
Allgemeine Anatomie IV

Muskel, Sehne und Hilfseinrichtungen

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 13.03.2018

Muskelfasertypen

- Fasertypen

- keine Muskelfaser kann alles: Dilemma Geschwindigkeit ↔ Ausdauer
- Muskelfasertypen bestimmt durch Isoform der schweren Myosinkette
- I → hohe Ausdauer auf Kosten langsamer Kontraktion: oxidativer Stoffwechsel, Mitochondrien, Fetttropfen, Myoglobin (rote Farbe)
- IIX → rasche Kontraktion auf Kosten schneller Ermüdung: viel sarkoplasmatisches Retikulum, Parvalbumin = Ca⁺⁺-Puffer, glykolytischer Stoffwechsel, viel Glykogen-Reserven
- IIA → Kompromissform

- Fasertypenverteilung

- Muskeln alle gemischt, verteiltes Mosaik.
- Haltemuskeln (M. soleus, M. tibialis ant., M. erector spinae) I:II=2:1, phasisch aktivierter M. triceps brachii I<II.
- interindividuelle Unterschiede: zB M. gastrocnemius Sprinter II>I, Ausdauersportler I>II (Konstitution? Training?)

- Fasertransformation

- Physiologisch: Belastung IIX→IIA (fast to slow), Ruhe IIA→IIX (slow to fast), Anteil I ändert kaum.
- Lähmung: I → IIA; chronisch 10 Hz Tierexperiment: IIA→I?

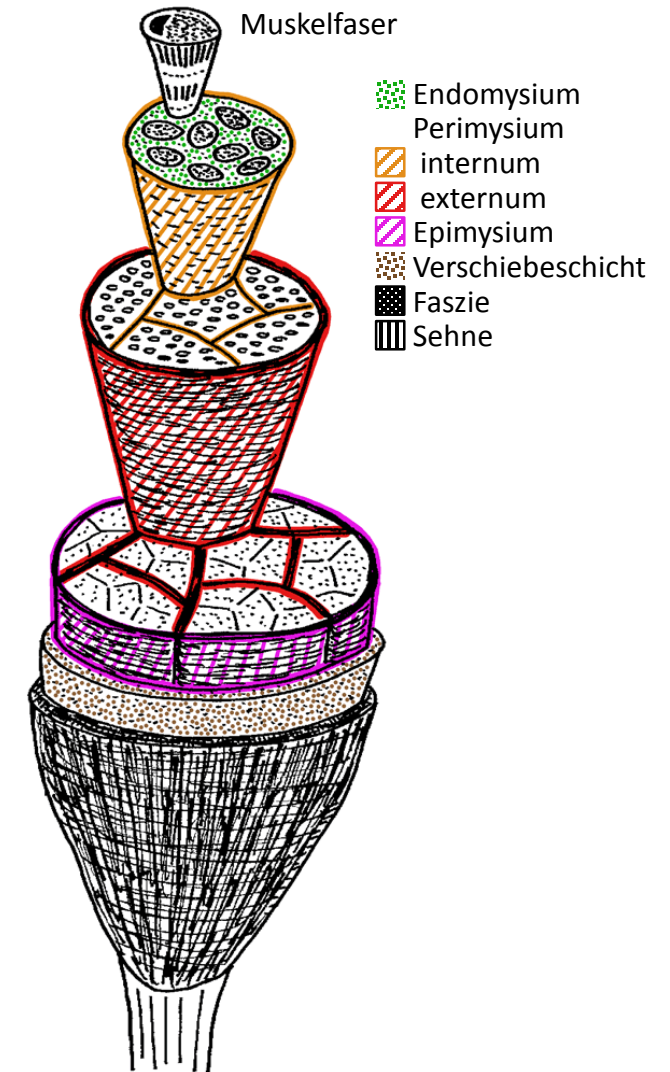
Faser-Typ	I	IIA	IIX
Schnelligkeit	-	+	++
Ausdauer	++	+	-
Oxidation	++	+	(+)
Glykolyse	(+)	+	++
Myoglobin	++	++	(+)
Mitochondrien	++	++	(+)
Fetttropfen	++	+	(+)
Glykogen	(+)	+	++
SR	(+)	+	++
Parvalbumin	-	(+)	++



Muskelfasertypen am Querschnitt

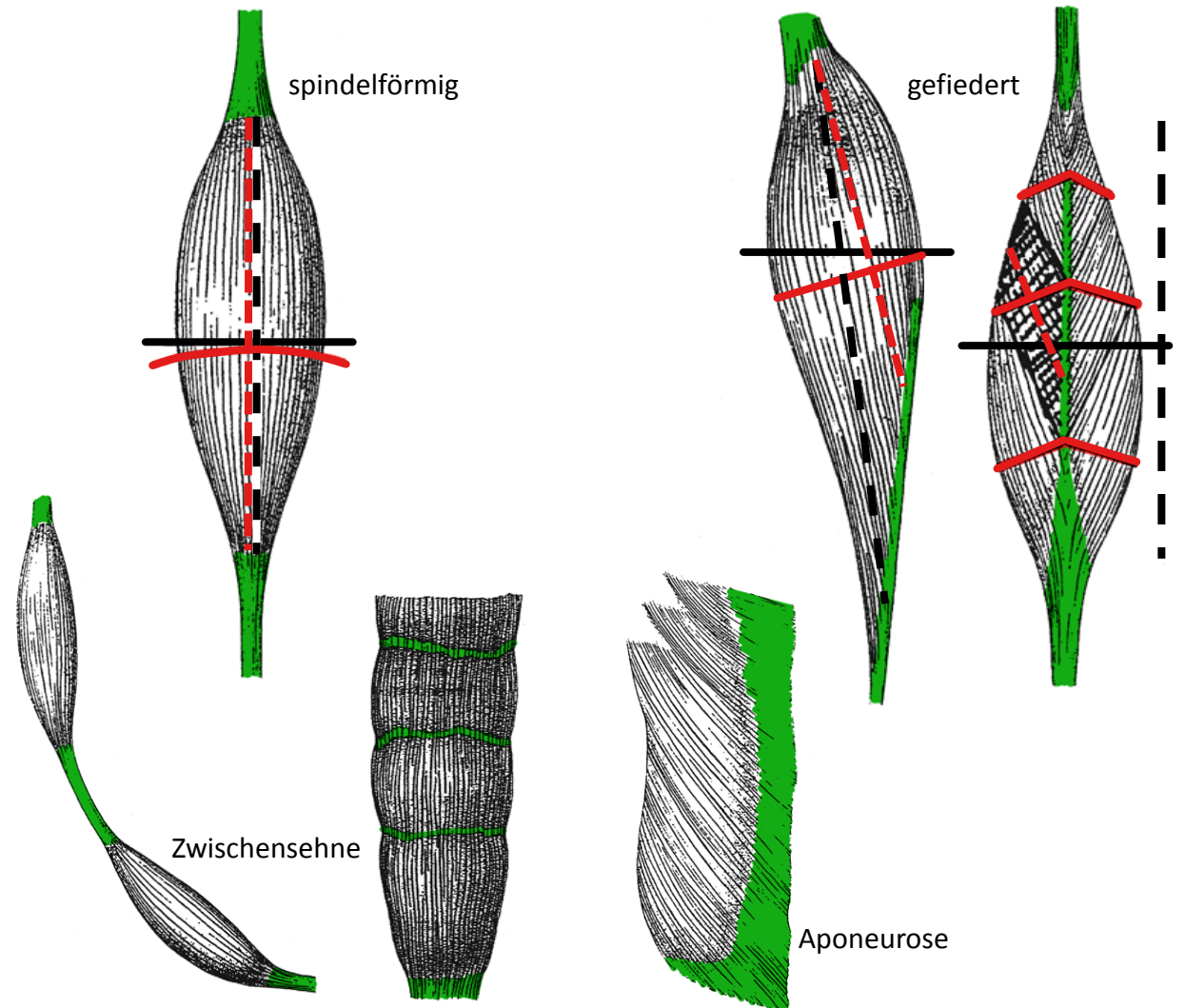
Muskel

- Muskel = Organ
 - Parenchym = Muskelfasern, Länge max 4-10 cm, myomyonale Verbindungen (End-End, End-Seit)
 - Stroma = Bindegewebe mit Leitungsbahnen
- Stroma
 - Faszie (straff) → Muskelloge, dient auch als Muskelursprung
 - Epimysium (locker) bedeckt Oberfläche, mit Faszie verwachsen (Muskelursprung) oder durch Verschiebeschicht getrennt
 - Perimysium externum um/zwischen Sekundärbündeln (makroskopisch erkennbare Fleischfaser)
 - Perimysium internum um/zwischen Primärbündeln = Faszikel (Querschnitt ca. 1 mm², 150-250 Muskelfasern)
 - Endomysium umgibt einzelne Muskelfasern, führt Blutkapillaren, Nervenfaser(-Bündel)
- Trainingseffekte
 - Krafttraining → Faserhypertrophie, Aktivierung Satellitenzellen. Inaktivität, Denervation → Faseratrophie. Keine Hyperplasie.
 - Ausdauertraining → mehr Mitochondrien, Fasertransformation, Gefäßneubildung: Kapillaren / Muskelfasern 1.5-2 → 2.5



Muskeltypen

- Anatomische Masse
 - anatomischer Querschnitt (dickste Stelle)
 - Muskellänge
 - bestimmen Form aber nicht Funktion
- Physiologische Masse
 - physiologischer Querschnitt bestimmt Kraft (Zahl parallel geschalteter MF)
 - Faszikellänge bestimmt Hubhöhe (Anzahl Sarkomere in Serie)
- Anordnung der Faszikel
 - spindelförmiger Muskel: maximal mögliche Faszikellänge und Hubhöhe
 - einfache, doppelte Fiederung: durch Summation mehr physiologischer Querschnitt - auf Kosten der Faszikellänge
- Varianten
 - platte Muskeln, Aponeurose = platte Sehne
 - Zwischensehne(n)



Muskelninnervation

- Efferente Innervation

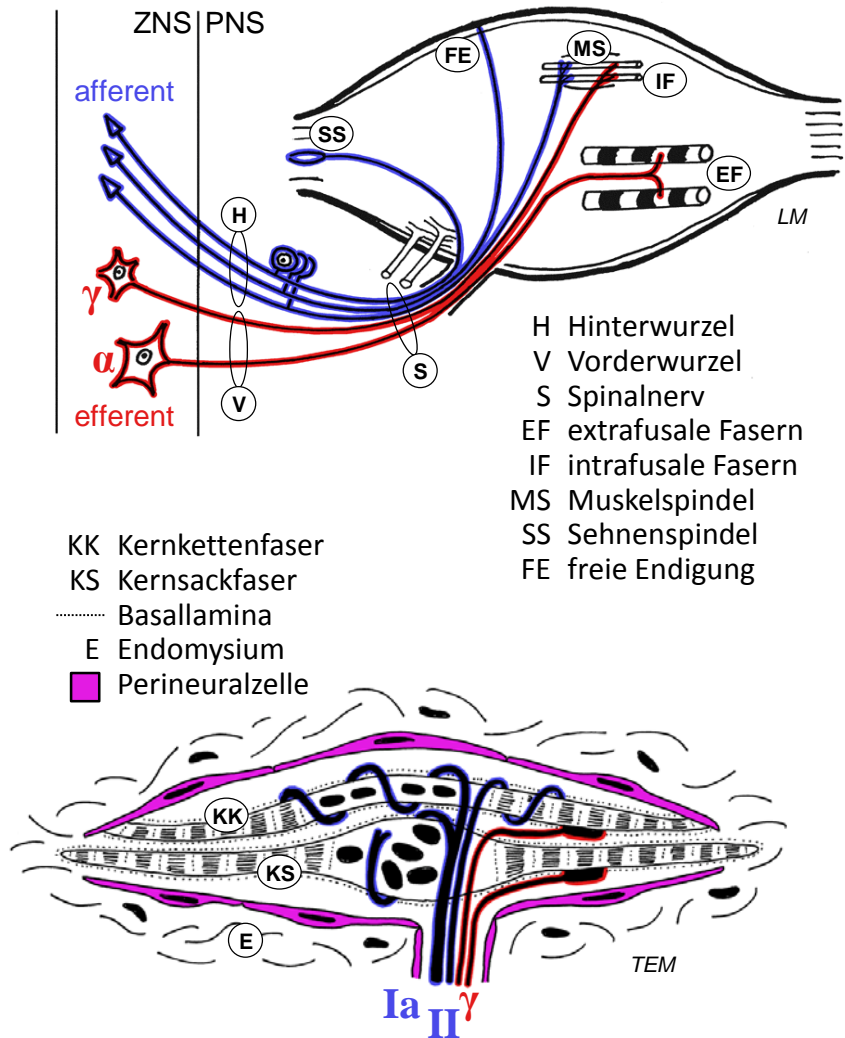
- Motoneuron (lower motor neuron): Zellkörper in Rückenmark oder Hirnstamm, Faser → Spinalnerv oder Hirnnerv
- α -Motoneuron → extrafusale Fasern (Arbeitsfasern)
- γ -Motoneuron → intrafusale Fasern (Muskelspindel)

- Afferente Innervation

- primärafferentes Neuron: Zellkörper in sensorischem Ganglion des PNS
- Rezeptoren:
 - Muskelspindel: Dehnungsrezeptor
 - Sehnen spindle: Spannungsrezeptor
 - freie Endigungen: Dehnungsrezeptor, Nozizeption

- Muskelspindel

- im Endomysium eingebettet, Hülle aus Perineuralzellen
- intrafusale Muskelfasern mit Kernen im Äquatorbereich: 2-5 Kernkettenfasern, 1-3 Kernsackfasern
- Ia Afferenz → Kontraktionsgeschwindigkeit (rasch adaptierend)
- II Afferenz → Kontraktionsamplitude (langsam/nicht adaptierend)
- γ -Motoneurone → Anpassung der Spindellänge an Muskellänge



Motorische Einheit

- Definition

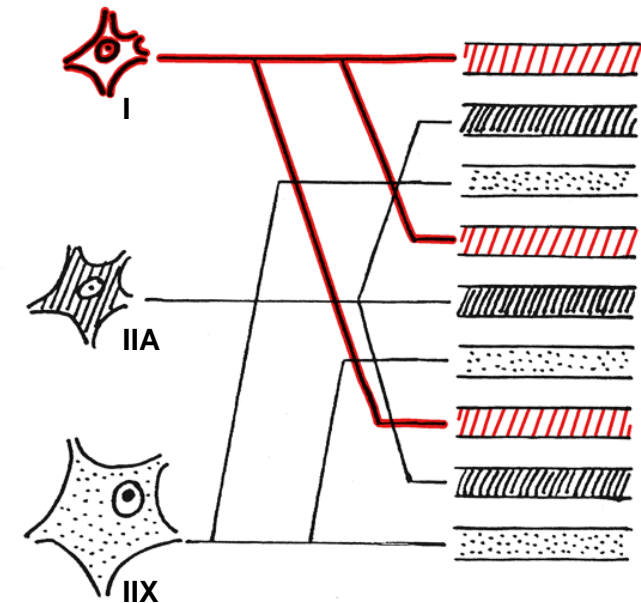
- α -Motoneuron plus alle über seine Axonkollateralen und neuromuskuläre Synapsen versorgte Muskelfasern
- Keine Muskelfaser durch >1 α -Motoneuron innerviert
- neuromuskuläre Synapse: bei langen Fasern mehrere pro Muskelfaser durch Kollateralen des selben Motoneurons
- Motoneuron bestimmt Fasertypen: gleicher Typ in ganzer Einheit, vorübergehende Typen-Koexistenz nur während Transformation: IIA+IIX, ev I+IIA, nie I+IIX

- kleine und grosse Einheiten

- klein = hohe Präzision (äussere Augenmuskeln 5-10 Muskelfasern/ME, Fingermuskeln 200-300)
- grosse = viel Kraft, grobe Abstufung (M. triceps surae, M. quadriceps femoris ca. 2000 Muskelfasern/ME)

- Muskelquerschnitt

- Fasern einer Einheit über Querschnitt verstreut
→ gleichmässige Kraftverteilung bei gestaffelter Rekrutierung
- Denervation → Faseratrophie; Bei chronischem Denervationsprozess Übernahme verwaister Muskelfasern durch Kollateralen anderer α -Motoneurone → pathologisches «fiber type grouping»



Motorische Einheiten am Faserquerschnitt

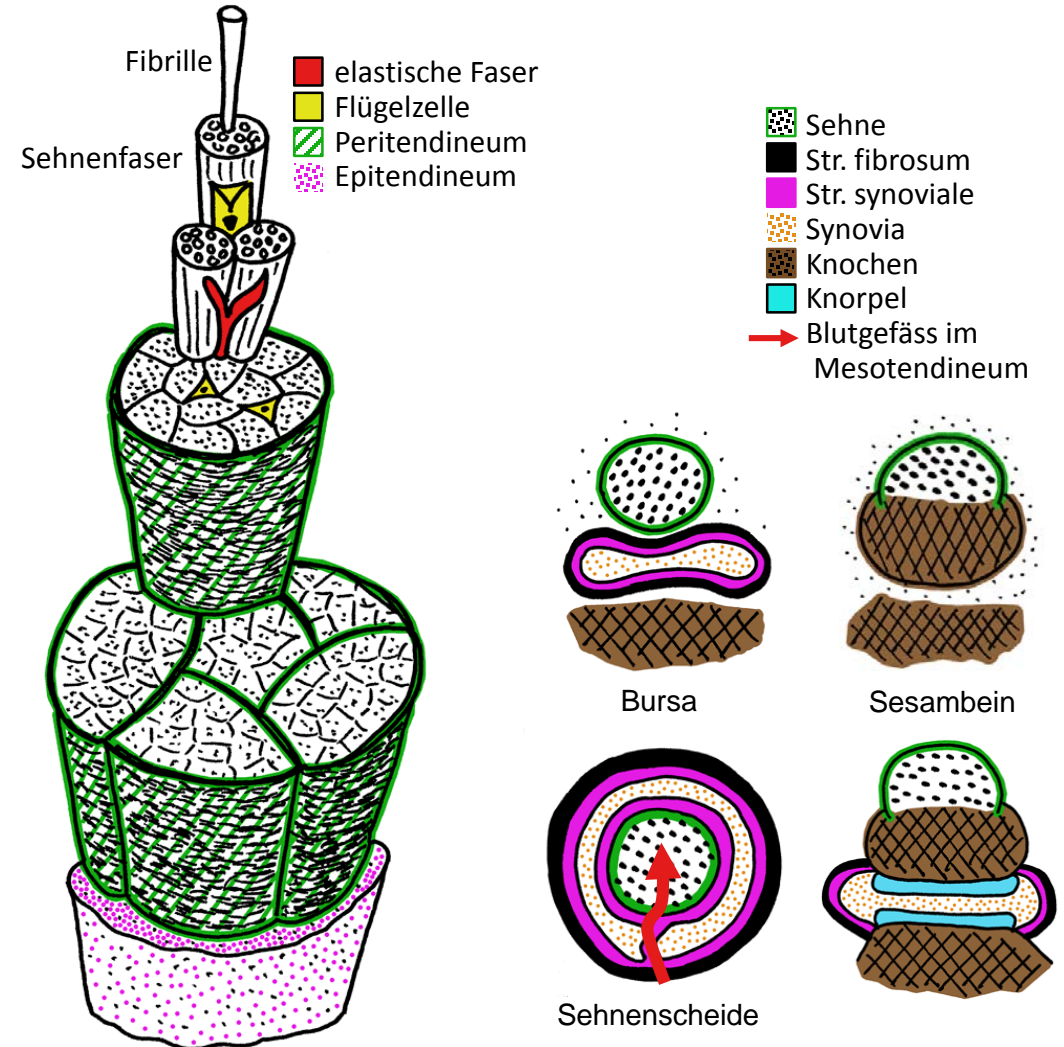
Sehne & Hilfseinrichtungen

- Sehne

- eindimensionale Zugbelastung
- Parenchym: straffes parallelfasriges kollagenes Bindegewebe: Sehnenfasern (Kollagen I) → Zugfestigkeit 1000kg/cm², wenige elastische Fasern → 4% Dehnungsreserve, Flügelzellen = Fibroblasten
- Stroma: lockeres feinfaseriges kollagenes Bindegewebe: Peritendineum um Sehnenfaserbündel (Leitungsbahnen), Epitendineum um ganze Sehne
- gerissene Sehnen meist vorgeschädigt (z.B. Entzündung, Steroidbehandlung)

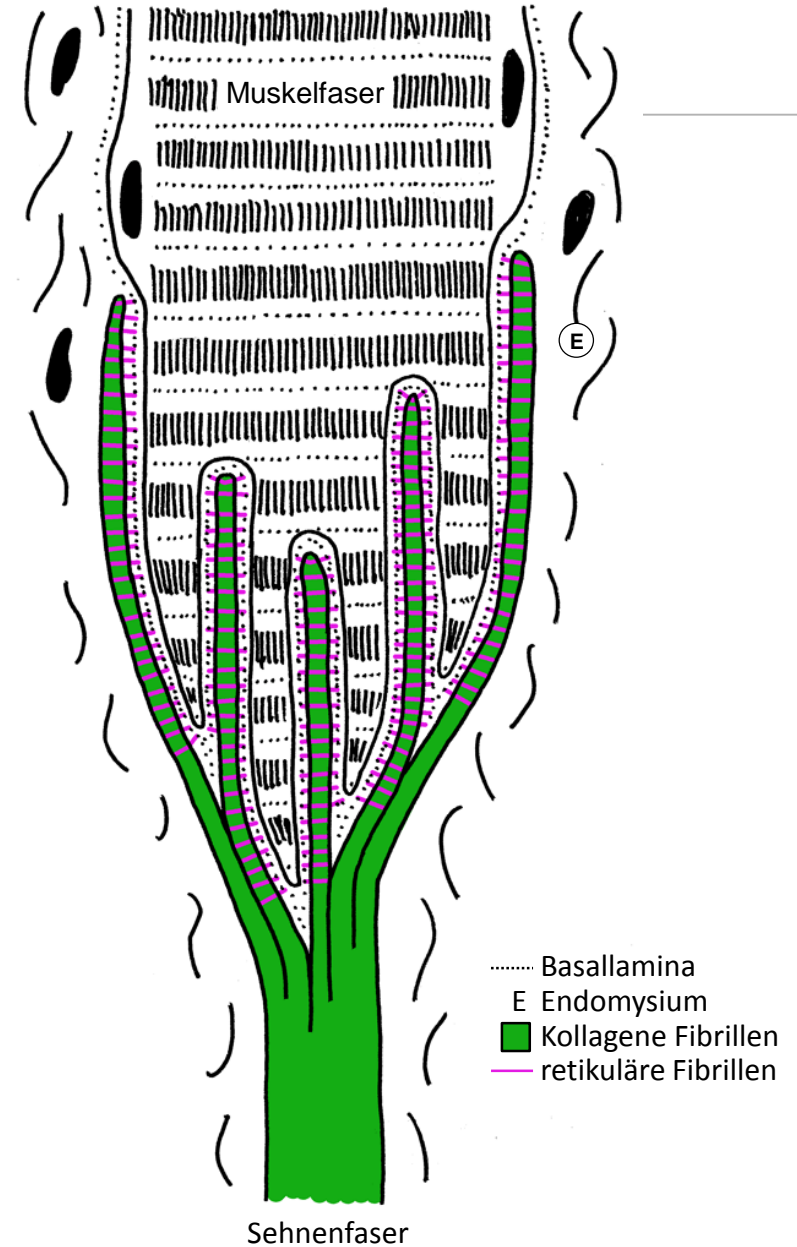
- Hilfseinrichtungen

- Schleimbeutel (Bursa, Bursitis = Schleimbeutelentzündung): Synovia, Wandaufbau wie Gelenkkapsel, verhindert Schaden durch Reibung, ev. mit Gelenkhöhle verbunden
- Sehnenscheide (Vagina tendinis, Tendovaginitis = Sehnenscheidenentzündung): Führung über lange Strecke, Versorgung der Sehne via Mesotendineum
- Sesambein: Verknöcherung gegen Schaden durch Druck. Kombination Druck + Reibung → planes Gelenk (z.B. Femoropatellargelenk)



Muskelsehnenübergang

- Prinzip
 - 1 Muskelfaser verbunden mit 1 Sehnenfaser
 - stets Basallamina dazwischen
 - Vergrößerung Kontaktfläche durch fingerartige Fortsätze und Einstülpungen der Muskelfaser: Seit-zu-Seit-Kontakt statt End-zu-End-Kontakt
- Kontakte
 - Fokalkontakte mit Beteiligung endständigen sarkomerischen Aktins (via Integrin) → Basallamina
 - erweiterte Fokalkontakte mit Beteiligung des subsarkolemmalen Zytoskeletts: nicht sarkomerisches Aktin (via Integrin), Dystrophin (via Dystroglycan) → Basallamina
 - retikuläre Fibrillen binden an Basallamina und sind mit Sehnenfasern verwoben



Sehnenansatz

- Verbindung
 - Sehnenfasern strahlen in Periost und Knochen ein
 - Trauma: kaum Abriss der Verbindung, eher Ausriss mitsamt Knochen
- Dämpfung
 - Faserknorpel im Ansatzbereich, gewellter Verlauf der Sehnenfasern um Chondrone
 - Kompression + Deformation der Chondrone bei Erhöhung der Zugspannung und Streckung der Sehnenfasern (Druckkissen)
 - mineralisierte Zone: Abstufung der Materialeigenschaften
- Insertionstendinose
 - Entzündung und Schmerz bei (uniformer) Überbeanspruchung (zB Tennisarm)

