

MUSKELPHYSIOLOGIE

MUSKELTYPEN

Skelettmuskulatur
Herzmuskulatur
Glatte Muskulatur

Gleitflamenttheorie

UNTERSCHIEDE

Regenerationsfähigkeit

↳ Herz: schlecht

↳ Glatte: gut

Morphologie/Histologie

↳ Herz/Skelett: Querstreifung

↳ Glatte: keine Querstreifung

Willkürlich/Unwillkürlich

↳ Skelett

Herz/Glatte

Zellkerne unterschiedlich verteilt

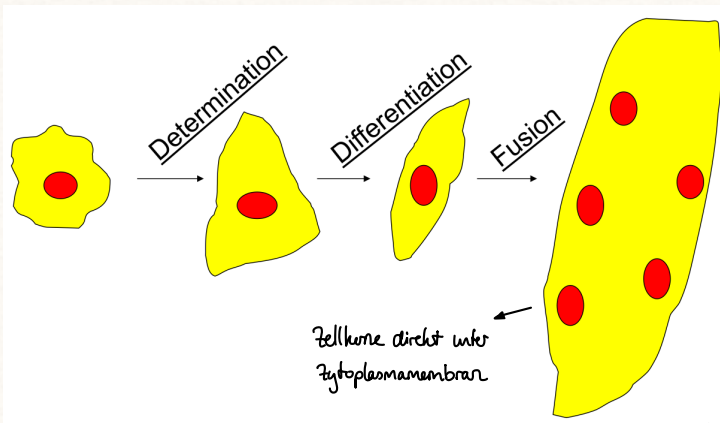
↳ Glatte: heterogen,
vielfältig,
funktionelle Synzytium (Darm)

↳ Skelett: fusionierte Zellen,
mehrere Zellkerne

↳ Herz: funktionelles Synzytium
(gap junctions)

ZELLENTWICKLUNG

SKELLETTMUSKEL Myogenese



Stammzelle

Determination

Myoblast

▷ äußerlich nicht als Muskelzelle erkennbar

Differenziation

Myozyt

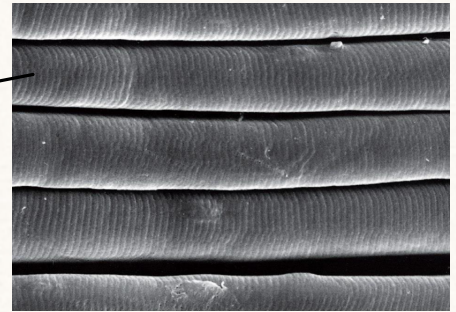
▷ terminal differenziert

▷ Muskelzelltyp. Merkmale

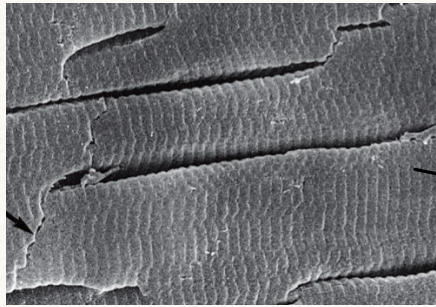
Fusion

Synzygium

Skelettmuskelfaser



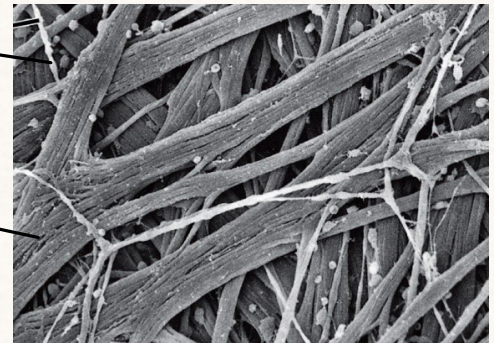
Skelettmuskel



Herzmuskel

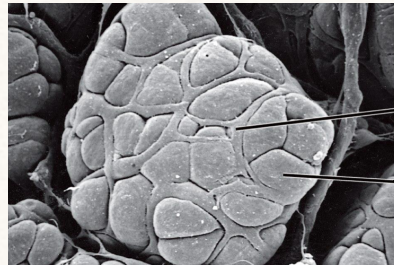
Herzmuskelzelle

Nervenfaser



Bündel von glatten Muskelfasern

Glatte Muskel



Myoepithelzelle

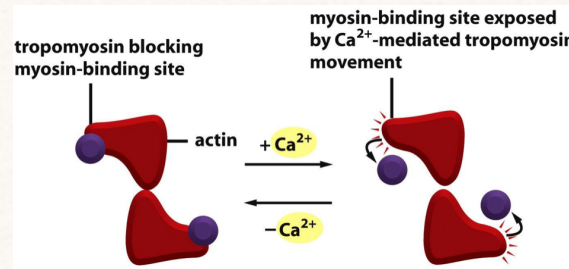
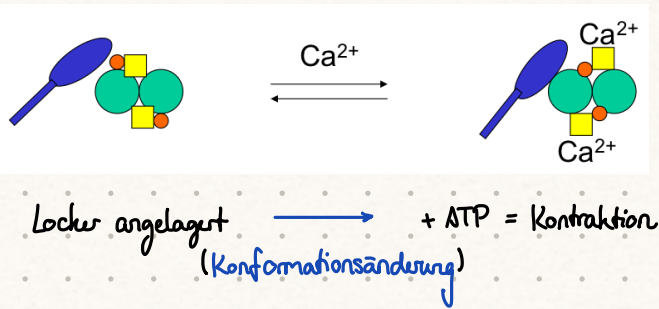
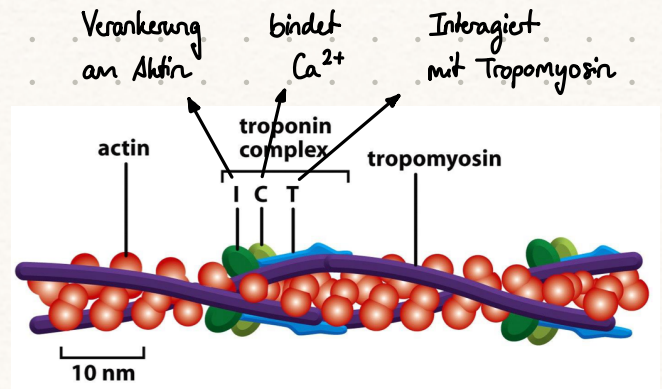
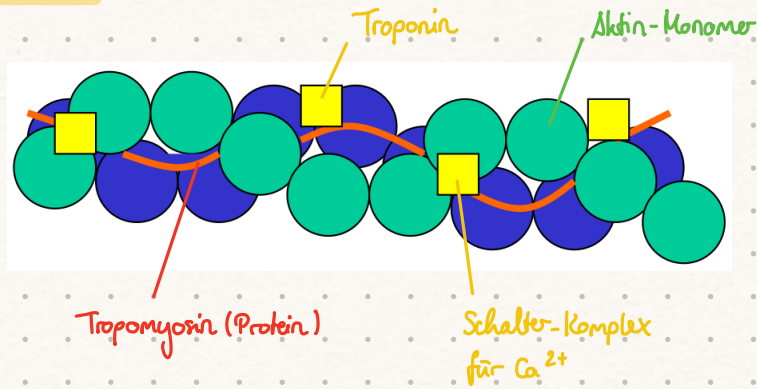
Myoepithelzelle

Milchschritzelle

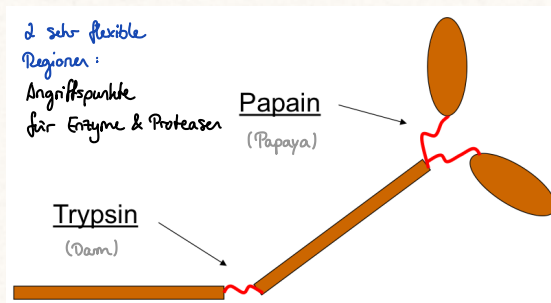
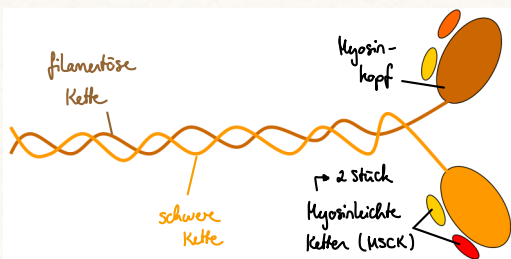
Myoepithelzelle

- ▷ kann kontrahieren
- ▷ ist keine Muskelzelle
- ▷ Aktin- und Myosinfilamente
- ▷ Milch- und Schweißdrüsen

AKTIN

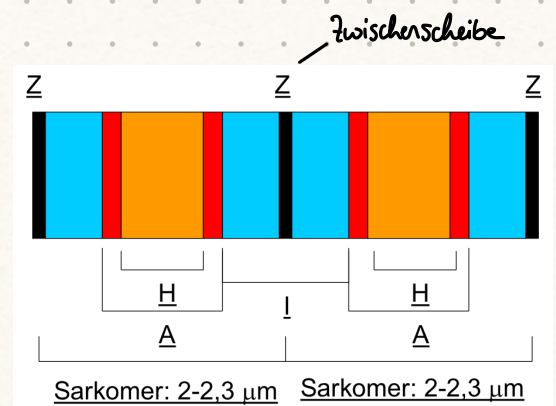
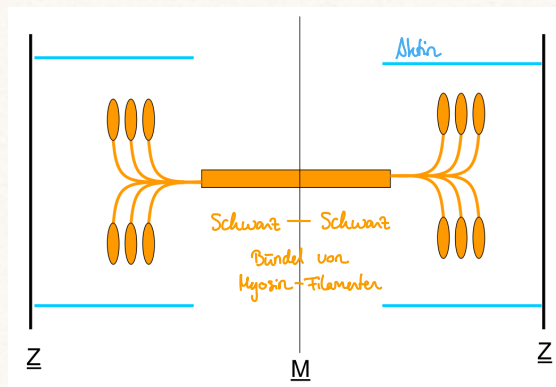
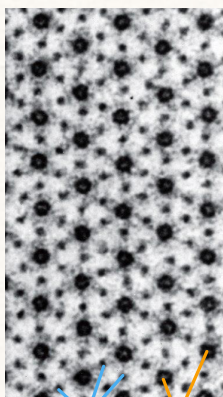


MYOSIN

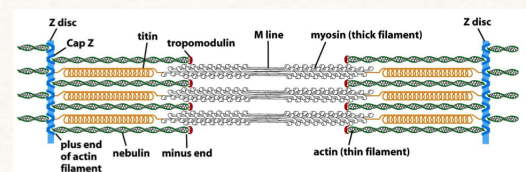
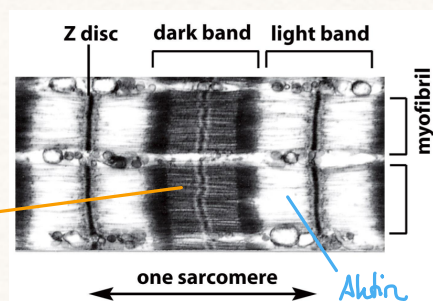


GLEITFILAMENTE

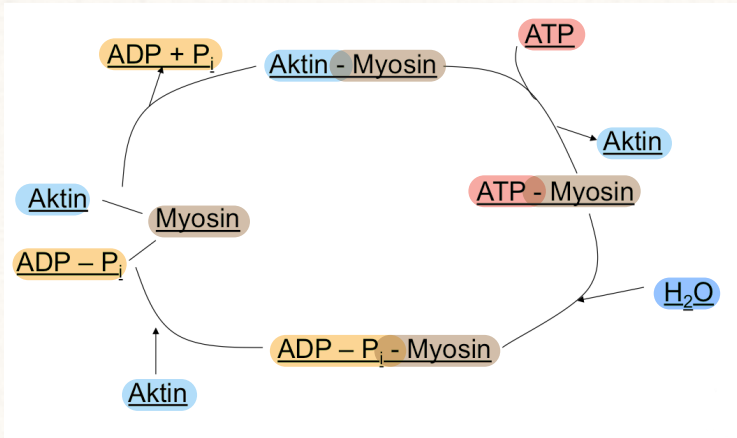
Es verkürzt sich nur das Sarkomer!
 → I- und H-Bande



I-Bande: nur dünne Filamente Aktin
A-Bande: dicke/dünne Filamente Überlappung
H-Zone: dicke Filamente Myosin



ATPase-AKTIVITÄT MYOSIN



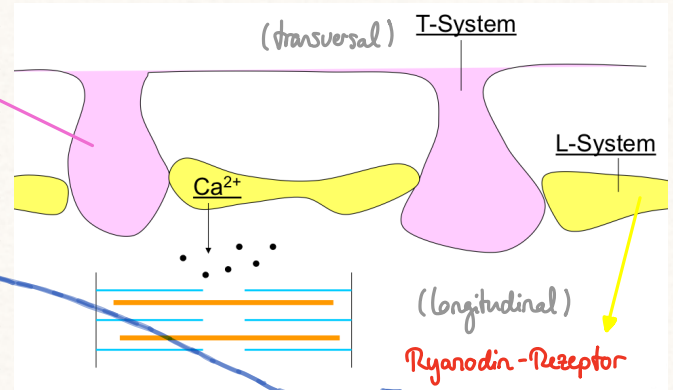
RUDERSCHLAG

1. Reiz
2. Anlagerung
3. P_i -Freisetzung
4. Kraftakt!
5. Freisetzung von ADP
6. Bindung von ATP ← **Totalkarte**
7. Ablösung
8. Hydrolyse → ADP + P_i

MUSKELZUCKUNG

1. Reizung der Muskelfaser
2. Aktionspotential (Membranerregung)
3. Elektromagnetische Koppelung
 - A) Erregungsleitung im T-System
 - B) Ca^{2+} -Einstrom
 - C) Ca^{2+} -Freisetzung aus dem L-System
 - D) Ca^{2+} -Wirkung auf Myofibrillen (Troponin, Tropomyosin)
4. Kontraktion der Myofibrillen: zyklische Querbrückenaktivität

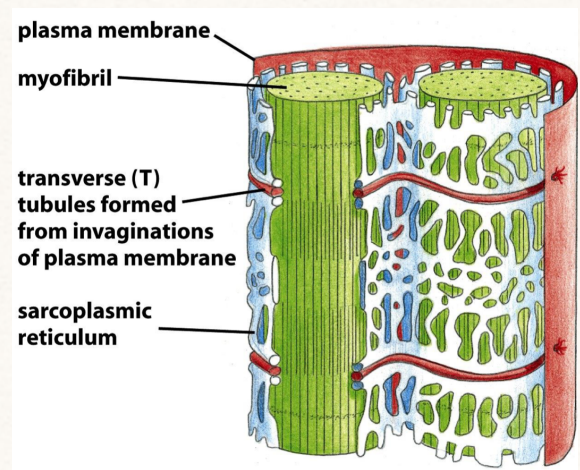
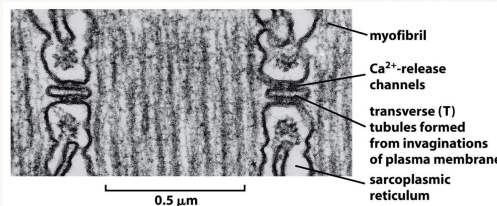
Dihydropyridin-Rezeptor
↳ Herz:
L-Typ- Ca^{2+} -Kanal



Skelettmuskel: Triade
Herzmuskel: Dyade

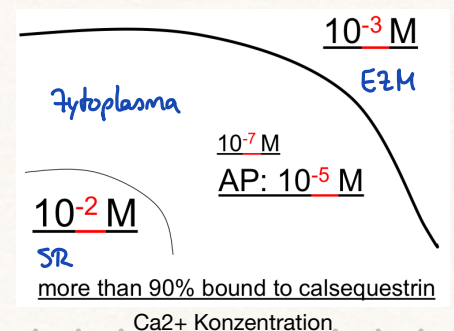
HEMBRANSYSTEME

- T-System:** Zellmembran
⇒ Weiterleitung el. Erregung
- L-System:** Sarkoplasmatisches Retikulum (SR)
⇒ Speicherung von Ca^{2+}
- Triadenstruktur



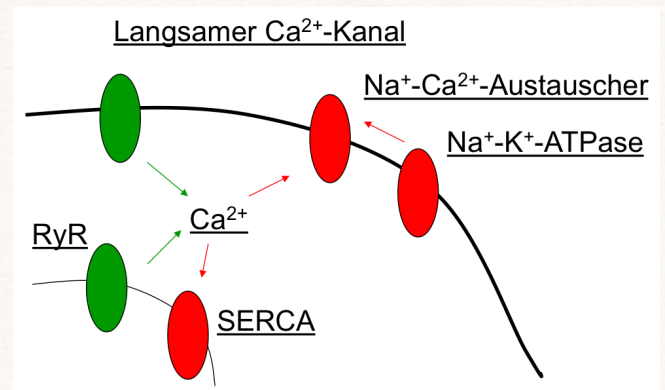
Ca^{2+} -TRANSPORT

- Ca^{2+} aus dem Zytoplasma
- ▷ Ca^{2+} -ATPase des SR: **SERCA**
⇒ pumpt Ca^{2+} ins SR zurück
 - ▷ $3Na^{+}$ - Ca^{2+} -Antiporter der Zellmembran
⇒ $3Na^{+}/2K^{+}$ -ATPase (Verbrauch von ATP)

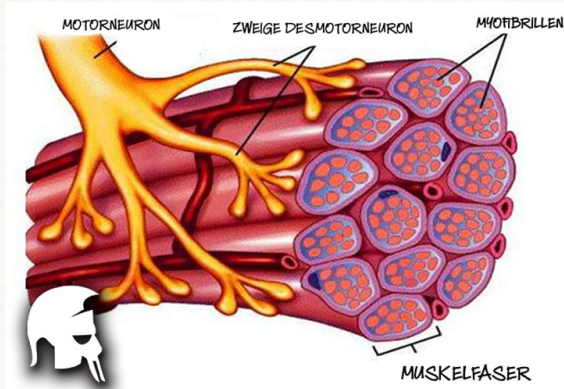


Ca²⁺ IN Zytoplasma

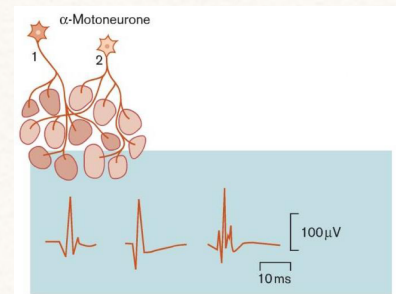
- ▷ Langsamer Ca²⁺-Kanal der Zellmembran
 - ⇒ **Triggereffekt** (Freisetzung Ca²⁺ aus SR)
 - ⇒ **Auffülfekt** (Zelle mit Ca²⁺ aufgefüllt)
- ▷ Ca²⁺-Kanal des SR (Ca²⁺ wird aus SR freigesetzt): Ryanodin-Rezeptor
- ▷ **Herz**: Rezeptor kann Ca²⁺ auch reinlassen, andere Muskeln können nur freisetzen



MOTORISCHE EINHEIT

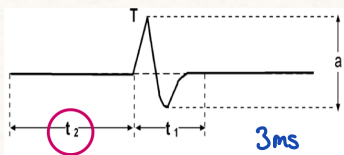
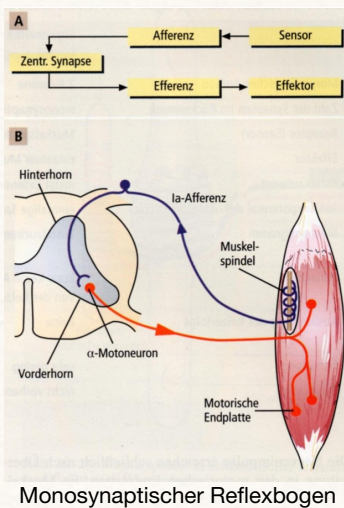


Gruppe von Muskelfasern, die von **EINEM** motorischen Neuron innerviert wird.



REFLEXTONUS

- Halsmuskeln
- unwillkürlich
- über Muskelspindel reguliert



TETANUS

- Reizintervall muss kleiner oder gleich etwa einem **DRTTEL** der für eine Einzelschrumpfung benötigten Zeit sein
 - ↳ Überlappung der Impulse
 - ↳ Dauerkontraktion
 - ↳ Ca²⁺ bleibt im Zytoplasma bestehen
 - ↳ kann nicht ganz zurück gepumpt werden

MYASTHENIA GRAVIS

- neonatal - transitorisch
- D-Penicillin-induziert - reversibel
- Familiär - rezessiv
- Lambert-Eaton-Syndrom - meist paraneoplastisch
- Erregungsleitung zum Muskel gestört

HYOTONIE

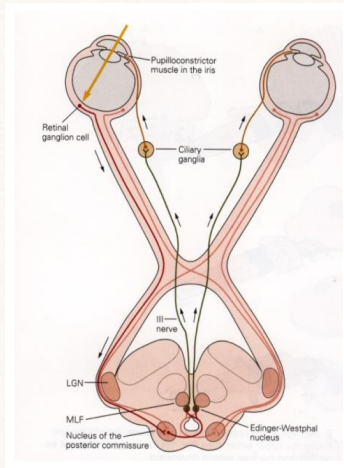
- Hypotonia congenita Thomsen,
- Paramyotonia congenita Eulenburg
- Rezessive (erblich) Hypotonie
- Erhöhte Grund-Kontraktibilität

DYSTROPHIE

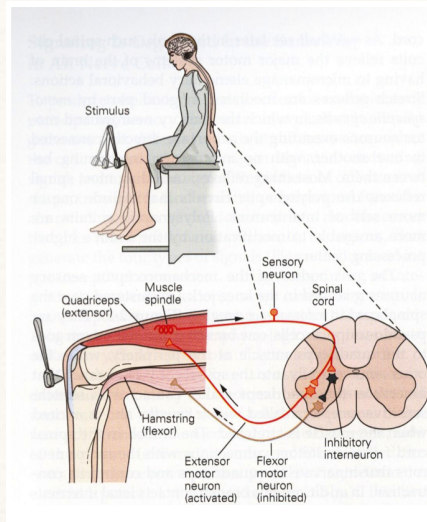
- Muskeldystrophie Duchenne (x-chromosomal, rezessiv)
- Ketten von Aktin- und Myosinfilamente können nicht mehr richtig an Zellmembran aufgehängt werden
 - ⇒ Verbindung & Funktionalität immer mehr geschädigt
- Junge
- ca. 20 Jahre alt
- sterben an Lähmung der Atemmuskulatur

REFLEXFORMEN

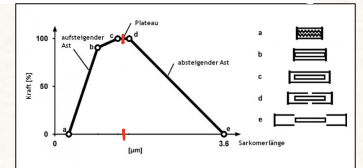
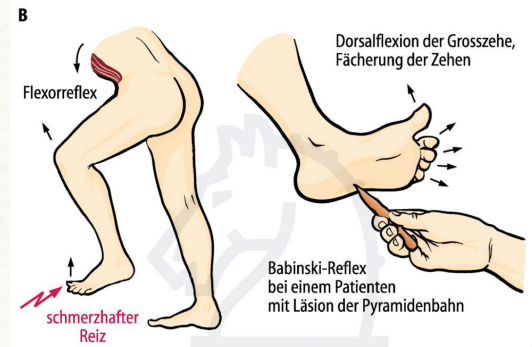
Monosynaptisch
Polysynaptisch



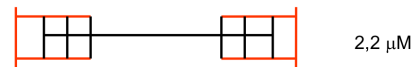
Polysynaptischer Reflex



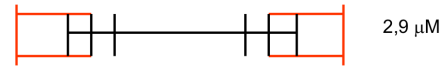
Monosynaptischer Reflex



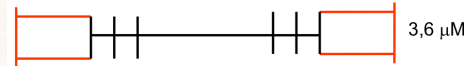
Sarkomerlänge - Kraft



2,2 µm



2,9 µm



Sarkomerlänge und Muskelkraft

MUSKELFASERTYPEN

- I: langsam, rot
- IIa: schnell, rot / „rosa“
- IIb/x: schnell, weiss

Isometrische Kontraktion

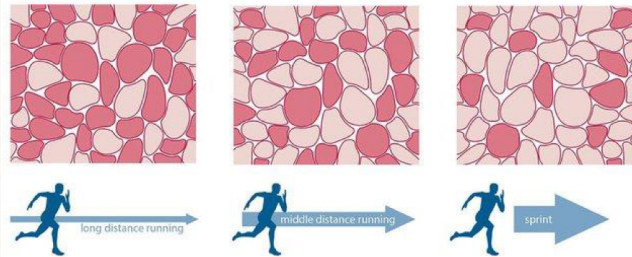
- ▷ Muskellänge bleibt konstant

Isotonische Kontraktion

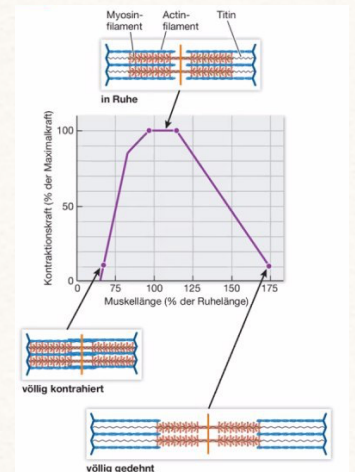
- ▷ Muskelkraft bleibt konstant

STOFFWECHSEL

- ▷ Glykogenolyse und Glykolyse
- ▷ Citratzyklus und Atmungskette
- ▷ Mitochondrien
- ▷ Myoglobin
- ▷ Aktivität der Myosin-ATPase
- ▷ Aktivität der Ca^{2+} -Pumpe des SR



Kraft- und Ausdauersport



Aerob

- ▷ Dauerleistung
- ▷ Oxidative Phosphorylierung
- ▷ [ATP] ~ 5 mM
- ▷ [Creatinphosphat] ~ 25 mM

WIRKUNGSGRAD

- ▷ 40-50%
- ▷ wegen „Erhaltungswärme“
falsch nur
ungefähr 20-30%

Anaerob

- ▷ Glykolyse
- ▷ kurzzeitig
- ▷ Sauerstoffschuld

MUSKELWÄRME

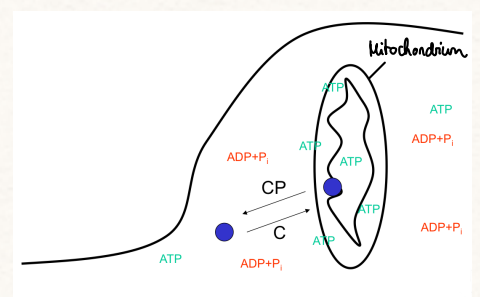
- ▷ Erhaltungswärme, proportional
zur Zeit, Kraft und Arbeit
- ▷ Kältesittern, Zähneklappen

Arbeit W

$$W = F \cdot s \quad [Nm]$$

Leistung P

$$P = W \cdot \Delta t^{-1} \left[\frac{J}{s} \right]$$



Creatinphosphat-Shuttle

ERMÜDUNG

- Acidose
⇒ Ansäuerung des Muskels (Laktat)
- Anhäufung von Metaboliten wie ADP und P_i

Creatin-Kinase



⇒ Energiepuffer

ADP UND AMP STIMULIEREN

- Glykogenabbau
- Glykolyse
- Citratzyklus
- Oxidative Phosphorylierung

GLATTE VS. SKELETTMUSKULATUR

Querstreifung

Nein Ja

Gleitfilamentmechanismus

Ja Ja

Membransysteme

Manche ja, manche nein Ja

Synaptium

Nein aber z.B. im Darm funktionelle Synaptien

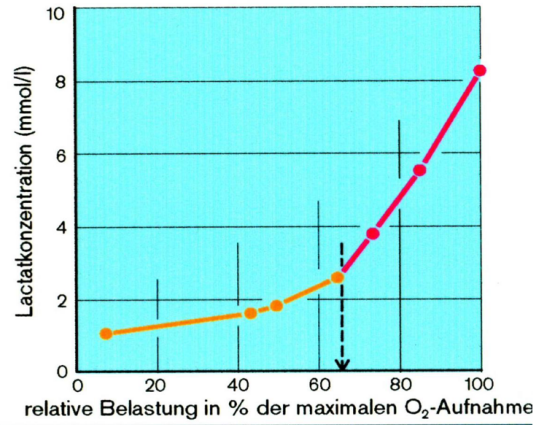
Regulation der Kontraktion

Verschieden, aber Ca^{2+} z.B. gleich

Geschwindigkeit, Energieumsatz

Energieeffizienter Schneller

Abb. 19.3 Die Lactatkonzentration des Blutes



SINGLE UNIT

- spontan rhythmisch aktiv - **myogener** Muskeltonus
- Aktivität durch vegetatives NS **moduliert**

⇒ Kontraktion ohne Innervation (z.B. Darm)

MULTI-UNIT

- wenig spontan aktiv - **neurogener** Muskeltonus
- Aktivität durch vegetatives NS **induziert**

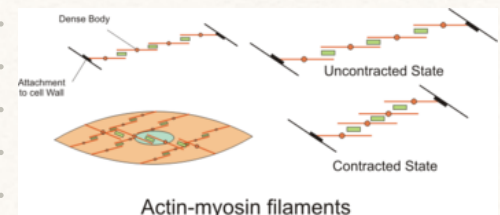
⇒ für abgestufte Kontraktion (z.B. Auge)

SCHRITTMACHERZELLEN

- „single unit“-Typ
- spontane Depolarisation
- spezifische elektrophysiologische Merkmale
- vergleichbar Schrittmacherzellen im Herzen

SPATSAHKEIT

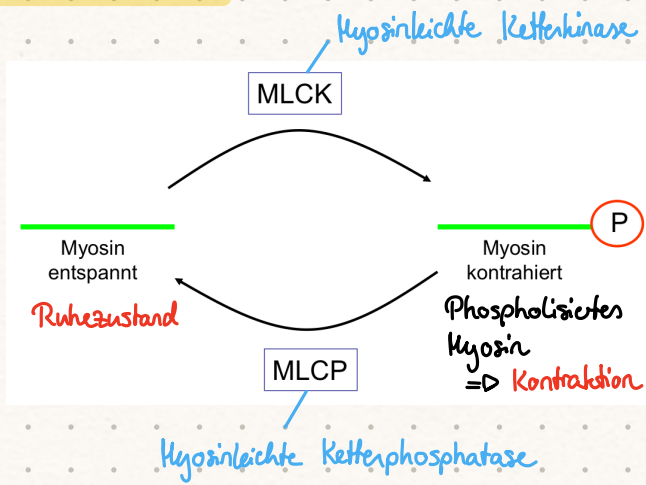
- Myosin Gehalt geringer
- ATPase-Aktivität des Myosins geringer (Myosin-Köpfchen bleibt länger verbunden)



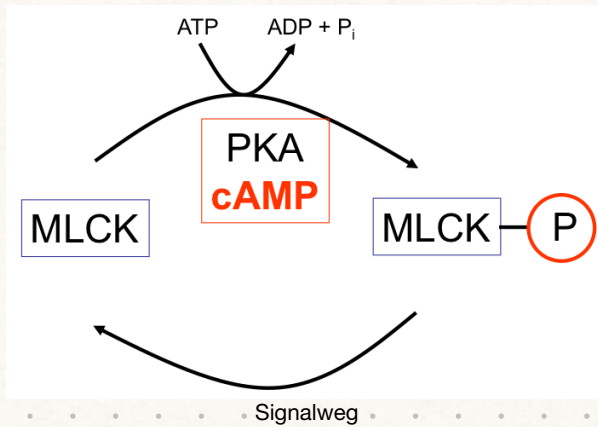
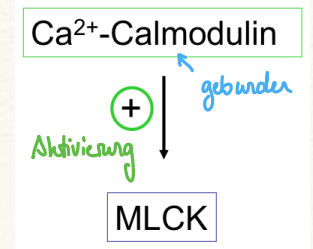
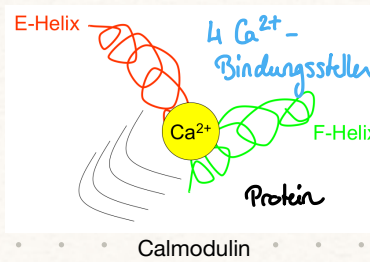
Tonische und phasische Muskulatur

Tonisch (Haltefunktion)	Phasisch (Bewegungsfunktion)
Überwiegend rote Muskelfasern	Überwiegend weiße Muskelfasern
Langsam arbeitende Muskelfasern	Schnell arbeitende Muskelfasern
Langsam ermüdend	Schnell ermüdend
Geringe Kraftentfaltung	Hohe Kraftentfaltung
auf Ausdauerleistung ausgelegt	Auf schnelle, kurze Kraftentfaltung ausgelegt
Neigen zur Verkürzung → Erhöhung des Grundtonus	Neigen zur Abschwächung → Atrophie
Zur Verkürzung neigend	Zur Abschwächung neigend
Schulterblattheber	
Oberer Anteil des Kapuzenmuskels	Mittlerer & unterer Anteil des Kapuzenmuskels
Ellenbogenstrecker	
Handgelenk und Fingerbeuger	
Großer Brustmuskel	
Kleiner Brustmuskel	
Hüftbeuger	Gerade und schräge Bauchmuskeln
Rückenstrecker im Lendenwirbelbereich	Rückenstrecker im Brustwirbelbereich Gesäßmuskeln
Oberschenkelrückseite	
Kniegelenkbeuger	Kniegelenkstrecker
Zwillingenmuskel	
Schollenmuskel	
	Schienbeinmuskel
	Fußmuskel

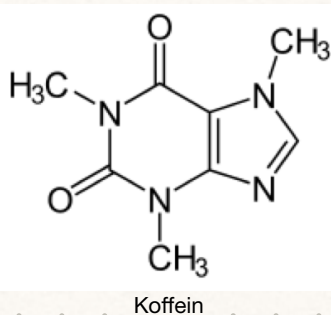
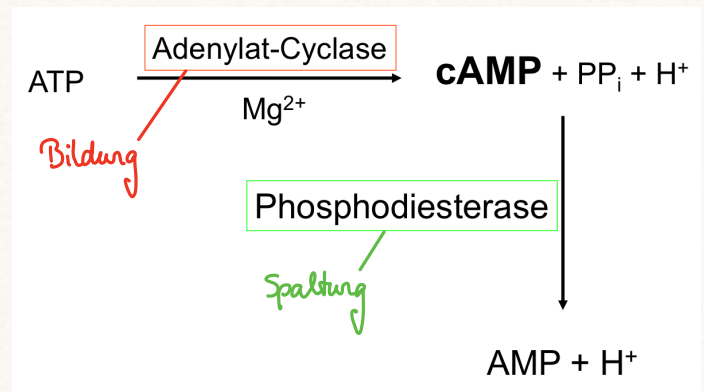
KONTRAKTION



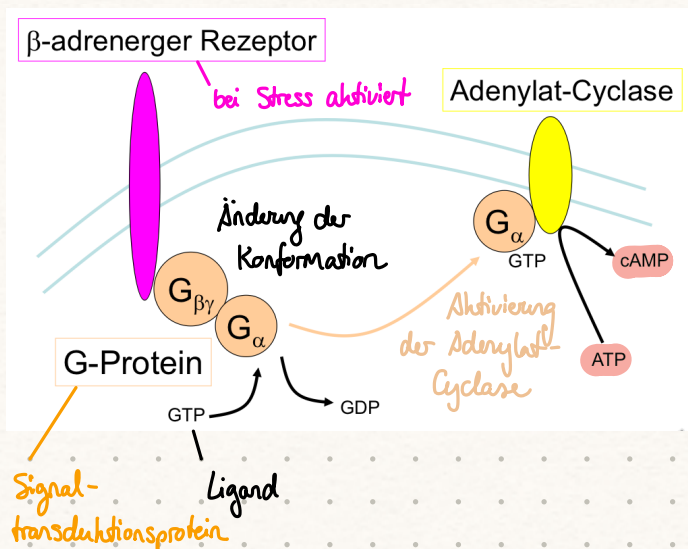
▷ Dephosphorylierung durch MLCP im glatten Muskel **langsamer** als der Rücktransport von Ca^{2+} ins SR im Skelettmuskel



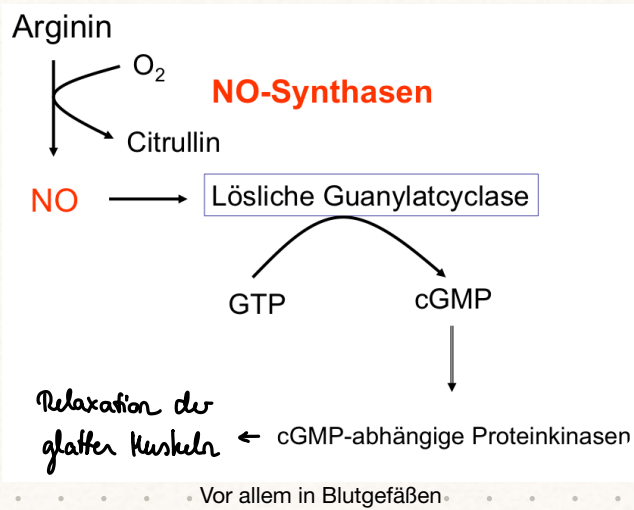
▷ **cAMP** hemmt Kontraktion der glatten Muskulatur



▷ **Koffein** hemmt Phosphodiesterase

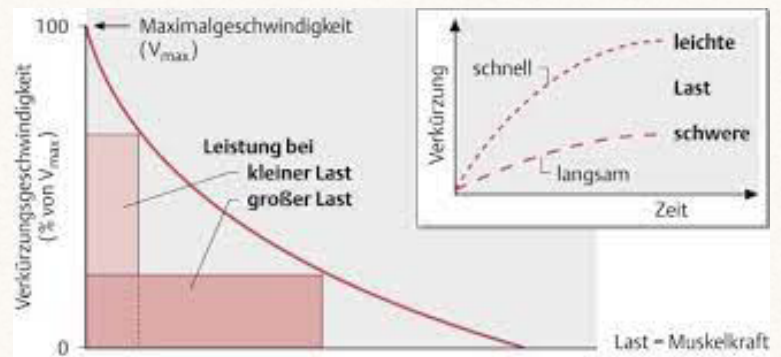
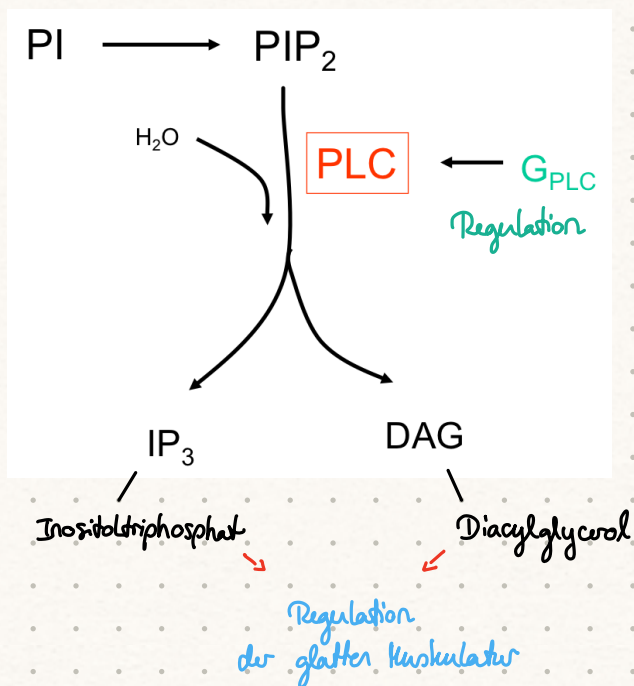


RELAXATION



- ▷ cyclische Nukleotide
cAMP
cGMP
- ⇒ Relaxation der glatten Muskulatur

PHOSPHOLIPASE-C-WEG



Ca^{2+} -TRANSPORTMECHANISMEN (im glatten Muskel)

- ▷ Na^+ - Ca^{2+} -Antiporter der Zellmembran
 - ▷ Ca^{2+} -ATPase der Zellmembran (ATP Verbrauch)
 - ▷ Ca^{2+} -ATPase des SR
- } Ca^{2+} nach außen
- ▷ spannungsabhängiger Ca^{2+} -Kanal der Zellmembran
 - ▷ rezeptorgesteuerter Ca^{2+} -Kanal der Zellmembran
 - ▷ IP_3 -gesteuerter Ca^{2+} -Kanal des SR
- } Ca^{2+} nach innen (aus EZM / SR in Intrazellulärraum)

ELEKTROMAGNETISCHE KOPPLUNG

- ▷ spannungsabhängige Ca^{2+} -Kanäle in der Zellmembran
- ▷ IP_3 und DAG (Phorbolester!)