
Allgemeine Anatomie III

Gelenke, Muskel

David P. Wolfer

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

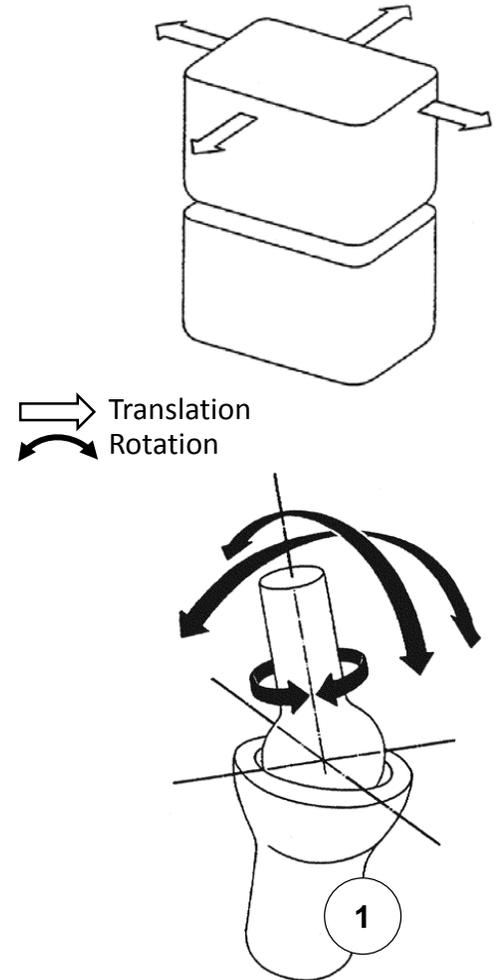
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates

Di 06.03.2018

Systematik der Diarthrosen, Kugelgelenk

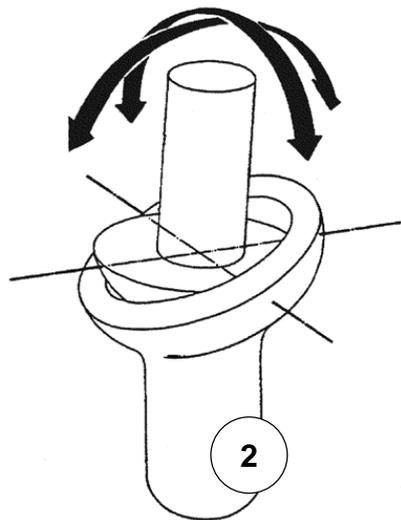
- Theoretische maximale Freiheitsgrade freier Bewegung
 - 3 Freiheitsgrade Rotation (3 zueinander senkrechte Achsen):
konvex-konkave Gelenkflächen, Rotation bei meisten Gelenken für Bewegungsumfang bestimmend
 - 3 Freiheitsgrade Translation (3 zueinander senkrechte Richtungen):
in Translationsrichtung plane Gelenkflächen, in Gelenk maximal 2 Freiheitsgrade realisierbar
- 7 Gelenktypen: Geometrie und Anatomie
 - geometrische Modelle und Gelenktypen nur Näherung
 - Einschränkung der Bewegung:
knöcherner und Bandführung; extraartikuläre Faktoren: behindernde Weichteile, fehlende Muskelkraft, zusammengesetzte und verbundene Gelenke
 - theoretisch «unmögliche» Bewegungen z.T. 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
 - Schultergelenk, Humeroradialgelenk, Fingergrundgelenke, Hüftgelenk, Zehengrundgelenke



Diarthrosen mit 2 Rotationsfreiheitsgraden

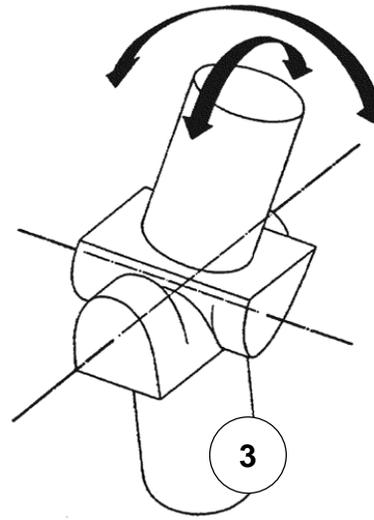
- Eigelenk

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



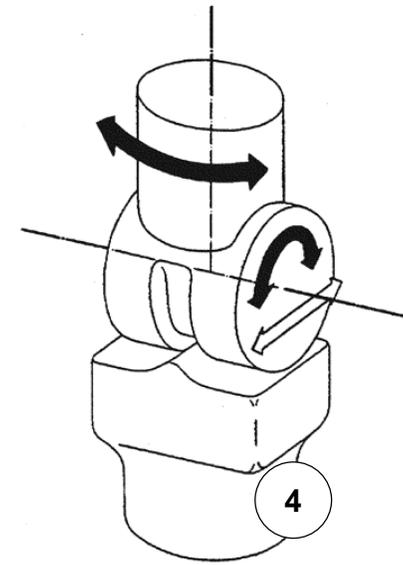
- Sattelgelenk

- keine Translation
- Kopf und Pfanne über Kreuz konvex-konkav
- Daumensattelgelenk, 3. Rotationsachse: geringe Bewegung durch lockere Bandführung



- Kondylengelenk

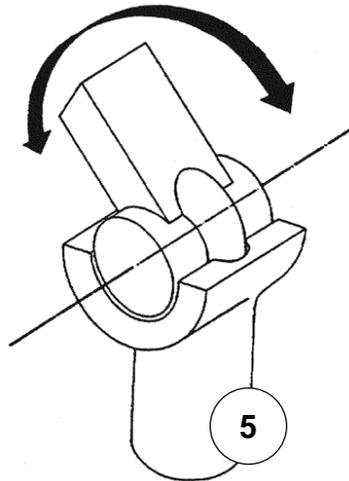
- max. 1 FG Translation
- Condylus = Gelenkrolle, typisch 2 (bikondyläres Gelenk), entsprechende (flache) Pfanne
- 1 Kammer: Kniegelenk, 2 Kammern: Kiefer- und Atlantookzipitalgelenk



Diarthrosen mit 1 Rotationsfreiheitsgrad

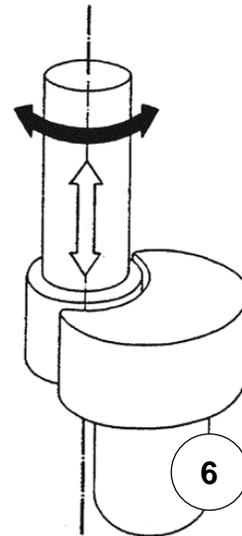
- Scharniergelenk

- Translation verhindert durch Gelenkform (und Bandapparat)
- Kopf (Trochlea) und Pfanne annähernd walzenförmig
- Humeroulnargelenk, Interphalangealgelenke, oberes Sprunggelenk



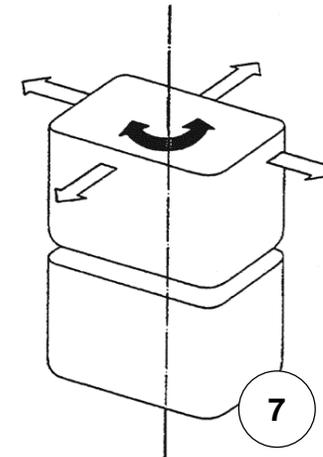
- Rad- = Zapfengelenk

- max 1 FG Translation (verhindert durch Bandapparat)
- Kopf rad- oder zapfenförmig, Rotation um Längsachse
- proximales Radioulnargelenk, Atlantoaxialgelenk



- Planes Gelenk

- max. 2 FG Translation, 1 FG Rotation (oft blockiert)
- \pm plane Gelenkfläche
- Femoropatellargelenk, Facettengelenke; Amphiarthrosen: Hand- und Fusswurzel, Iliosakralgelenk

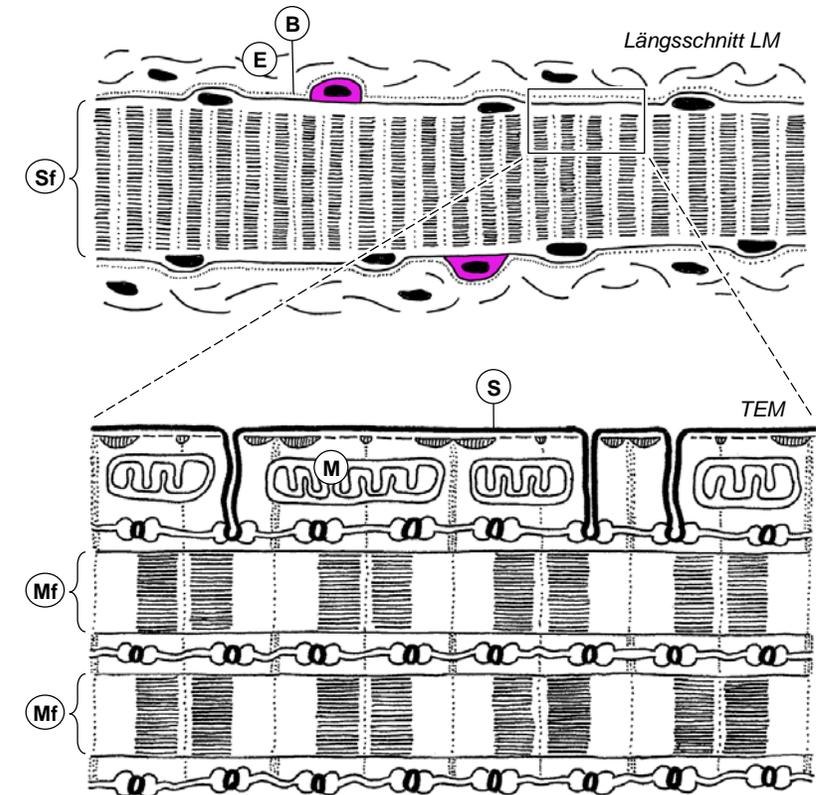


Skelettmuskelfaser

- **Entwicklung**
 - Myoblasten aus Myotom der Somiten (Innervation durch Spinalnerven) und Schlundbogen-Mesenchym (Innervation durch Hirnnerven): Proliferation, Migration zum Bestimmungsort
 - muskelspezifische Transkriptionsfaktoren (MyoD, Myf5, Myogenin, MFR4) → Differenzierung
 - Fusion zu Myotuben (Synzytium), Synthese von Myofibrillen → Skelettmuskelfaser = zelluläre Einheit des Skelettmuskels
 - Endzahl Skelettmuskelfasern im 1. Lebensjahr erreicht, keine Faservermehrung (Hyperplasie), kein Faserersatz beim Erwachsenen
- **Morphologie**
 - Faser \varnothing 10-100 μ m x Länge bis 10 cm, 50/mm platte Zellkerne peripher unter Sarkolemm
 - 85% Sarkoplasma = Myofibrillen, Querstreifung (ab 13 SSW)
- **Satellitenzellen**
 - ruhende Myoblasten & Stammzellen, zwischen Sarkolemm und Basallamina, 1% der Zellkerne, ca. 800/mm³
 - Teilung → zusätzliche Zellkerne für Faserhypertrophie (Krafttraining, Kompensation) oder Faserreparatur

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

● Satellitenzelle



Myofibrille

- Sarkomer

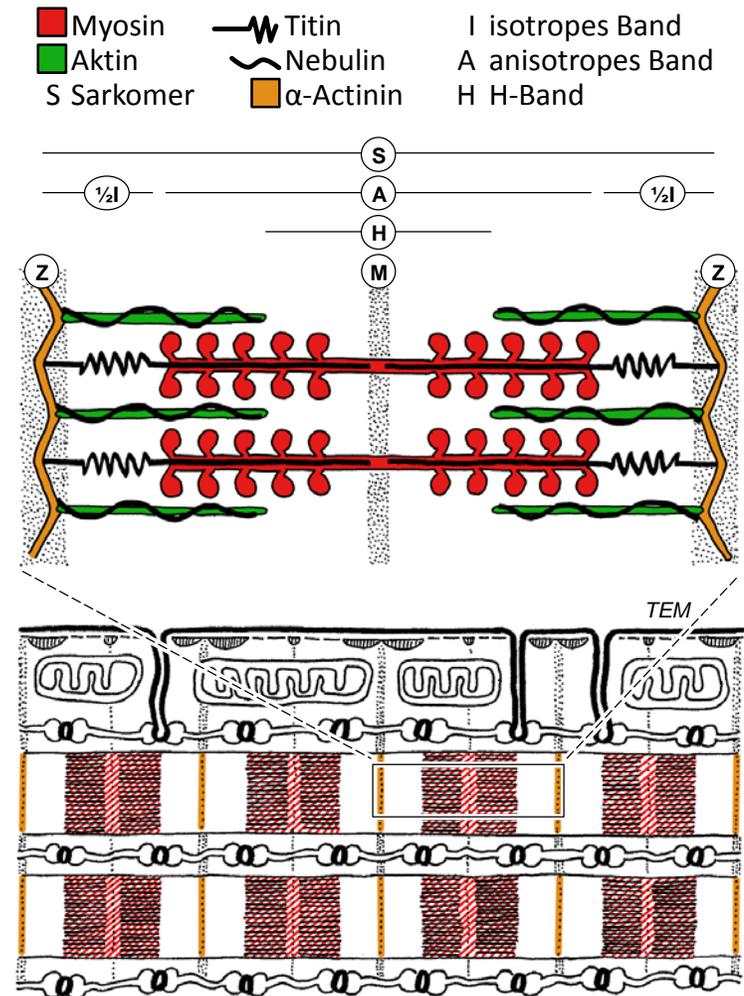
- repetierte Grundeinheit der Myofibrille, zwischen Z-Scheiben
- Aktinfilamente (7nm x 1µm) ↔ Myosinfilamente (15nm x 1.5µm), Verhältnis am Querschnitt 6 Aktin : 3 Myosin
- Querstreifung: A/H/I Band
- Myosin: 300 Schwänze → Filament, Köpfe → Kontakt mit Aktin
- Aktin verankert in Z-Scheibe (α-Actinin, 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

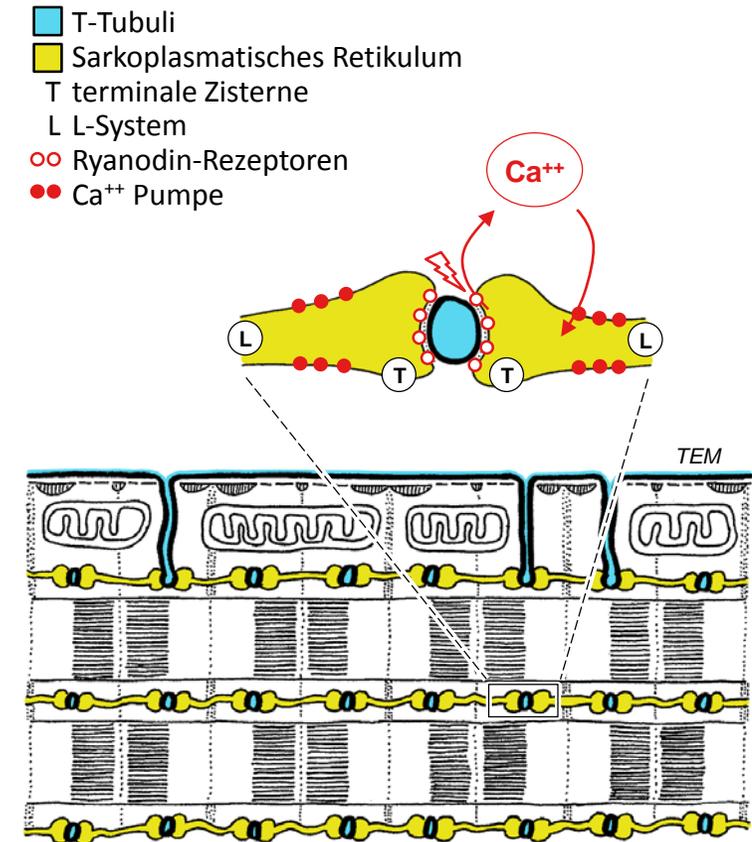
- Kontraktion

- Aktin 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



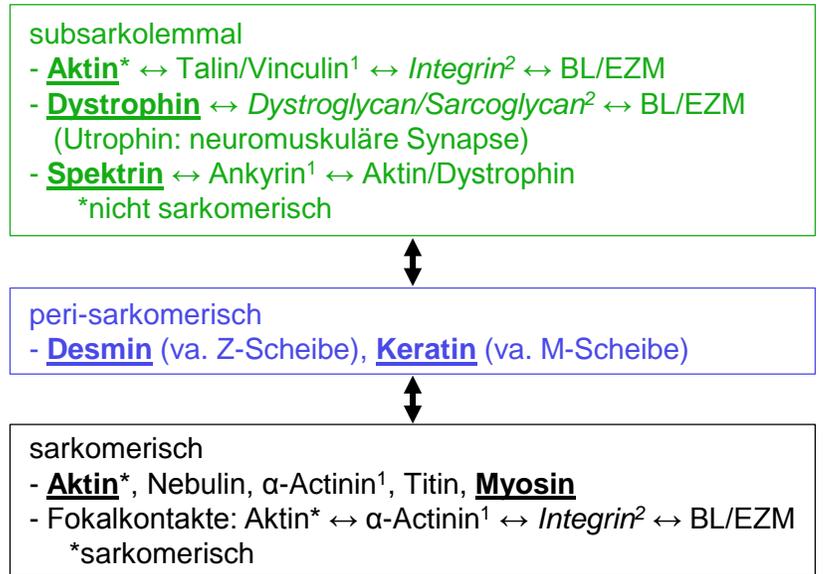
Elektromechanische Koppelung

- Elektromechanische Koppelung
 - Erregung (Aktionspotential am Sarkolemm) führt zur Kontraktion
- 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 Ca^{++} Speicher
 - 2 Terminale Zisternen begleiten T-Tubuli um Myofibrille: Triade
 - L-System longitudinal, verbindet terminale Zisternen
 - Ryanodin Rezeptoren: spannungsgesteuerter Ca^{++} Kanal in terminaler Zisterne, aktiviert durch Depolarisation des T-Tubulus
 - Tropomyosin blockiert in Ruhe Bindung von Myosin an Aktin, Freigabe durch Ca^{++} Bindung an Troponin C → Kontraktion
 - Ca^{++} Pumpen im L-System: sofortige Wiederaufnahme des Ca^{++}



3 Zytoskelettsysteme der Skelettmuskelfaser

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



¹Adaptorproteine, ²Transmembranproteine

