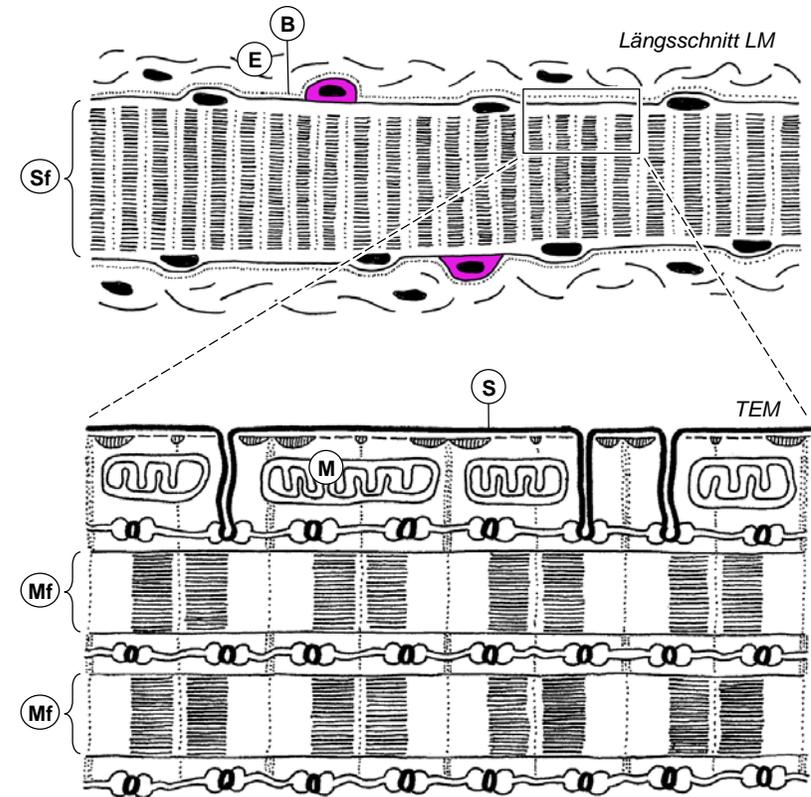
## • Morphologie

- Faser  $\varnothing$ 10-100  $\mu$ m x Länge bis 10 cm, Basallamina
- ca 85% Sarkoplasma = Myofibrillen
- 50/mm Faserlänge platte Zellkerne peripher unter Sarkolemm

## • Satellitenzellen

- ruhende Muskelstammzellen (Pax7), zwischen Sarkolemm und Basallamina, 2-15% der Zellkerne, wesentlich weniger in schnellen Fasern und mit Alter
- Aktivierung → asymmetrische Teilung → Populationserhalt und Produktion von Myoblasten & Myozyten → Fusion mit Muskelfasern für Hypertrophie und Reparatur, Fusion untereinander → Myotuben → Muskelfaserersatz: hohes Potential für Regeneration & Reparatur, nimmt mit Alter stark ab

Sf	Skelettmuskelfaser	E	Endomysium
Mf	Myofibrille	B	Basallamina
		S	Sarkolemm
		●	Zellkerne
		M	Mitochondrien



# Myofibrille

- Sarkomer

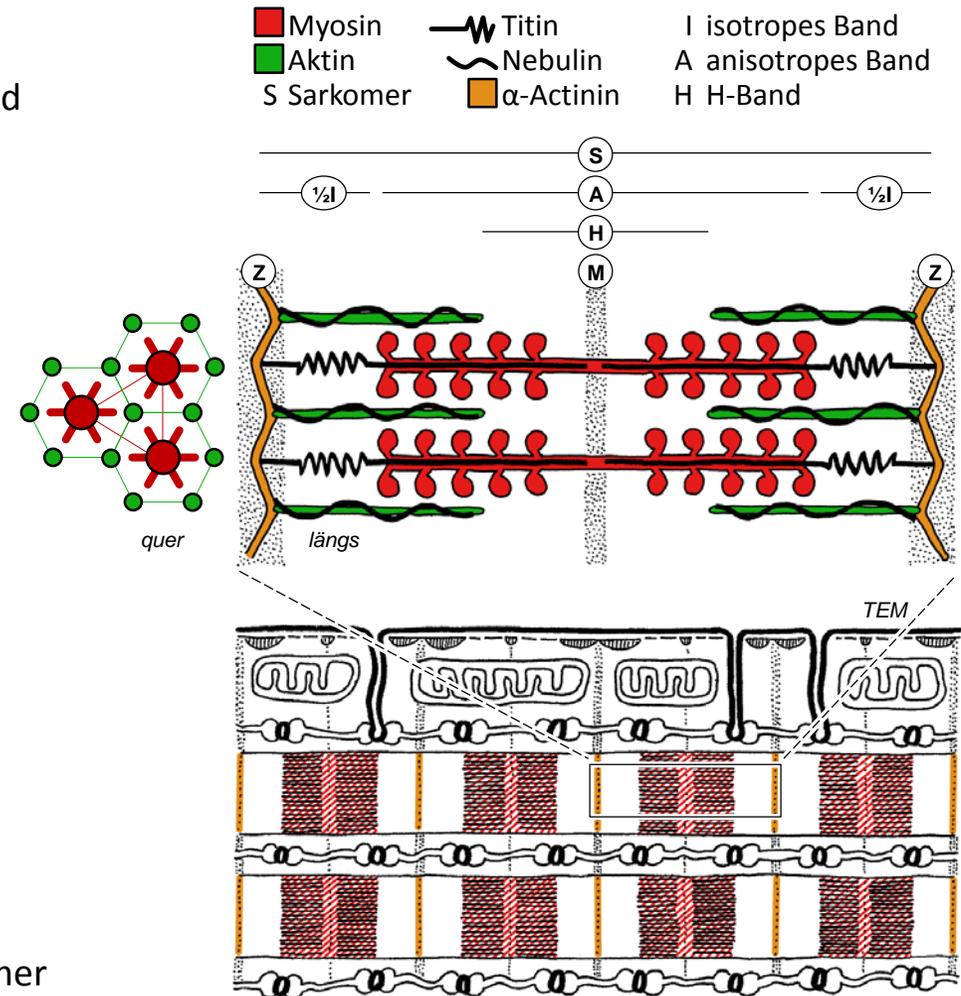
- repetierte Grundeinheit der Myofibrille, zwischen Z-Scheiben, regelmässige Anordnung der Filamente → Querstreifung: A/H/I Band
- Aktinfilamente (7nm x 1µm) ↔ Myosinfilamente (15nm x 1.5µm), Verhältnis am Querschnitt 6 Aktin : 3 Myosin
- Myosin: 300 Schwänze → Filament, Köpfe → Kontakt mit Aktin
- Aktin verankert in Z-Scheibe (α-Actinin, Cap Z), stabilisiert durch Nebulin-Filamente
- Myosin verankert und querverbunden in M-Scheibe
- Titin: 10% Muskelprotein, superdünne Filamente >30,000 AS, Rückstellfeder und Überdehnungsbremse für Sarkomer

- Myofibrille

- Durchmesser 0.5-1µm, 2500-3500 pro Skelettmuskelfaser
- so lang wie Skelettmuskelfaser, bis ca. 35,000 Sarkomere in Serie

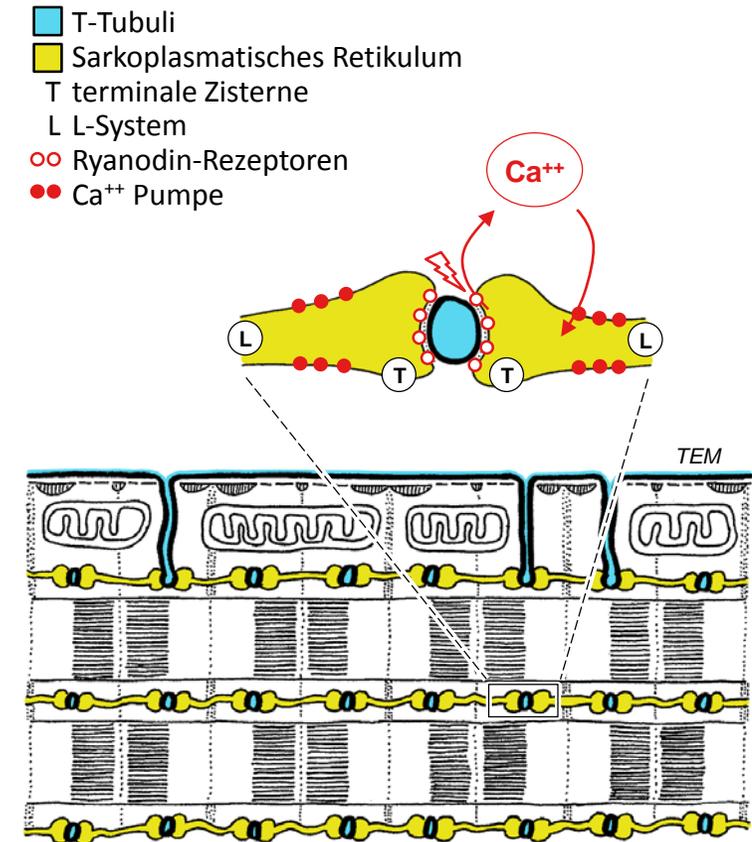
- Kontraktion

- Aktin durch Bewegung der Myosinköpfe zwischen Myosin-Filamente zum M-Streifen hin gezogen: A-Band behält seine Breite, I-Band und H-Band werden schmaler
- max Verkürzung um 40%, 3.3 → 2.0µm: Hubhöhe 1.3µm pro Sarkomer



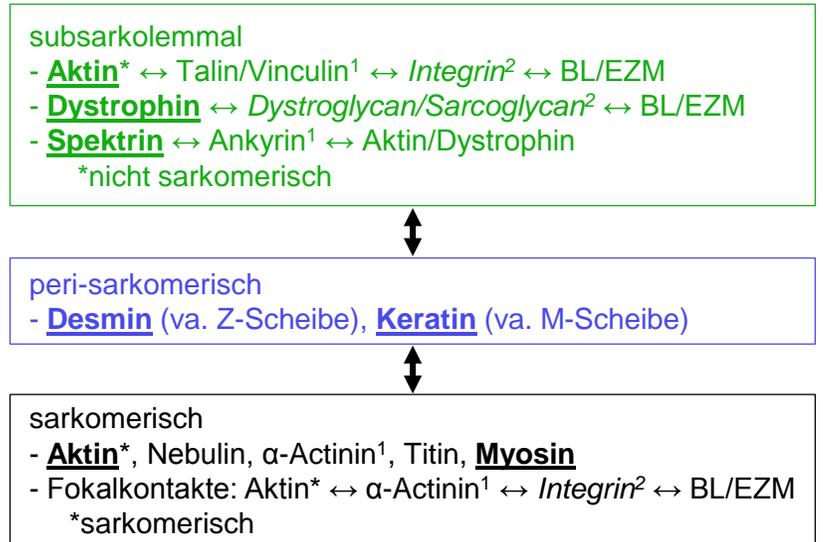
# Elektromechanische Koppelung

- Elektromechanische Koppelung
  - Erregung (Aktionspotential am Sarkolemm) → Kontraktion (1 Zuckung pro Aktionspotential, tetanische Kontraktion bei hoher Frequenz)
- T-Tubuli
  - tubuläre Einsenkungen des Sarkolemms
  - umgeben Myofibrille am A-I Übergang
  - leiten Aktionspotential vom Sarkolemm in Faser hinein
- Sarkoplasmatisches Retikulum
  - vom endoplasmatischen Retikulum abgeleiteter intrazellulärer  $\text{Ca}^{++}$  Speicher
  - 2 Terminale Zisternen begleiten T-Tubuli zirkulär um Myofibrille: Triade
  - L-System longitudinal, verbindet terminale Zisternen
  - Ryanodin Rezeptoren: spannungsgesteuerter  $\text{Ca}^{++}$  Kanal in terminaler Zisterne, aktiviert durch Depolarisation des T-Tubulus
  - Tropomyosin blockiert in Ruhe Bindung von Myosin an Aktin, Freigabe durch  $\text{Ca}^{++}$  Bindung an Troponin C → Kontraktion
  - $\text{Ca}^{++}$  Pumpen im L-System: sofortige Wiederaufnahme des  $\text{Ca}^{++}$



# 3 Zytoskelettsysteme der Skelettmuskelfaser

- **subsarkolemmal = kortikal**
  - speziell ausgebautes Membranskelett mit 3 Filamentsystemen
  - reifenartige Verstärkung va des Aktin-Netzwerks: starker Doppelreifen um Z-Scheibe (Costamere), feiner Reifen um M-Scheibe
  - geordnetes Plissieren des Sarkolemmms bei Kontraktion, laterale Kraftübertragung auf Basallamina und extrazelluläre Matrix
- **perisarkomerisch**
  - Schlingen um Myofibrillen, Brückenbildung zwischen Myofibrillen, Verbindung zwischen Myofibrillen und subsarkolemmalem Zytoskelett
  - Ausrichtung der Myofibrillen, intrazelluläre Kraftübertragung
- **sarkomerisch (Myofibrille)**
  - Zytoskelettproteine, die Myofibrillen aufbauen
  - Krafterzeugung für Kontraktion
  - endständiges sarkomerisches Aktin: Kraftübertragung von Fibrillenende auf Basallamina und extrazelluläre Matrix via Fokalkontakte
- **Duchenne-Muskeldystrophie**
  - Mutation im Gen für Dystrophin (X-Chromosom)
  - insuffizientes kortikales Zytoskelett, ev. auch Dysfunktion der Satellitenzellen → Faserdegeneration, Muskelschwund



<sup>1</sup>Adaptorproteine, <sup>2</sup>Transmembranproteine

