
Allgemeine Anatomie III

Gelenke, Muskel

David P. Wolfer

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

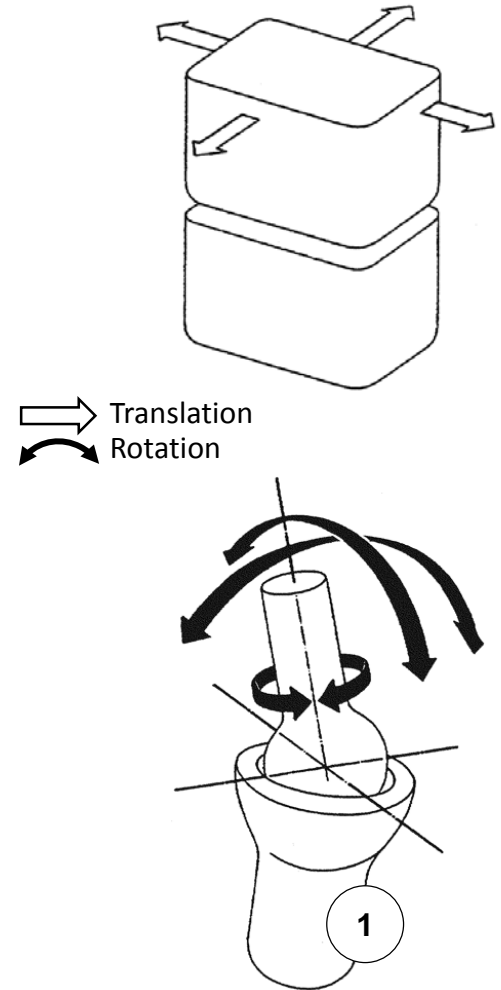
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates

Di 05.03.2019

Systematik der Diarthrosen, Kugelgelenk

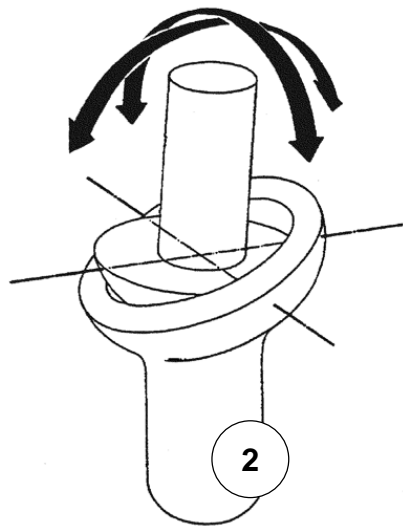
- 2 Gelenkskörper → einfaches Gelenk
- >2 Gelenkskörper → zusammengesetztes Gelenk, 1 oder getrennte Gelenkshöhlen
- Theoretische maximale Freiheitsgrade freier Bewegung
 - 3 Freiheitsgrade Rotation (3 zueinander senkrechte Achsen):
konvex-konkave Gelenkflächen, Rotation bei meisten Gelenken für Bewegungsumfang bestimmend
 - 3 Freiheitsgrade Translation (3 zueinander senkrechte Richtungen):
in Translationsrichtung plane Gelenkflächen, maximal 2 Freiheitsgrade realisierbar
- 7 Gelenktypen: Geometrie und Anatomie
 - Einschränkung der Bewegung:
artikulär: knöcherner und Bandführung; extraartikuläre Faktoren: behindernde Weichteile, fehlende Muskelkraft, zusammengesetzte und verbundene Gelenke
 - geometrische Modelle und Gelenktypen nur Annäherung an effektive Biomechanik
 - 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, Hüftgelenk, Finger- und Zehengrundgelenke



Diarthrosen mit 2 Rotationsfreiheitsgraden

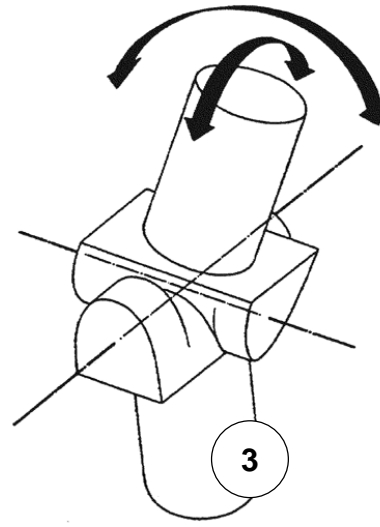
- Eigelenk

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



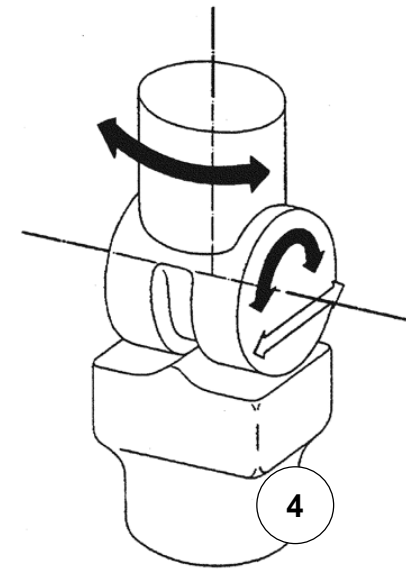
- Sattelgelenk

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



- Kondylengelenk

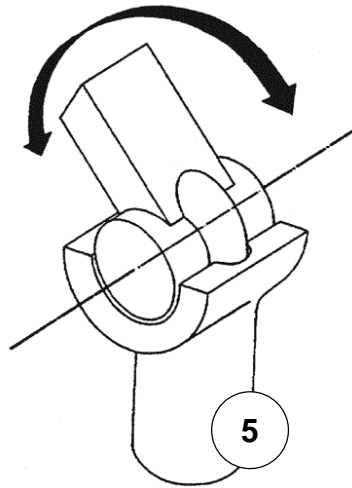
- max. 1 FG Translation
- Condylus = Gelenkrolle, typisch 2 (bikondyläres Gelenk), entsprechende (flache) Pfanne
- 1 Kammer: Kniegelenk, 2 Kammern: Kiefer- und Atlantookzipitalgelenk



Diarthrosen mit 1 Rotationsfreiheitsgrad

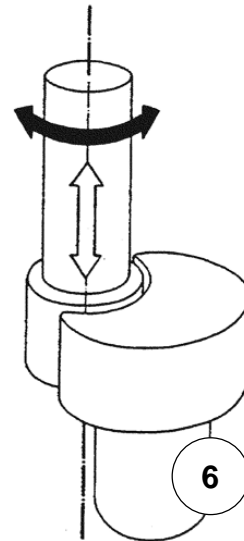
- Scharniergelenk

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



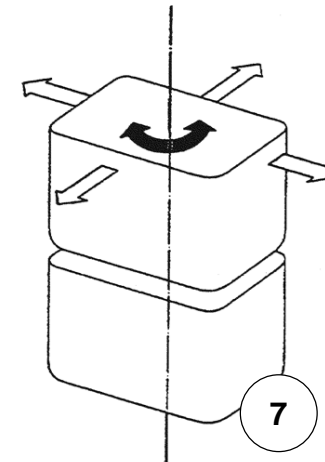
- Rad- = Zapfengelenk

- 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

- 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

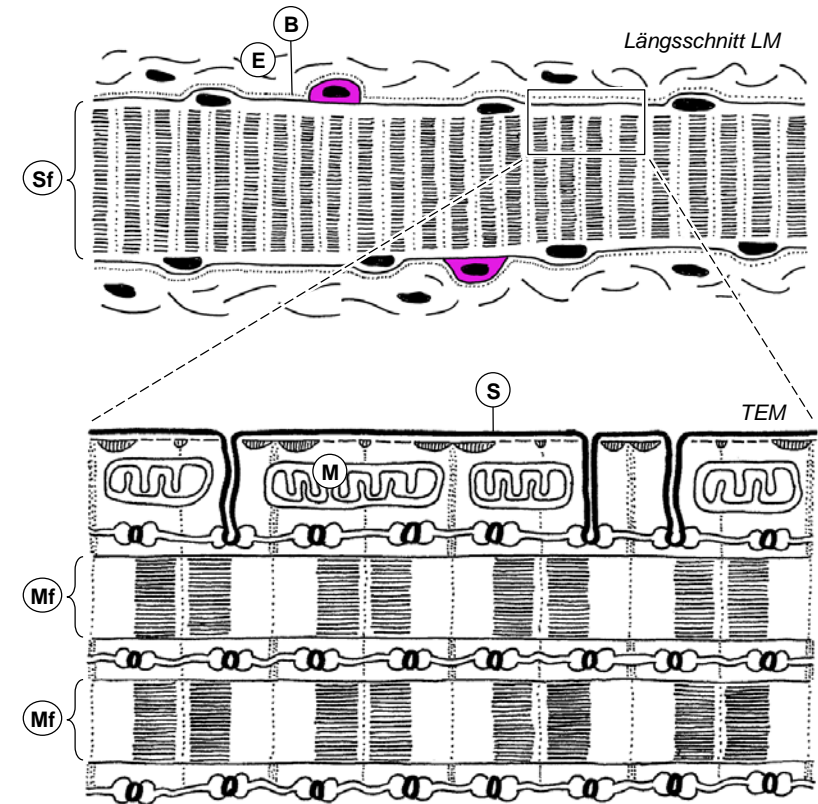
- Faser \varnothing 10-100 μ m x Länge bis 10 cm, Basallamina
- ca 85% Sarkoplasma = Myofibrillen
- 50/mm Faserlänge platte Zellkerne peripher unter Sarkolemm

• 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

● Satellitenzelle



Myofibrille

- Sarkomer

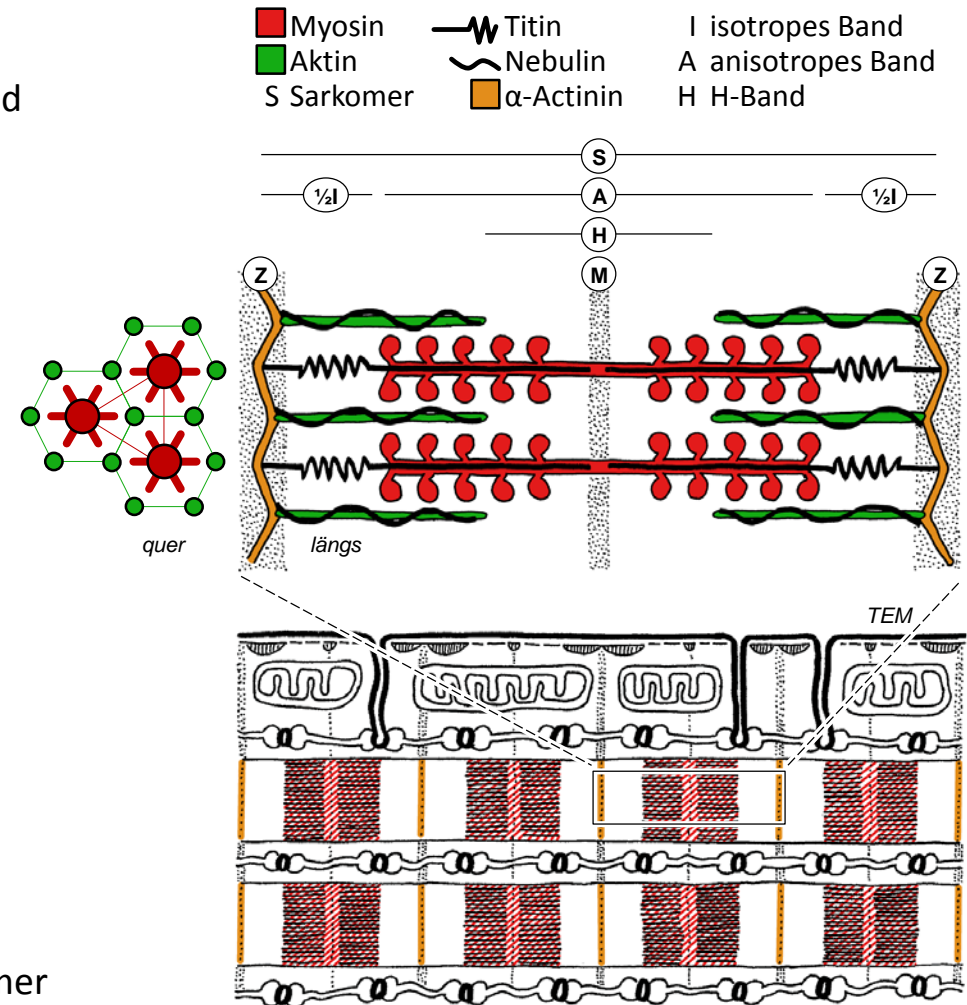
- repetierte Grundeinheit der Myofibrille, zwischen Z-Scheiben, regelmässige Anordnung der Filamente → Querstreifung: A/H/I Band
- Aktinfilamente (7nm x 1µm) ↔ Myosinfilamente (15nm x 1.5µm), Verhältnis am Querschnitt 6 Aktin : 3 Myosin
- Myosin: 300 Schwänze → Filament, Köpfe → Kontakt mit Aktin
- Aktin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

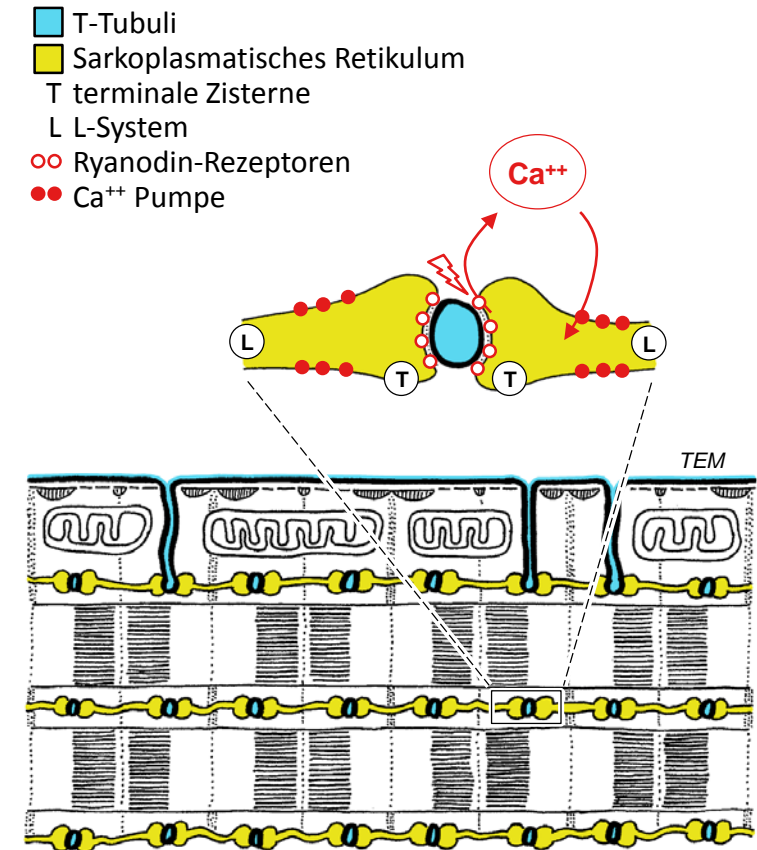
- Kontraktion

- Aktin 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



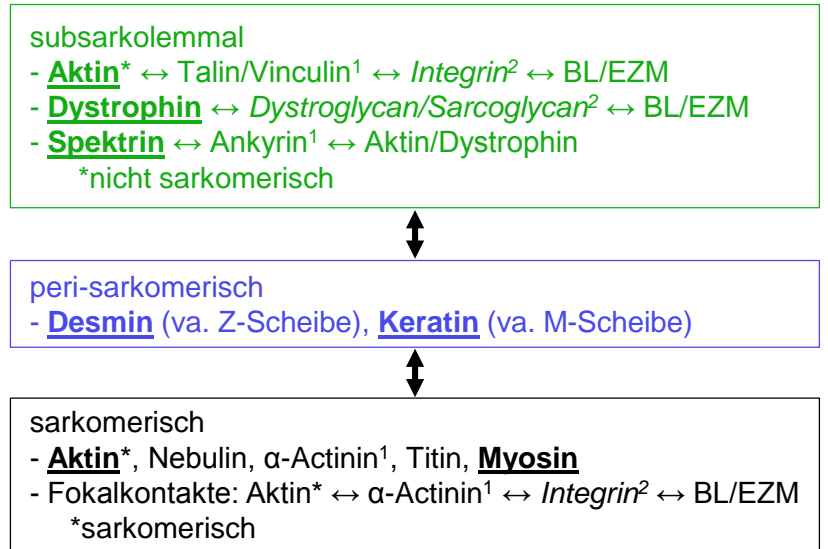
Elektromechanische Koppelung

- 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 Ca^{++} Speicher
 - 2 Terminale Zisternen begleiten T-Tubuli zirkulär 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 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



¹Adaptorproteine, ²Transmembranproteine

