

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeleung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregeleung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

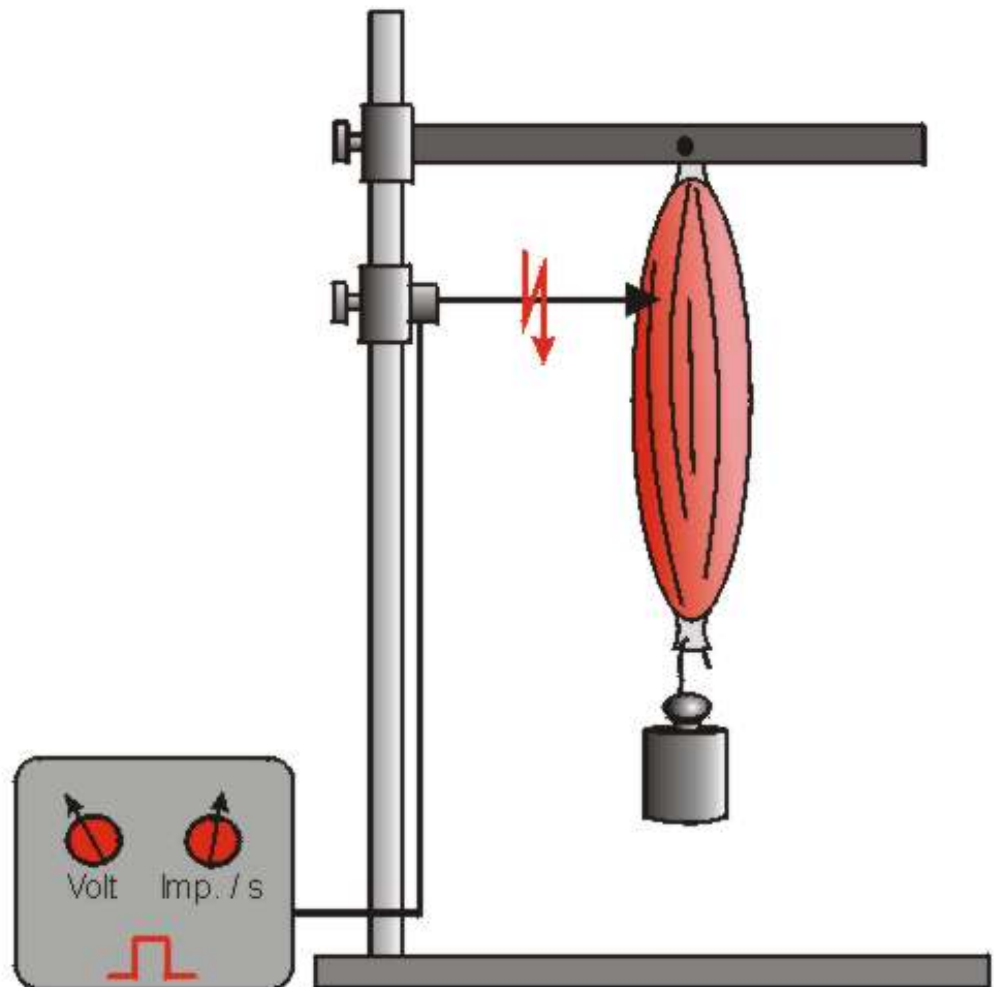
Isotone und isometrische Kontraktion

Isotone Kontraktion eines Skelettmuskels

Ein Muskel wird präpariert und an einem Stativ befestigt. Ein Gewicht wird am Muskel befestigt. Diese Last gibt eine bestimmte mechanische Muskelspannung vor, die sich während des Versuchs nicht ändert (isoton).

Durch elektrische Stimulation mit einer Elektrode wird eine Kontraktion ausgelöst. Kurze Einzelstimulationen verursachen Einzelzuckungen. Bei schnell aufeinanderfolgenden Stimulationen überlagern (summieren) sich die Einzelzuckungen zu starken Kontraktionen.

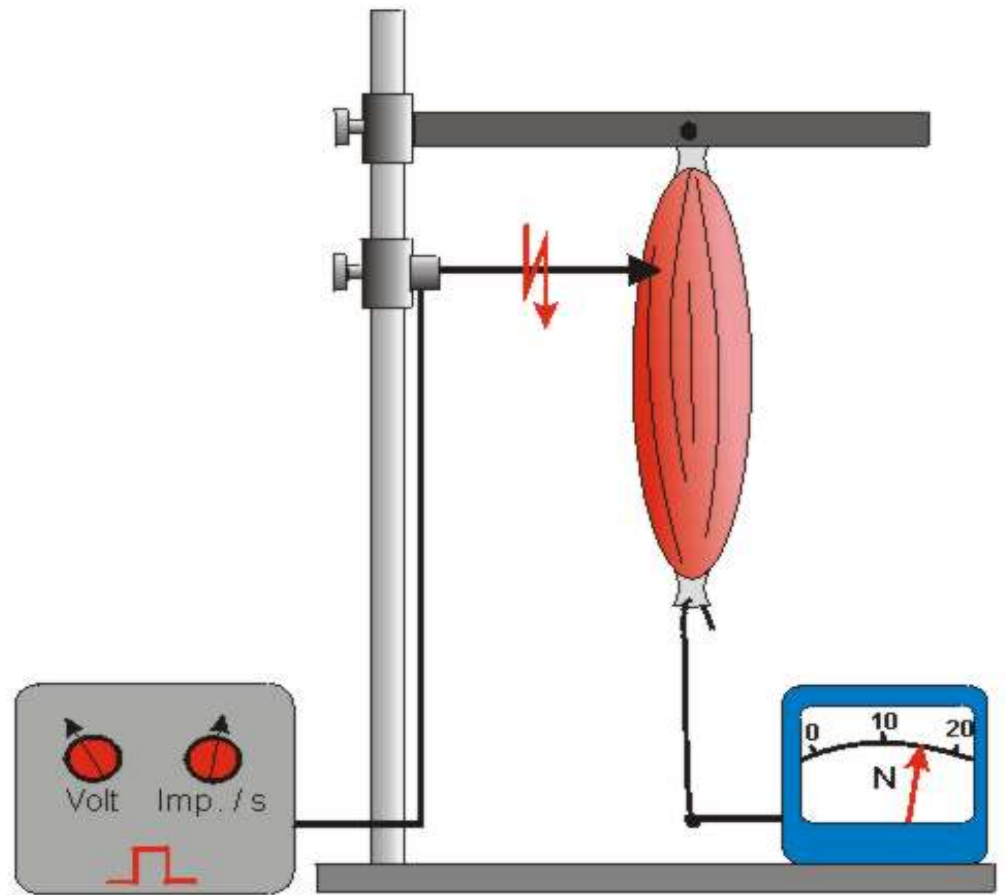
Bei isotonischen Kontraktionen werden die Sarkomere der Muskelfasern verkürzt.



Isometrische Kontraktion

Das untere Ende des Muskels wird an dem starren (nicht biegsamen) Messarm eines Kraftmessgerätes befestigt. Elektrische Stimulation erzeugt in dieser Versuchsanordnung Kraft (gemessen in Newton, N), aber der Muskel kann sich nicht verkürzen - er behält eine konstante Länge (isometrisch).

Bei der isometrischen Kontraktion bleibt auch die Länge der Sarkomere konstant, d.h. die Mikrofilamente Myosin und Actin rutschen nicht ineinander. Die Kraftentfaltung beruht dennoch auf der Nickbewegung der Myosinköpfe. Allerdings entsteht bei der isometrischen Kontraktion die Kraft nicht aus der Bewegung der Mikrofilamente sondern daraus, dass der obere Teil der Myosinmoleküle (die "Hälse") elastisch gedehnt werden.



Biologie III

Grundvorlesung Tier- und Humanphysiologie WS 2002/2003

Mo - Do, **10:00 - 10:45 Uhr**,
großer Hörsaal des Zoologischen Instituts, Im Neuenheimer Feld 230

Startseite

Termin	Titel / html-Skript	DOWNLOAD html-Skript	DOWNLOAD pdf-Datei	DOWNLOAD Powerpoint
--------	---------------------	-------------------------	-----------------------	------------------------

Vorsicht !!!
Bitte drucken Sie die Powerpoint-Dateien NICHT im URZ aus !!!
Verwenden Sie für Ausdrucke bitte die pdf-Dateien.

20.01.03	Elektro 1: Das Ruhepotential	elek01s.zip	elektro1.pdf	elektro1.ppt
21.01.03	Elektro 2: Das Aktionspotential	elek02s.zip	elektro2.pdf	elektro2.ppt
22.01.03	Synapse: Elektrokommunikation	synapses.zip	synapse.pdf	synapse.ppt
23.01.03	Muskel 1 Elektromechanische Kopplung	muskel01s.zip	muskel1.pdf	muskel1.ppt
27.01.03	Muskel 2: Muskelkontraktion	muskel02s.zip	muskel2.pdf	muskel2.ppt
28.01.03	Sinne 1:	.zip	.zip	
29.01.03	Sinne 2:	.zip	.zip	
30.01.03	Sinne 3:	.zip	.zip	
3.02.03	Sinne 4:	.zip	.zip	
04.02.03	Sinne 5	.zip	.zip	
05.02.03	Sinne 6:	.zip	.zip	
06.02.03	Sinne 7:	.zip	.zip	
10.02.03	Sinne 8:	.zip	.zip	
11.02.03	ZNS 1:	.zip	.zip	
12.02.03	ZNS 2:	.zip	.zip	

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Januar 2003

s.fring@zoo.uni-heidelberg.de

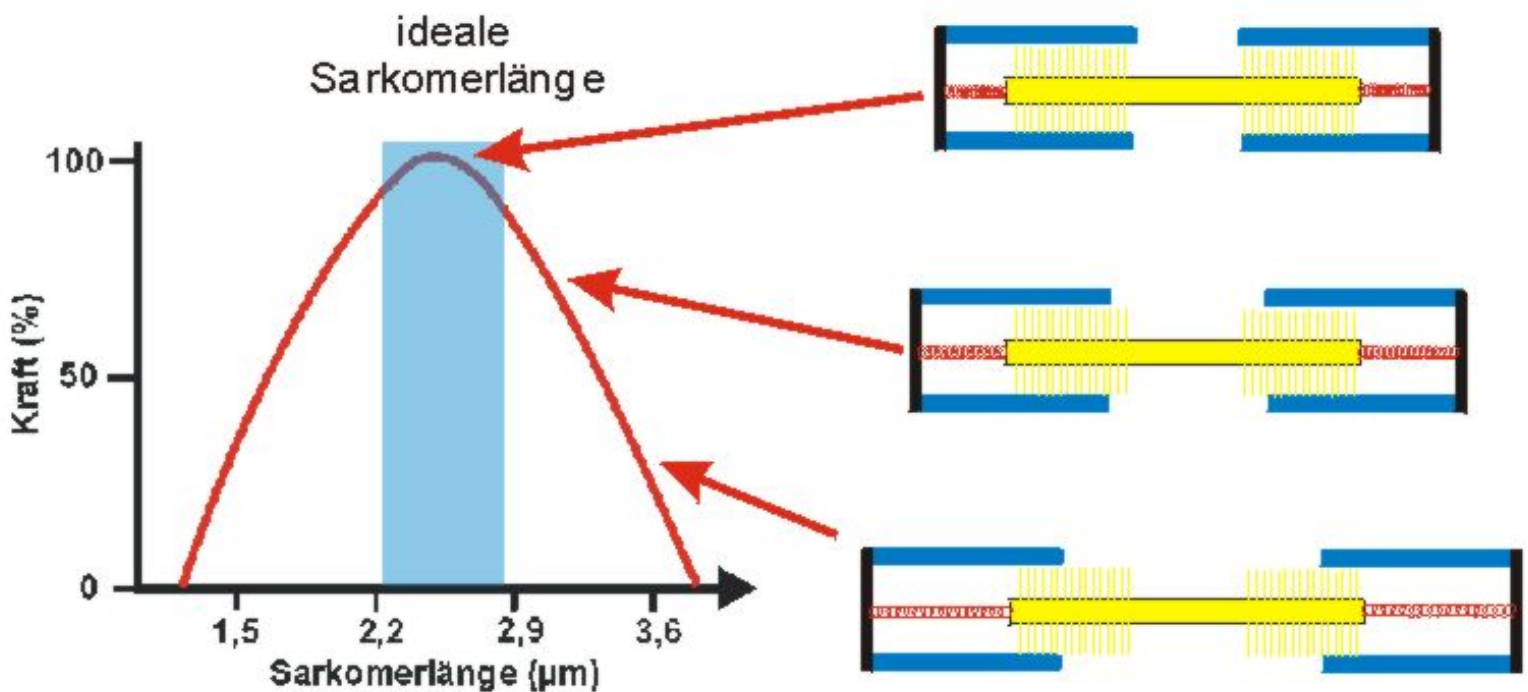
Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeleung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregeleung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspoptentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Muskeldehnung und Kontraktionskraft



Bei der optimalen Muskeldehnung entfaltet sich bei einer isometrischen Kontraktion die stärkste Kraft. Die Myosinköpfe sind optimal zu den Actinfilamenten ausgerichtet, und die Wechselwirkung zwischen den Myofilamenten wird nicht behindert (was bei zu kleiner Sarkomerlänge passiert). Je mehr der Muskel über die ideale Länge hinaus gedehnt wird, desto geringer wird seine Kontraktionskraft. Das liegt daran, dass mit zunehmender Sarkomerlänge immer weniger Myosin/Actin - Kontakte möglich sind. Das Protein **Titin (rot)** verhindert das vollständige Auseinandergleiten der Myofilamente und verleiht dem Sarkomer Elastizität. Die optimale Dehnung wird im ruhenden Muskel durch eine [Halteregeleung](#) aufrechterhalten.

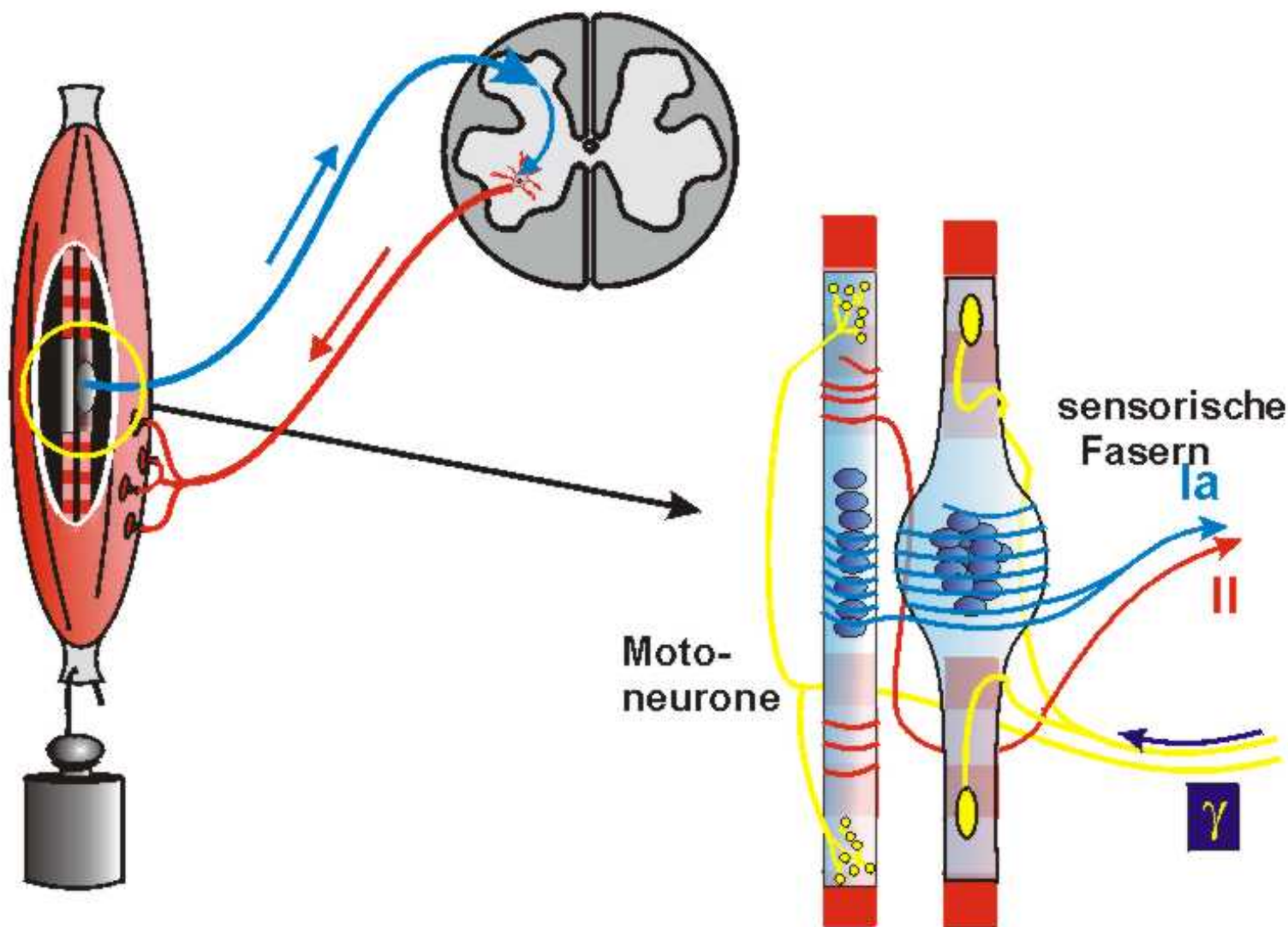
Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halterege lung](#)
- [Muskelspindeln: Folgerege lung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Muskelspindeln: Halterege lung



Links: Der Dehnungszustand von Skelettmuskeln wird von spezialisierten Muskelfasern, den Muskelspindeln, gemessen. Bei Dehnung schicken die Muskelspindeln über afferente Fasern (**blau**) ein Signal an das Rückenmark. Dort wird das Signal auf Motoneurone (**rot**) weitergegeben, die eine Kontraktion auslösen und damit die Muskellänge wider auf den Sollwert zurückführen. Dieser Dehnungsreflex entspricht einer **Halteregelung**: er sorgt für die Stabilisierung der idealen Vordehnung des Muskels.

Rechts: Aufbau der Muskelspindeln. Zwei Arten von Muskelspindeln kontrollieren die Muskelehnung: die kleineren Kernkettenfasern, die vor allem die statische Regulation (Halteregelung) des Muskels vermitteln, und die größeren Kernsackfasern, die außerdem der Kontrolle der Muskeldehnung bei Bewegungen dienen. Beide Spindeln sind im mittleren Bereich von sensorischen Nervenendigungen umwickelt. Bei Dehnung werden diese Neurone aktiviert und leiten das sensorische Signal zum Rückenmark.

Neben den sensorischen Nervenfasern (Ia und II) werden die Spindeln auch von Motoneuronen (γ -Fasern) innerviert. Diese Neurone kontrollieren die Kontraktion der Muskelspindeln und ermöglichen damit die [Folgeregelung](#) während der Bewegung.

Nach: Schmidt, R.F. & Thews, G. (1997)
Physiologie des Menschen
Springer Verlag, Berlin

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Januar 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

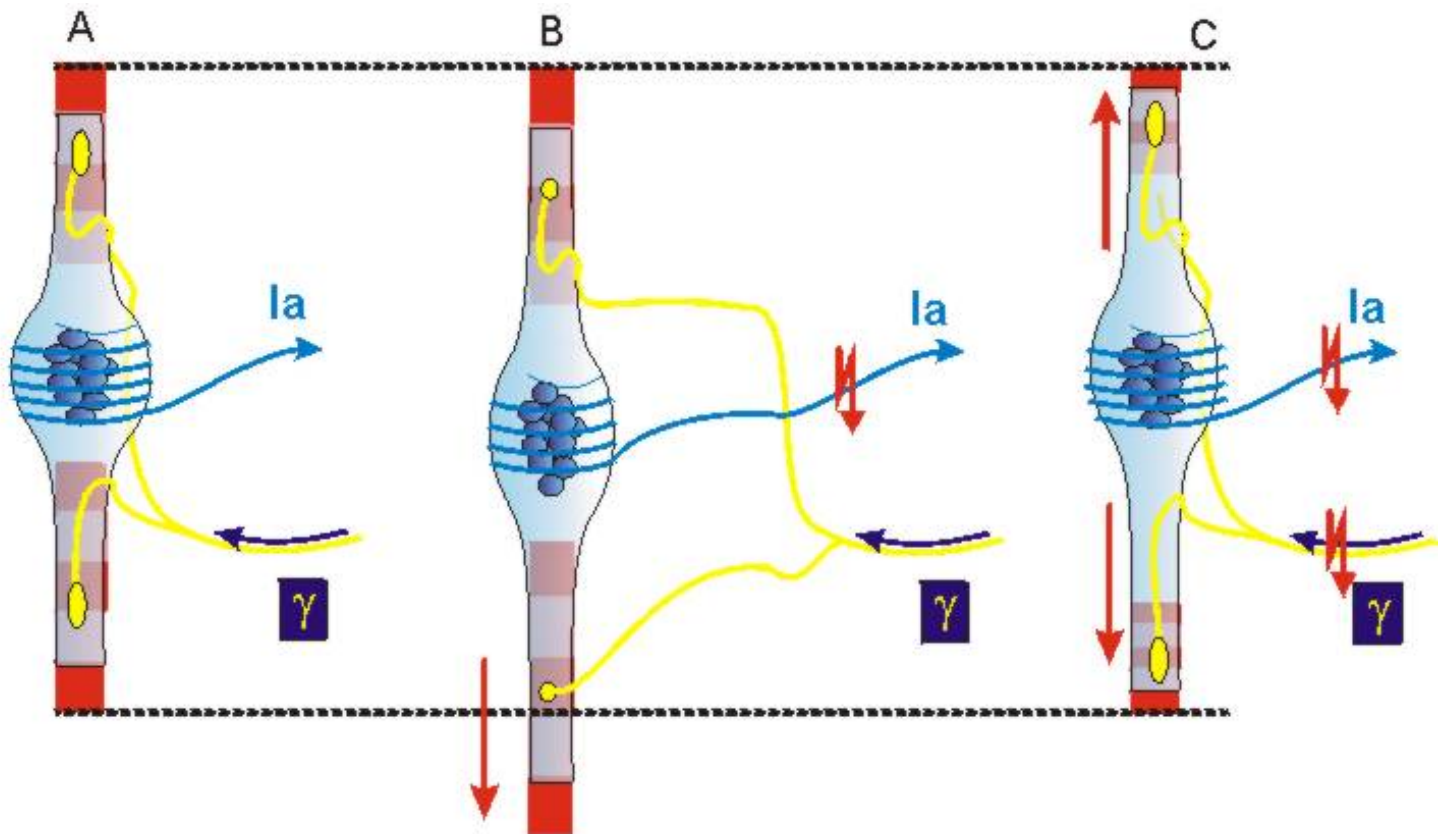
Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregelung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Muskelspindeln: Folgeregelung



Statische und dynamische Funktionen von Muskelspindeln.

A: Muskelspindel in Ruhe. Der Muskel hat die ideale Vordehnung. Kein sensorisches Signal wird erzeugt.

B: Bei Dehnung schicken die Spindeln sensorische Signale zum Rückenmark und lösen damit einen Dehnungsreflex aus. Der Sollwert der Muskeldehnung wird wiederhergestellt.

C: Die γ -Motoneurone werden vom ZNS aktiviert und lösen die Kontraktion der Sarkomere in der Spindelfaser aus. Dadurch wird der sensorische Teil der Spindel auseinandergezogen und registriert die "falsche" Information "Die Muskeldehnung ist zu groß!" Über den Dehnungsreflex wird dann der Muskel verkürzt. In dieser Weise können die kontraktilen Teile der Spindelfaser den Sollwert für den Dehnungsreflex verändern. Aufgrund der Fähigkeit zur eigenen (intrafusalen) Kontraktion können die Spindeln sich an jede Muskellänge anpassen. Sie können den Sollwert für ihren Regelkreis einer gewünschten Änderung der Muskellänge (= Bewegung) angleichen (Folgeregelung).

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

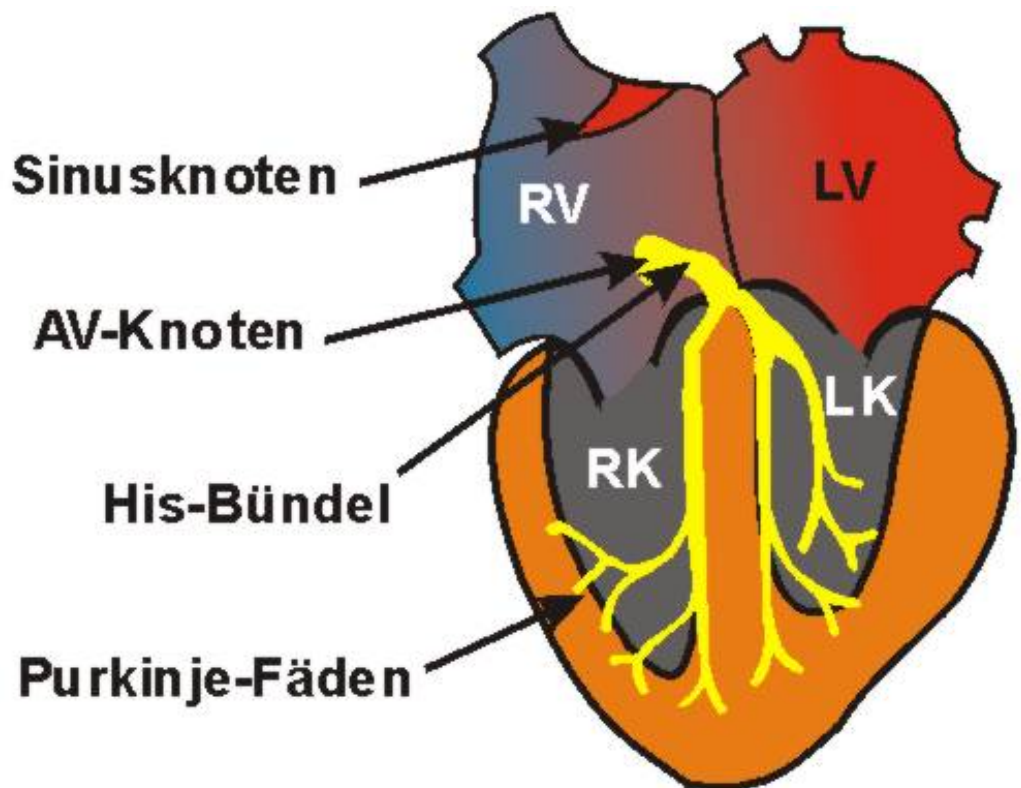
- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeleung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregeleung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Erregungsausbreitung im Herz

Die Muskelfasern des Arbeitsmyokards (der Wander der beiden Herzkammern) sind miteinander verbunden. Aus diesem Grund erfasst eine Erregung immer das gesamte Herz - das Herz verhält sich wie ein **funktionelles Synzytium**. Bei gesunder Herzfunktion geht die Erregung vom Sinusknoten aus, der sich im rechten Vorhof an der Einmündung der oberen Hohlvene befindet. Die Zellen des Sinusknotens erzeugen [Schrittmacherpotentiale](#), die das Herz bei Körperruhe mit einer Frequenz von ca 60 - 90 Schlägen pro Minute treibt.

Die Überleitung der elektrischen Erregung auf die Kammermuskulatur geschieht durch den Atrioventrikularknoten (AV-Knoten), das davon ausgehende His-Bündel sowie die Purkinje-Fäden, die die Erregung über das Arbeitsmyokard verteilen. Das Erregungsleitungssystem im Herzen wird nicht von Nervenzellen gebildet. Sinusknoten, AV-Knoten, und Leitungsfasern sind modifizierte Muskelfasern. Die rhythmische Erregung des Herzens beruht nicht auf neuronaler sondern ausschliesslich auf muskulärer Aktivität (**myogene Autorhythmie**).

Das vegetative Nervensystem hat lediglich einen modulierenden Einfluss.



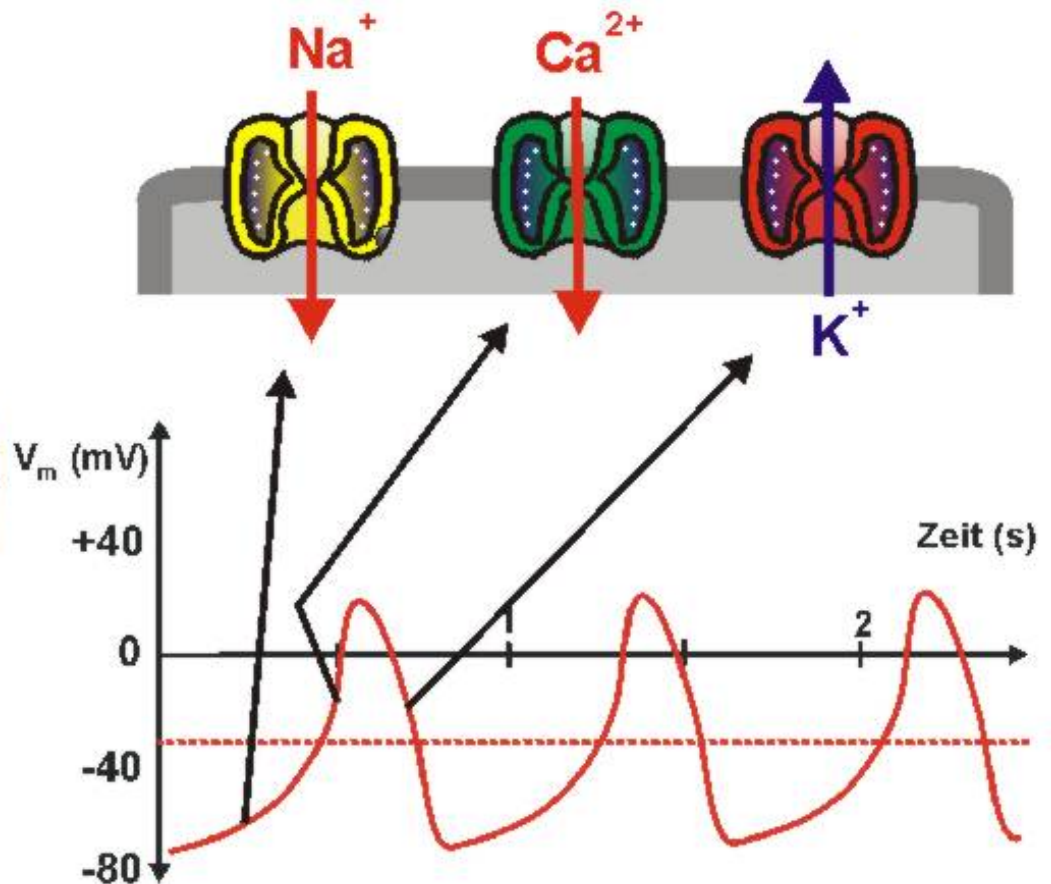
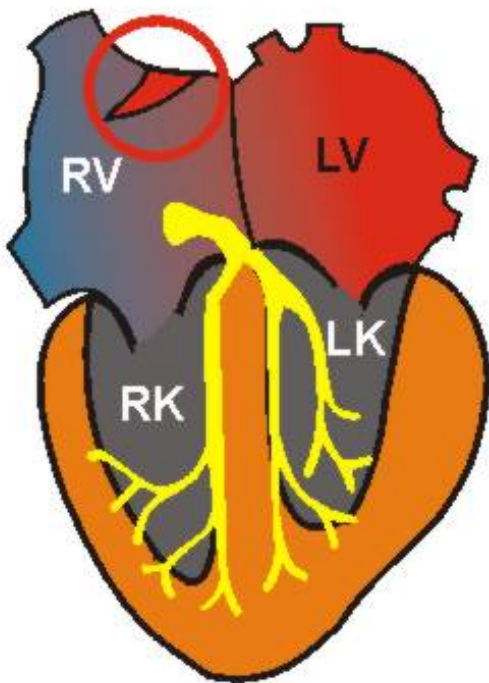
Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halterege lung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregelung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten



Eine besondere Ausstattung mit Ionenkanälen gibt den Zellen im Sinusknoten die Fähigkeit zur **rhythmischen Depolarisation**.

- (1) Ohne immer-offene Kaliumkanäle kann sich kein Ruhepotential einstellen
- (2) Hyperpolarisations-aktivierte Kationenkanäle (**gelb**) leiten Natrium in die Zellen und depolarisieren die Membran bis zum Schwellenpotential, das bei etwa -30 mV liegt.
- (3) Beim Schwellenpotential öffnen spannungsgesteuerte Calciumkanäle (**grün**) und bringen das Membranpotential bis auf positive Werte. Dabei schließen die hyperpolarisations-aktivierten Kationenkanäle.
- (4) Spannungsgesteuerte Kaliumkanäle (**rot**), die nur sehr langsam öffnen, repolarisieren die Membran. Im Bereich von -70 mV schließen diese Kanäle und die hyperpolarisations-aktivierten Kationenkanäle gehen wieder auf.

Das hierbei entstehende Aktionspotential ist sehr viel langsamer als das [Aktionspotential in Nervenzellen](#) (das ist 100-1000 mal schneller!). Im Gegensatz zu anderen erregbaren Zellen, haben die Zellen des Sinusknotens nicht die Möglichkeit, die Erregung einzustellen - sie haben keinen Ruhezustand. Dadurch sind sie zuverlässige Schrittmacher für den Herzschlag.

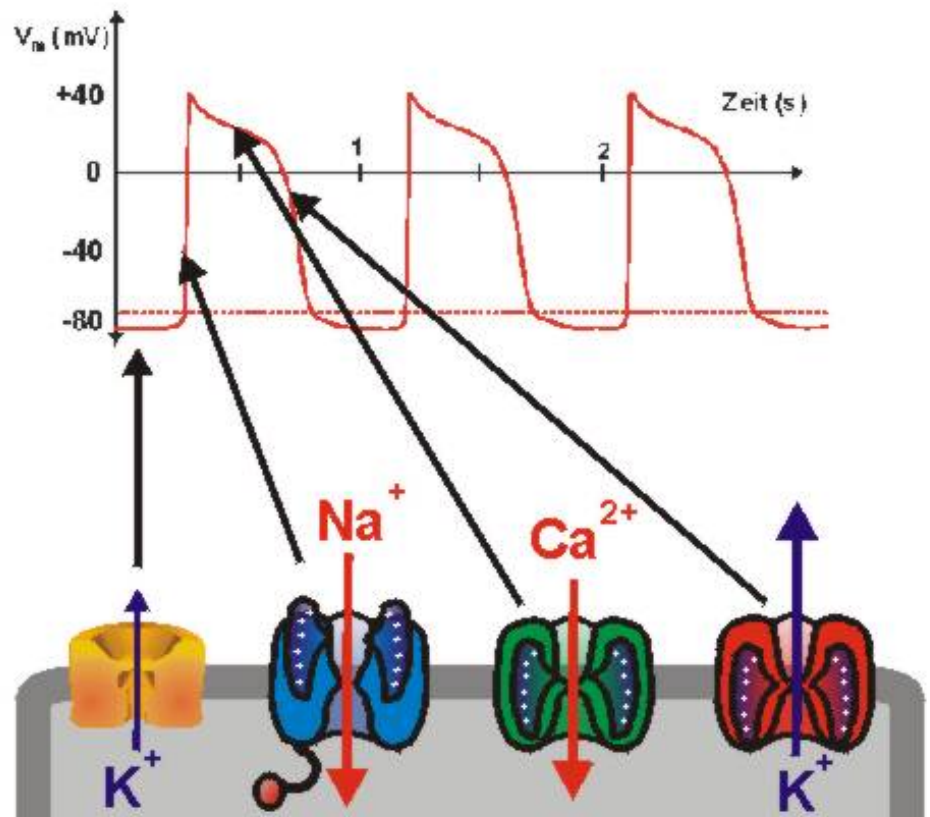
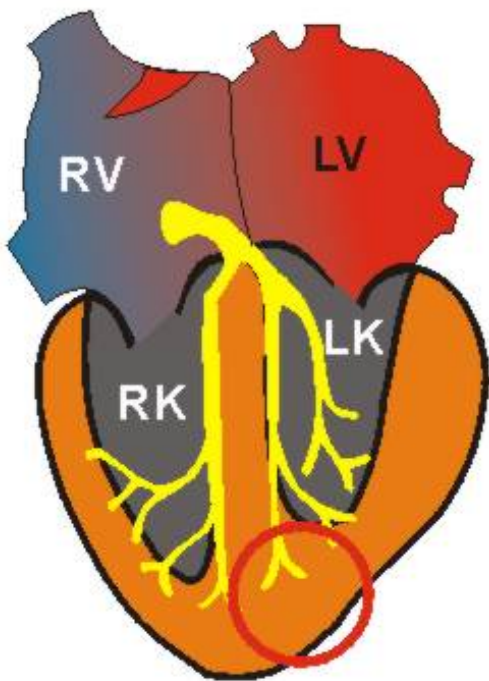
Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeleung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregeleung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Aktionspotentiale im Myokard



Die zusammengeschalteten Muskelfasern in den Herzkammern (Arbeitsmyokard) zeigen eine charakteristische Form von Aktionspotentialen. Diese Fasern besitzen immer-offene Kaliumkanäle (**orange**) und haben infolgedessen ein Ruhepotential bei etwa -80 mV. Wenn ein Schrittmacherpotential aus dem Reizleitungssystem im Myokard ankommt, laufende folgende Ereignisse ab:

- (1) Schon bei einem Schwellenpotential von etwa -70 mV öffnen sich spannungsgesteuerte Natriumkanäle (**blau**), eine Isoform der Natriumkanäle in Nervenzellen. Natrium-Einstrom verursacht eine schnelle Depolarisation bis auf positive Werte. Nach wenigen Millisekunden inaktivieren die Natriumkanäle.
- (2) Calciumkanäle (**grün**) werden durch die Depolarisation geöffnet. Sie halten mehrere Hundert Millisekunden lang einen Ca-Einstrom aufrecht, der die [Kontraktion des Herzmuskels](#) auslöst und das Membranpotential auf positiven Werten hält.
- (3) Mit Verzögerung öffnen Kaliumkanäle (**rot**) und repolarisieren die Zelle.

Während der anhaltenden Depolarisation, die von den Calciumkanälen verursacht wird (Plateauphase), bleiben die Natriumkanäle inaktiviert (die Inaktivierungskugel bleibt an die Pore gebunden). Während dieser Zeit kann der Muskel nicht erneut erregt werden - er ist refraktär. Diese langanhaltende Refraktärphase ist wichtig für die koordinierte, rhythmische Kontraktion und damit für die Pumpwirkung des Herzens.

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

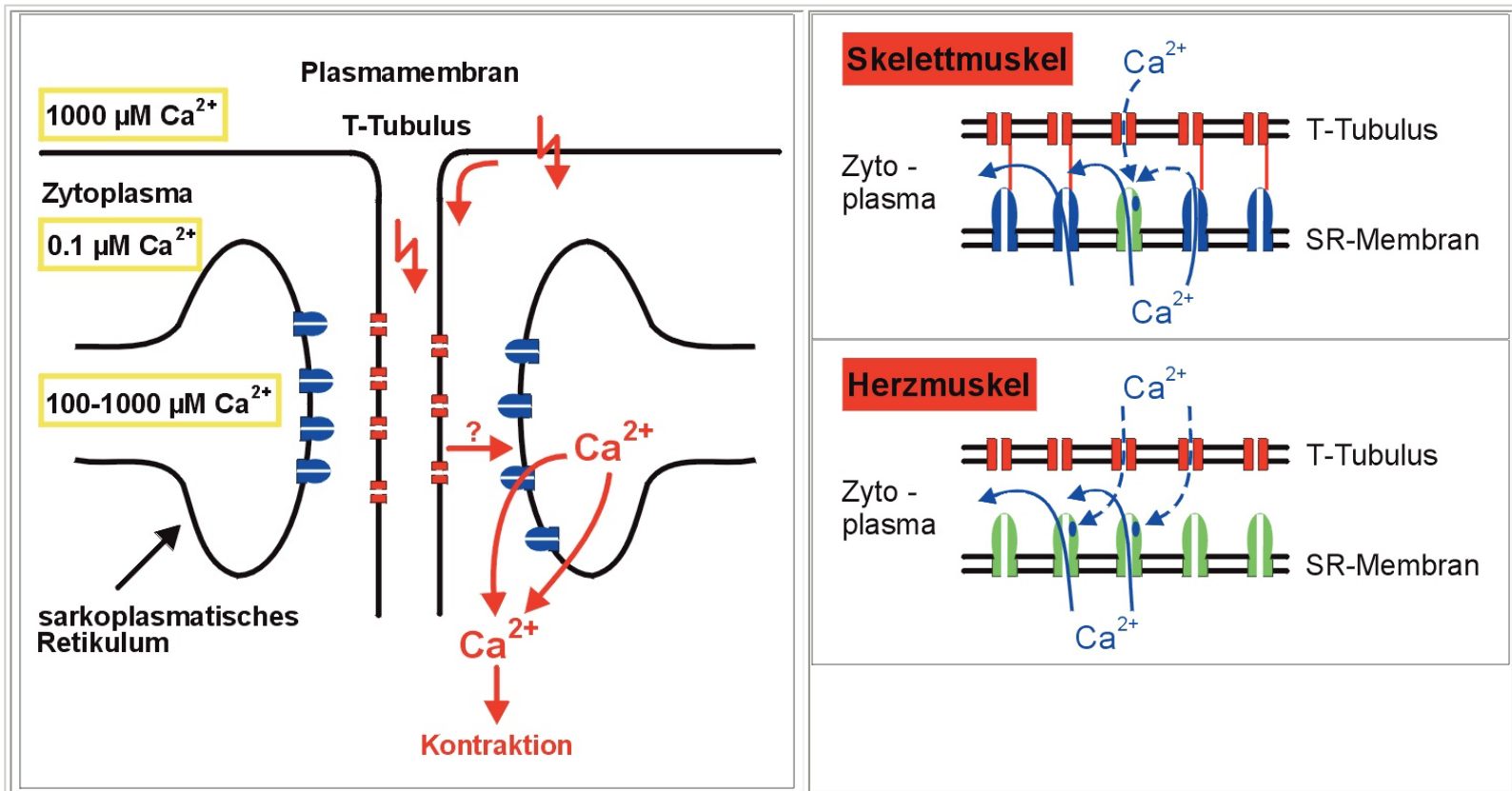
Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeleung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregeleung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Calcium-Einstrom und Kontraktion



Die elektromechanische Kopplung verläuft im Herzmuskel ganz ähnlich wie im [Skelettmuskel](#). Es gibt aber einen wichtigen Unterschied bei der Calciumfreisetzung. Die Isoform von Ryanodinrezeptoren, die bei Herzmuskelzellen das Calcium aus dem sarkoplasmatischen Retikulum freisetzt, wird **nicht** durch direkte mechanische Wechselwirkung mit den [Dihydropyridinrezeptoren](#) in den T-Tubulusmembran gesteuert. Die Ryanodinrezeptoren im Herz sind vielmehr calciumgesteuerte Calciumkanäle - sie werden durch die Bindung von Calcium geöffnet, das während des Plateauphase des Aktionspotentials in die Herzmuskelfasern gelangt. Die Kontraktion des Herzmuskels ist daher abhängig von extrazellulärem Calcium. Dies ergibt die Möglichkeit, die Kontraktionskraft des Herzens pharmakologisch zu beeinflussen: Calciumantagonisten (z.B. Nifedipin) sind Wirkstoffe, die die Dihydropyridinrezeptoren blockieren. Dadurch wird der Calciumeinstrom vermindert, die Calciumfreisetzung abgeschwächt und die Kontraktionskraft gedämpft.

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Muskel 2

Kontraktion von Skelett und Herzmuskel

Themen:

- [Isotone und isometrische Kontraktion](#)
- [Muskeldehnung und Kontraktionskraft](#)
- [Muskelspindeln: Halteregeleung](#)
- [Muskelspindeln: Folgeregeleung](#)
- [Erregungsausbreitung im Herz](#)
- [Das Schrittmacherpotential im Sinusknoten](#)
- [Aktionspotentiale im Myokard](#)
- [Calcium-Einstrom und Kontraktion](#)
- [Zusammenfassung](#)

Zusammenfassung

- Kontraktion des Skelettmuskels kann isoton, isometrisch oder auxoton verlaufen
- Die Kontraktionskraft hängt von der Ruhedehnung ab.
- Muskelspindeln messen die Muskeldehnung und treiben einen Dehnungsreflex.
- Das Herz ist ein funktionelles Synzytium.
- Der Herzmuskel zeigt myogene, autorhythmische Kontraktion.
- Der Kontraktionsrhythmus wird durch die Schrittmacherpotentiale des Sinusknotens gesteuert.
- Spezialisierte Faserbündel sorgen für die Ausbreitung der Erregung.
- Die Aktionspotentiale des Arbeitsmyokards werden durch Calciumkanäle verlängert.
- Die Ryanodinrezeptoren in Herzmuskelzellen sind calciumgesteuerte Calciumkanäle.

