

Muskelkater

Monika Lucia Bayer

Institute of Sports Medicine Copenhagen
Bispebjerg Hospital, University of Copenhagen

starFachtagung Zürich November 17 2018

Monika.lucia.bayer@regionh.dk

Muskelkater: Übersicht

- Was ist Muskelkater? (Und was ist es nicht?)
- Ist Muskelkater = Entzündung = Muskelverletzung?
- Verschiedene Typen Muskelverletzungen
- Regenerationsverlauf von verschiedenen Komponenten
- Repeated bout effect

Muskelkater Grundlagen

- Muskelkater im englischen: "delayed onset of muscle soreness" DOMS
- Muskelkater ist **ein Symptom** bei "Trainingsbedingter Muskelverletzung", *Exercise-induced muscle damage*
- Andere Symptome sind: Rückgang von maximaler Muskelkraft und Power, reduzierte Bewegungsumfang, Schwellung, Austritt von Kreatin Kinase/ Myoglobin, Ultra-strukturelle Veränderungen in den Muskelfasern, Entzündungsprozesse
- Muskelkater tritt auch **ohne Verletzungen oder Entzündungsprozessen** auf
- Muskelkater spürbar auch wenn das Muskelgewebe intakt ist



Table 3 Comprehensive muscle injury classification: type-specific definitions and clinical presentations

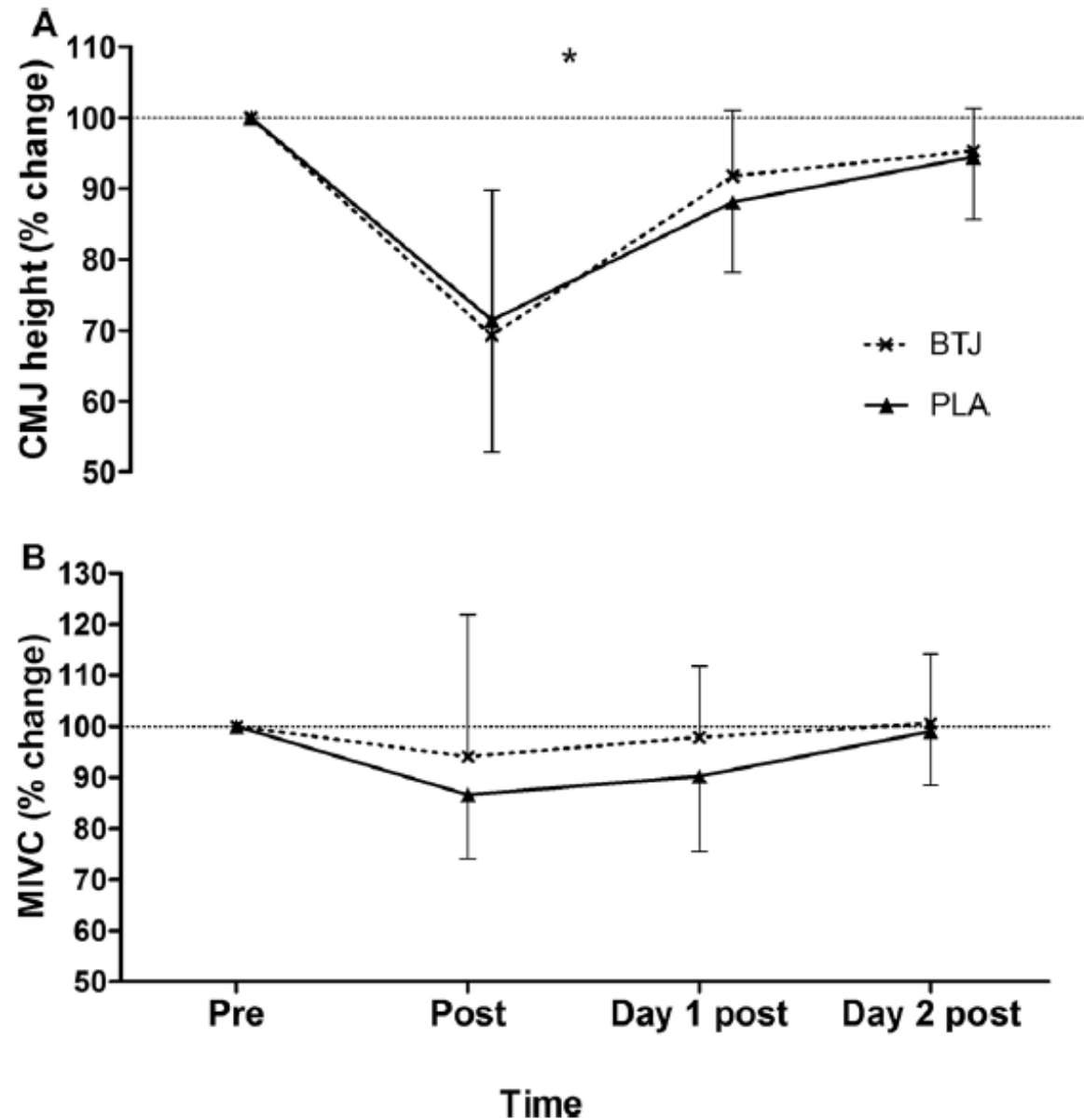
Type	Classification	Definition	Symptoms	Clinical signs	Location	Ultrasound/MRI
1A	Fatigue-induced muscle disorder	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone (muscle firmness) due to overexertion, change of playing surface or change in training patterns	Aching muscle firmness. Increasing with continued activity. Can provoke pain at rest. During or after activity	Dull, diffuse, tolerable pain in involved muscles, circumscribed increase of tone. Athlete reports of 'muscle tightness'	Focal involvement up to entire length of muscle	Negative
1B	Delayed-onset muscle soreness (DOMS)	More generalised muscle pain following unaccustomed, eccentric deceleration movements.	Acute inflammatory pain. Pain at rest. Hours after activity	Oedematous swelling, stiff muscles. Limited range of motion of adjacent joints. Pain on isometric contraction. Therapeutic stretching leads to relief	Mostly entire muscle or muscle group	Negative or oedema only
2A	Spine-related neuromuscular muscle disorder	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone (muscle firmness) due to functional or structural spinal/lumbopelvic disorder.	Aching muscle firmness. Increasing with continued activity. No pain at rest	Circumscribed longitudinal increase of muscle tone. Discrete oedema between muscle and fascia. Occasional skin sensitivity, defensive reaction on muscle stretching. Pressure pain	Muscle bundle or larger muscle group along entire length of muscle	Negative or oedema only
2B	Muscle-related neuromuscular muscle disorder	Circumscribed (spindle-shaped) area of increased muscle tone (muscle firmness). May result from dysfunctional neuromuscular control such as reciprocal inhibition	Aching, gradually increasing muscle firmness and tension. Cramp-like pain	Circumscribed (spindle-shaped) area of increased muscle tone, oedematous swelling. Therapeutic stretching leads to relief. Pressure pain	Mostly along the entire length of the muscle belly	Negative or oedema only

3A	Minor partial muscle tear	Tear with a maximum diameter of less than muscle fascicle/bundle.	Sharp, needle-like or stabbing pain at time of injury. Athlete often experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain	Well-defined localised pain. Probably palpable defect in fibre structure within a firm muscle band. Stretch-induced pain aggravation	Primarily muscle–tendon junction	Positive for fibre disruption on high resolution MRI*. Intramuscular haematoma
3B	Moderate partial muscle tear	Tear with a diameter of greater than a fascicle/ bundle	Stabbing, sharp pain, often noticeable tearing at time of injury. Athlete often experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain. Possible fall of athlete	Well-defined localised pain. Palpable defect in muscle structure, often haematoma, fascial injury Stretch-induced pain aggravation	Primarily muscle–tendon junction	Positive for significant fibre disruption, probably including some retraction. With fascial injury and intermuscular haematoma
4	(Sub)total muscle tear/tendinous avulsion	Tear involving the subtotal/ complete muscle diameter/ tendinous injury involving the bone–tendon junction	Dull pain at time of injury. Noticeable tearing. Athlete experiences a 'snap' followed by a sudden onset of localised pain. Often fall	Large defect in muscle, haematoma, palpable gap, haematoma, muscle retraction, pain with movement, loss of function, haematoma	Primarily muscle–tendon junction or Bone–tendon junction	Subtotal/complete discontinuity of muscle/ tendon. Possible wavy tendon morphology and retraction. With fascial injury and intermuscular haematoma

Muskelkater Grundlagen

- Ungewohntes Training mit hoher Belastung kann zu Muskelkater führen
- Extreme Protokolle notwendig um ultrastrukturelle Veränderungen in Muskeln aufzuweisen
- Muskelfaser-Nekrose (Zelltot)/ Teile der Muskelfaser nur in Extrem-Fällen der Fall
- Beispiele: 70 maximale exzentrische Kontraktionen mit Biceps Brachii in untrainierten Versuchspersonen, 300 maximale exzentrische Kontraktionen Quadriceps, 210 maximale exzentrische Kontraktionen
- Supra-Physiologisch: 210 x passive Verlängerung der Quadricepsmuskulatur zeitgleich elektrische Stimulation des Vastus Lateralis
- Markanter Verlust von Maximalkraft Indikator von Muskelverletzung





- 34 erfahrene Marathon Läufer
- Durchschnittliche Zielzeit: ~4 Stunden
- Sehr begrenzter Verlust von maximaler Kraft
- Anstieg der CK Aktivität in den Tagen nach dem Marathonlauf

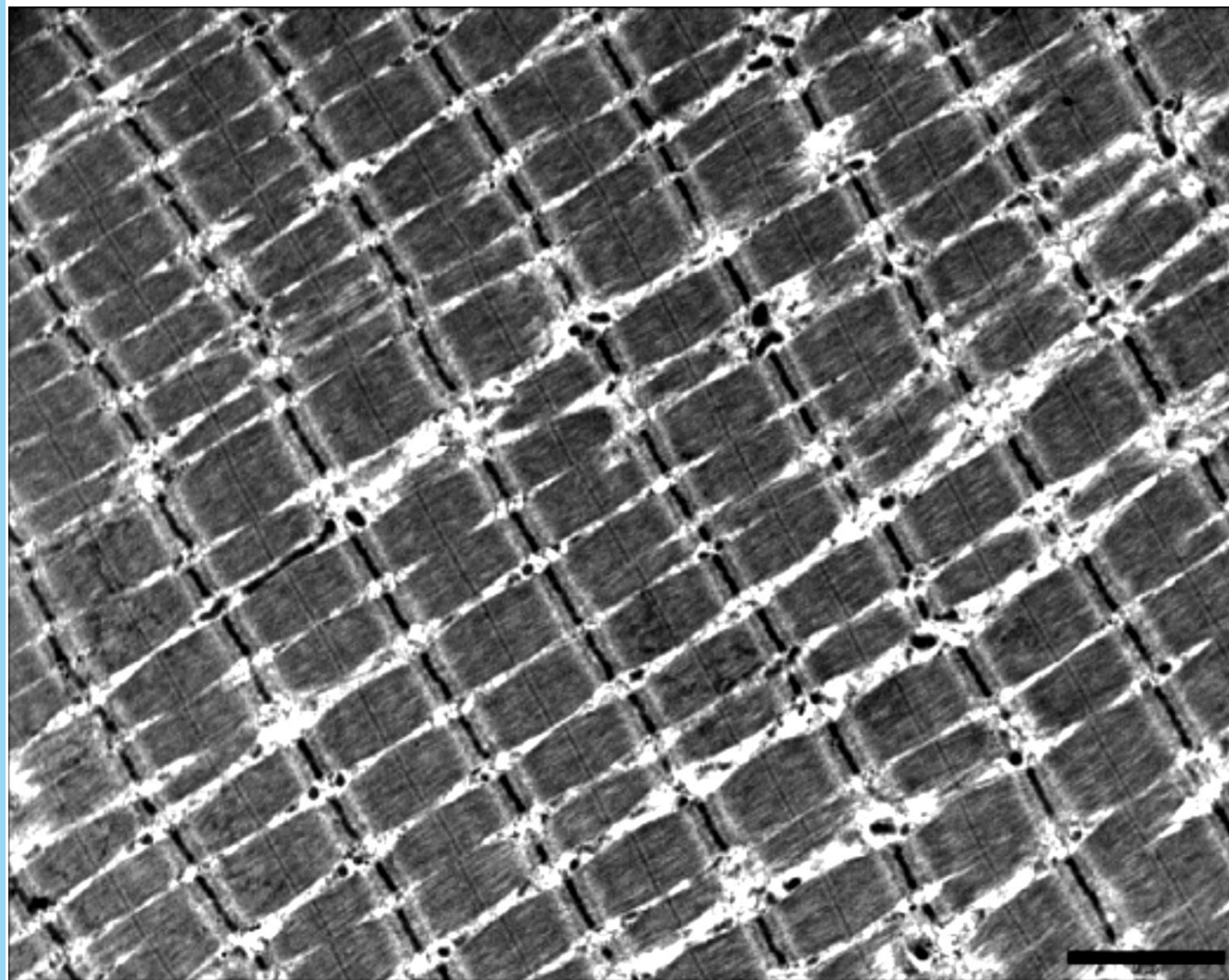
Muskelkater Grundlagen

- Exzentrische versus konzentrische Muskelkontraktionen fundamental verschieden
- Konzentrisch: Muskel verkürzt sich während der Kontraktion
- Exzentrisch: Muskel "gezwungenermassen" verlängert während Muskelkontraktion
- Studie Lavender et al. 2006: Ein Arm arbeitet konzentrisch, der 2. Arm exzentrisch
- 6x 5 Wiederholungen, Einheiten zeitlich getrennt (4-6 Wochen)
- Minimaler Muskelkater nach konzentrischen Bewegungen, signifikant höher nach exzentrischen Kontraktionen

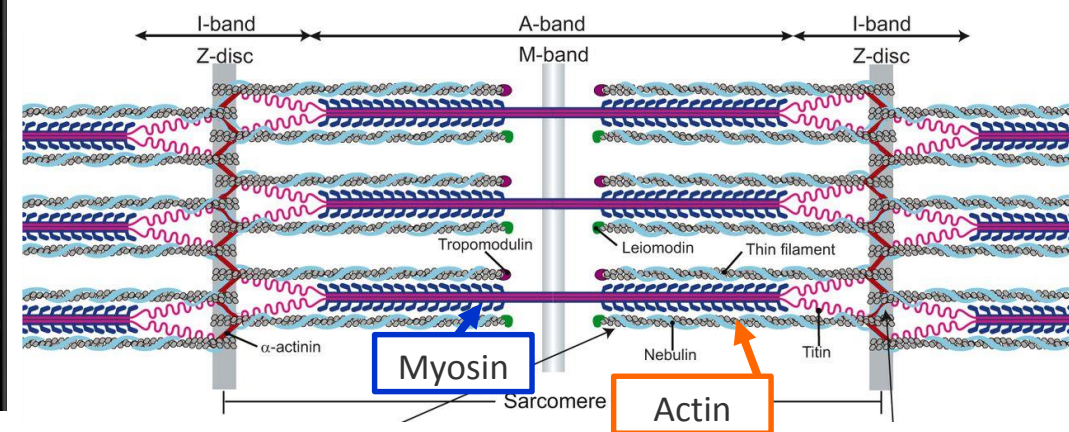
		Pre	Post	1	24	48	72	96	120
MVC (% pre)	CON	100	71.5 ± 4.3	76.9 ± 3.8	90.2 ± 3.4	95.7 ± 3.1	97.6 ± 3.0	97.9 ± 2.7	98.6 ± 3.4
	ECC	100	36.9 ± 4.2*	42.3 ± 4.8*	46.7 ± 3.9*	51.2 ± 4.9*	52.1 ± 4.9*	56.4 ± 5.0*	60.3 ± 5.6*
ROM (Δ °)	CON	0	-5.9 ± 1.3	-3.9 ± 0.8	-3.3 ± 1.0	-1.8 ± 0.7	-1.4 ± 0.7	-0.8 ± 0.5	-0.8 ± 0.4
	ECC	0	-27.1 ± 4.2*	-23.6 ± 2.0*	-21.2 ± 2.2*	-24.1 ± 3.1*	-29.3 ± 4.1*	-29.7 ± 4.8*	-24.0 ± 4.5*
CIR (Δ mm)	CON	0	9.9 ± 1.5	4.3 ± 0.9	2.8 ± 0.7	3.3 ± 1.2	3.7 ± 1.2	2.7 ± 0.6	1.8 ± 0.5
	ECC	0	6.4 ± 0.8	3.3 ± 0.8	5.4 ± 0.9	9.9 ± 1.2*	15.8 ± 2.9*	18.9 ± 3.5*	22.2 ± 3.1*
Soreness (mm)	CON	0	—	7.0 ± 3.2	4.8 ± 2.6	0.8 ± 0.6	0.1 ± 0.1	0	0
	ECC	0	—	37.8 ± 2.6*	39.3 ± 2.5*	37.3 ± 3.3*	29.5 ± 4.3*	22.3 ± 5.0*	11.2 ± 3.3*
CK (IU/L)	CON	150 ± 28	—	—	151 ± 15	154 ± 17	151 ± 13	137 ± 8	148 ± 13
	ECC	120 ± 15	—	—	1,143 ± 468*	3,243 ± 1,214*	7,524 ± 2,451*	10,601 ± 2,964*	9,891 ± 2,615*
Mb (ng/ml)	CON	25.0 ± 1.6	—	—	24.7 ± 1.8	24.7 ± 2.0	27.3 ± 1.8	26.4 ± 2.1	23.3 ± 1.7
	ECC	27.0 ± 1.9	—	—	115.5 ± 45.9*	386.7 ± 170.3*	733.4 ± 190.5*	645.0 ± 132.9*	428.8 ± 117.5*

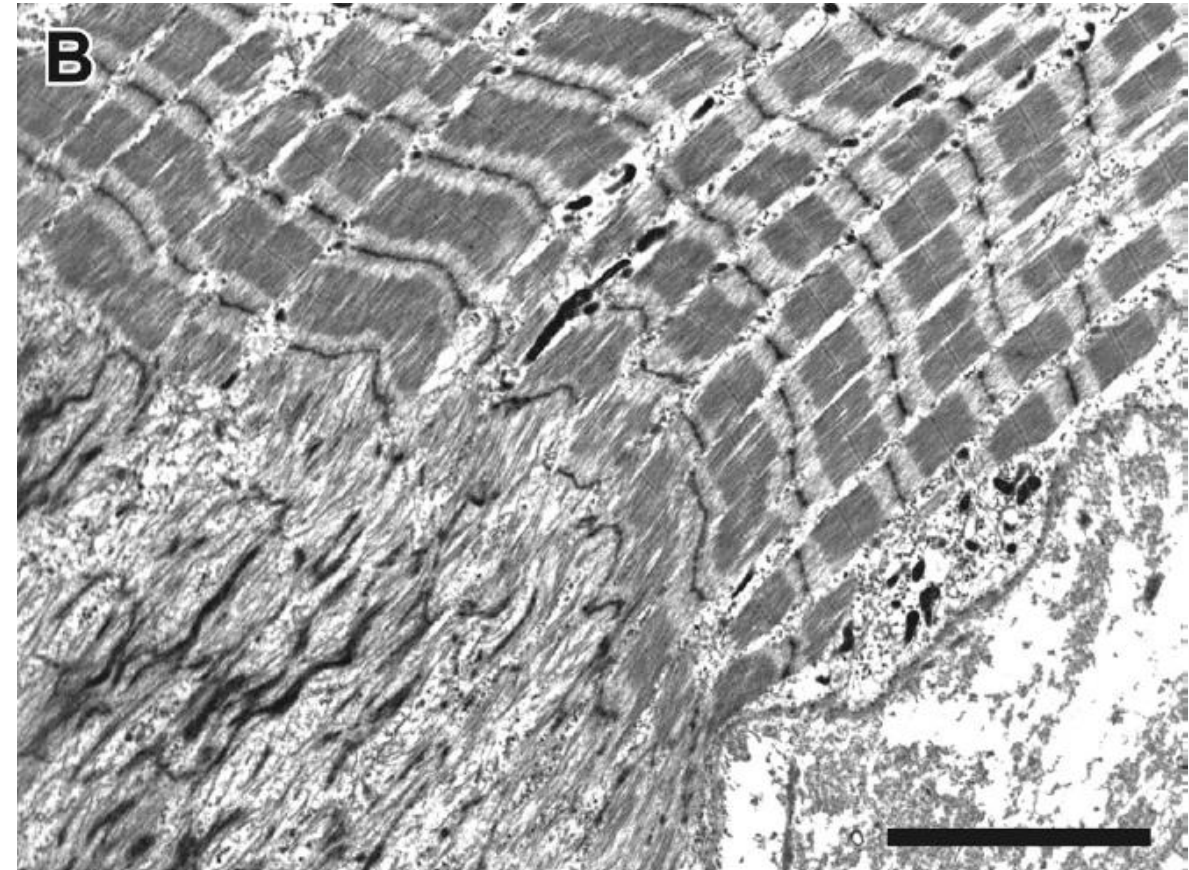
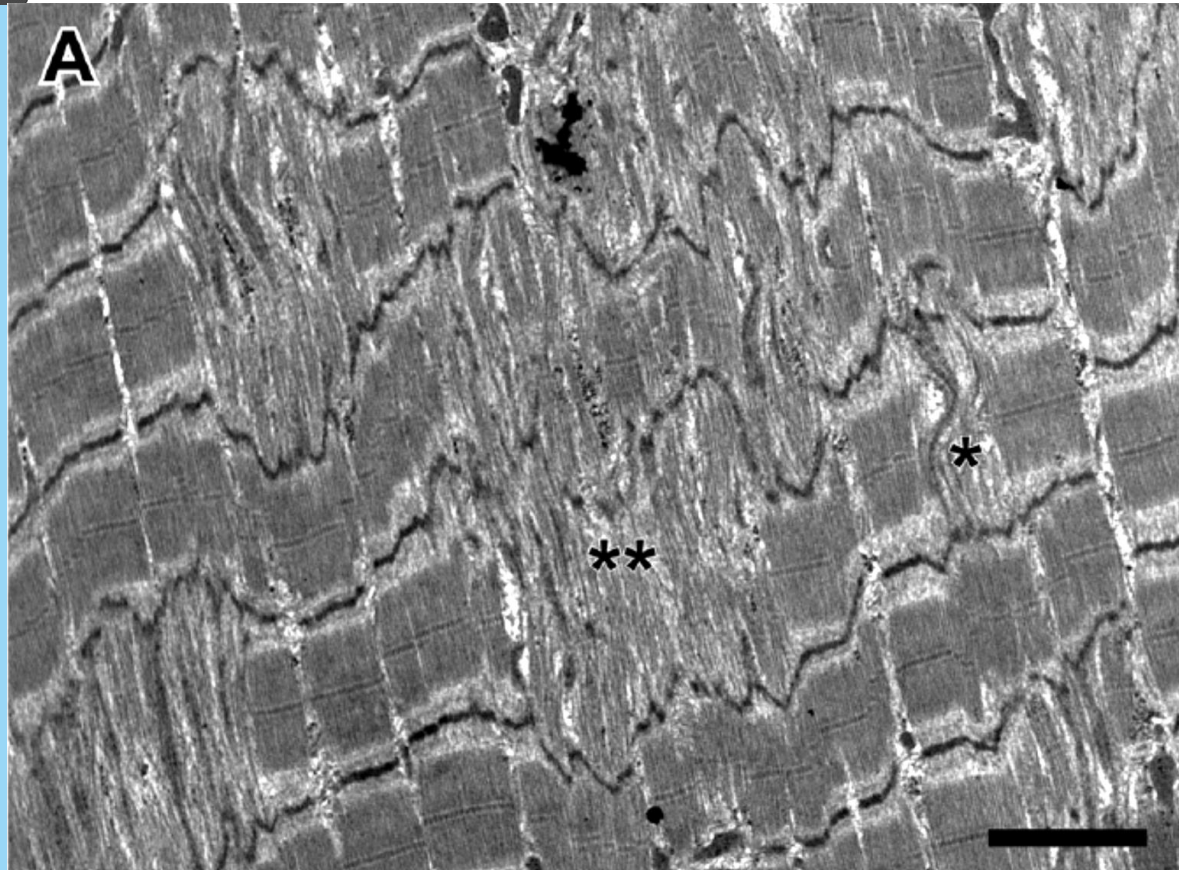
Mean ± SEM values of 12 subjects are shown. * Indicates significant difference ($P < 0.05$) between CON and ECC.

- 1. Arm konzentrisch CON, 2. Arm exzentrische ECC Muskelkontraktionen
- Signifikante Verringerung der Maximalkraft nur bei ECC
- CK im Blut nur bei ECC auffindbar



- Elektron Mikroskopie
- Ultra-Struktur von Muskelfasern
- Normaler Muskel:
- Geordnete Sarkomer-Anordnung mit regelmässiger Z-Linien Struktur

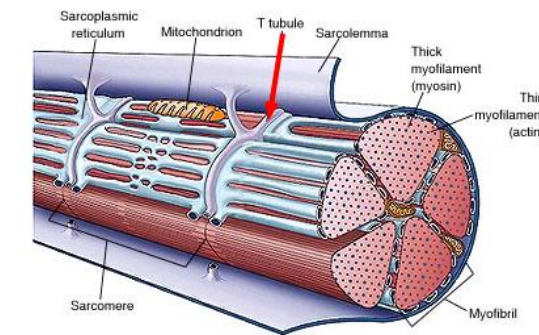




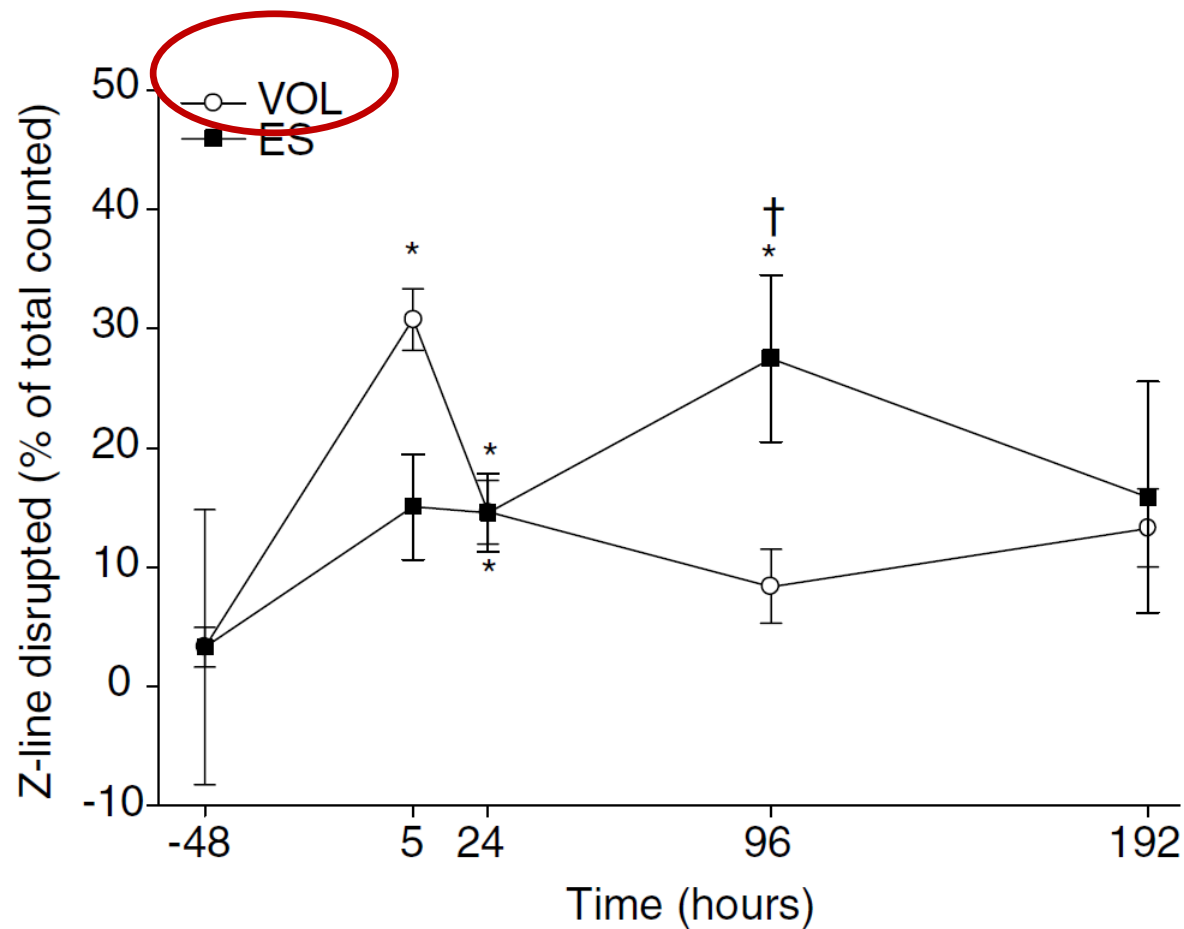
- Sarkomer-Beschädigung nach exzentrischer Muskelarbeit
- A: Moderate Beschädigung; B: Schwerwiegende Beschädigung

Muskelkater Veränderungen nach maximalen exzentrischen Muskelkontraktionen

- Sarcomere werden über- stretcht
- Sarcolemma und T-Tubuli Systeme werden beschädigt
- CK/ Myoglobin sind intra-zelluläre Proteine, Austritt ins Blut Anzeichen einer erhöhten Durchlässigkeit des Sarcolemmas
- Stretch-activated Kanäle werden geöffnet
- Zell-Membran Beschädigungen
- Calcium (Ca^{2+})-Einfluss in die Muskelfasern
- Ca^{2+} stimuliert Calpain (= Protease), baut myofibrilläre Proteine ab

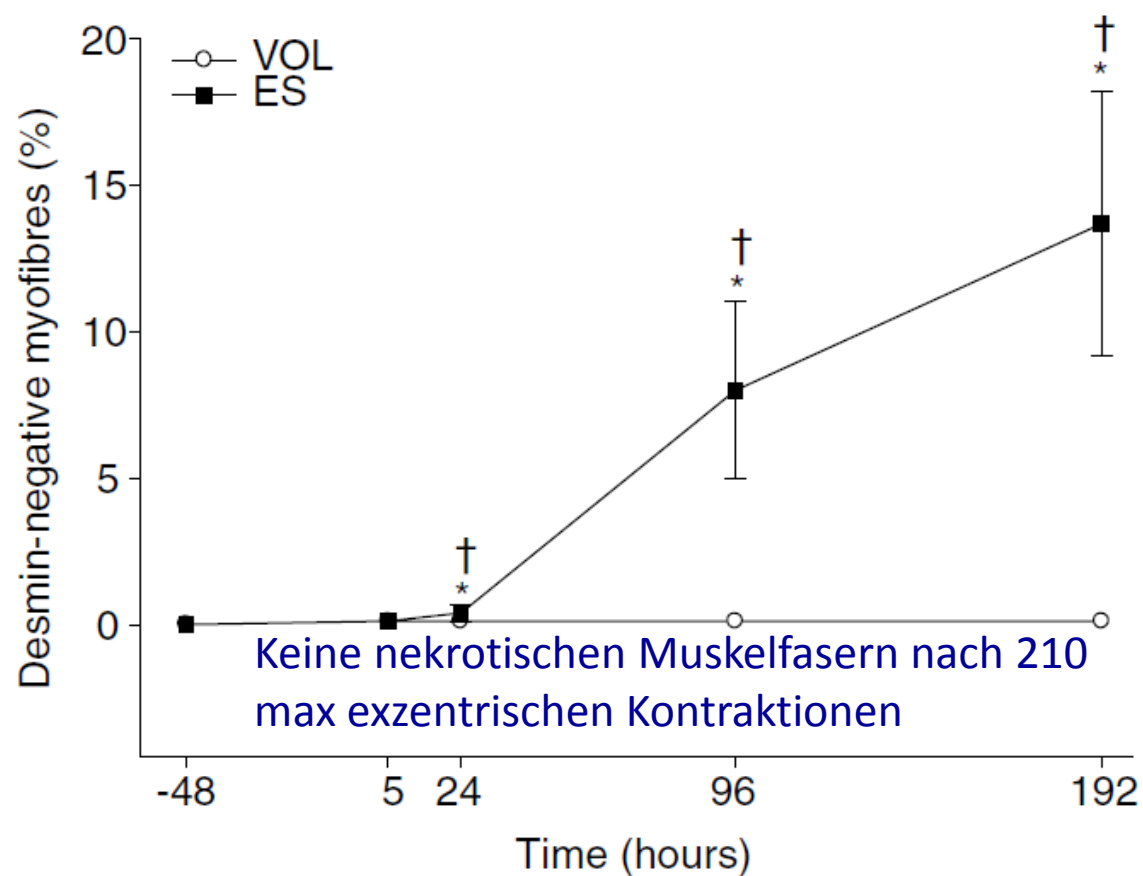


Muskelkater Veränderungen nach maximalen exzentrischen Muskelkontraktionen

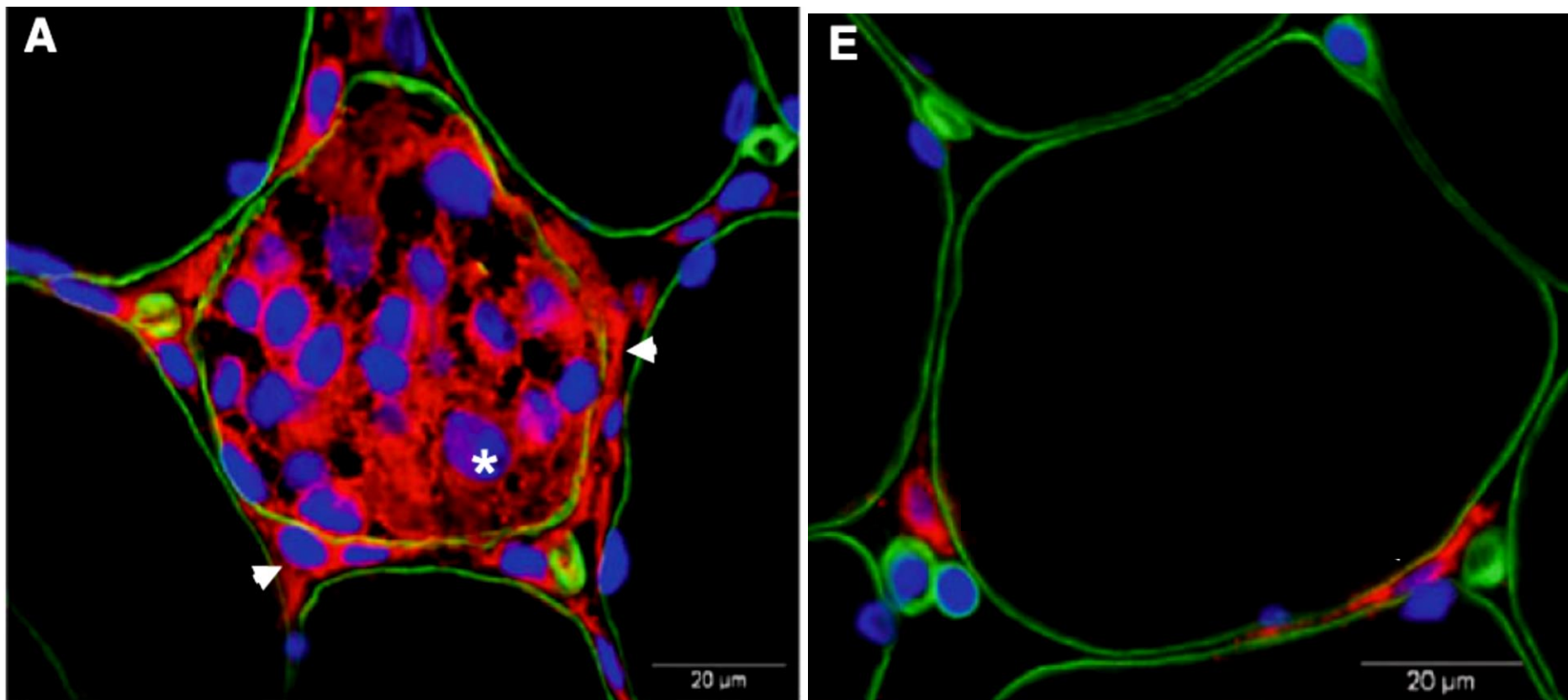


- VOL: 1. Bein: 210 maximale exzentrische Muskelkontraktionen
- ES: 2. Bein 210 passive Bein-Verlängerungen + elektrische Stimulation
- Quantifizierung von beschädigten Z-Linien

Muskelkater Veränderungen nach maximalen exzentrischen Muskelkontraktionen



- VOL: 1. Bein: 210 maximale exzentrische Muskelkontraktionen
- ES: 2. Bein 210 x elektrische Stimulation während Muskel-Verlängerung
- Quantifizierung von desmin-negativen Muskelfasern (Muskelfaser-Nekrose)
- Keine Anhäufung von intrazellulären Leukozyten in VOL



Laminin
(Basalmembran)

CD68
(Makrophage)

Zellkern

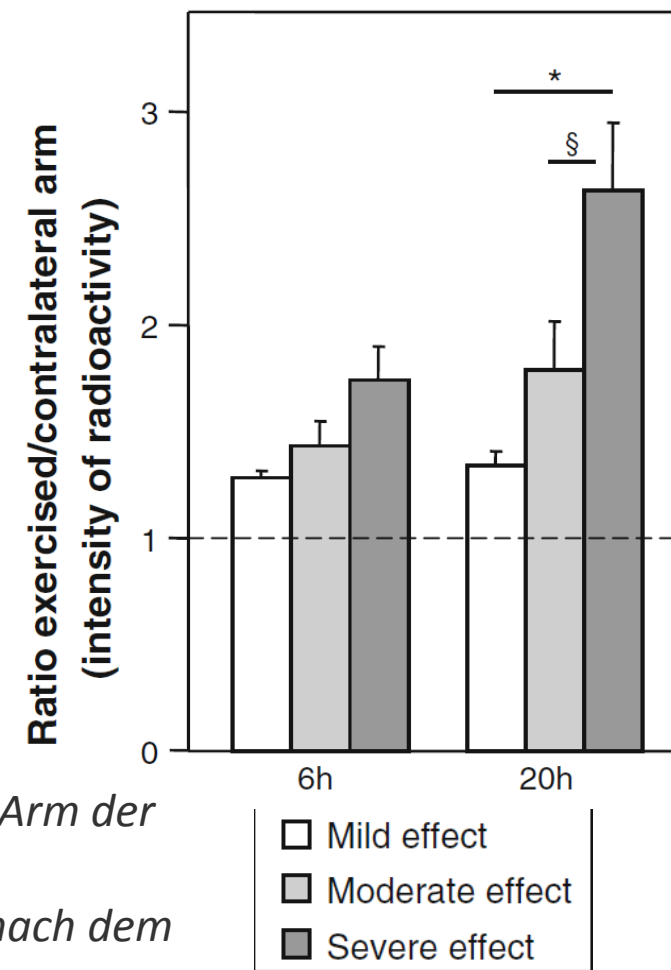
A: nekrotischer Teil einer Muskelfaser, **B:** Normale Muskelfaser

Laminin (Basalmembran), **CD68** (Makrophage), **Zellkern**

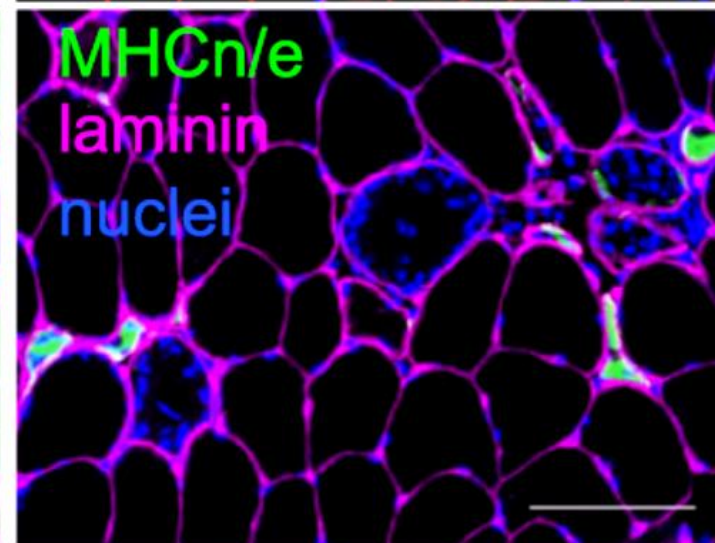
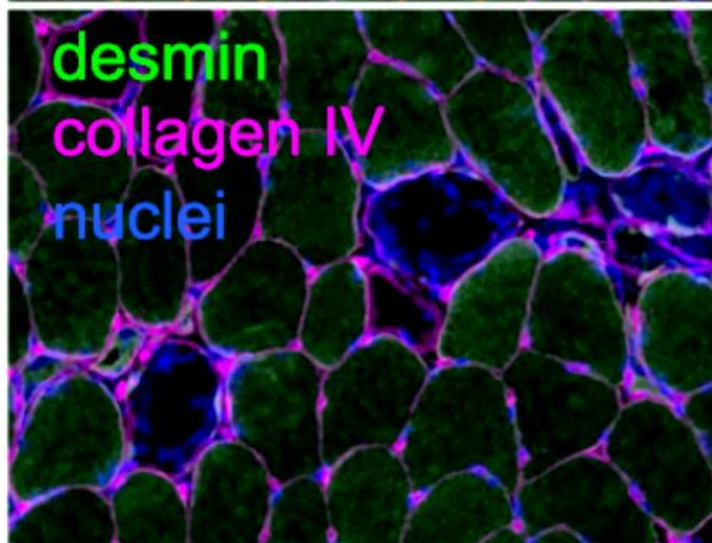
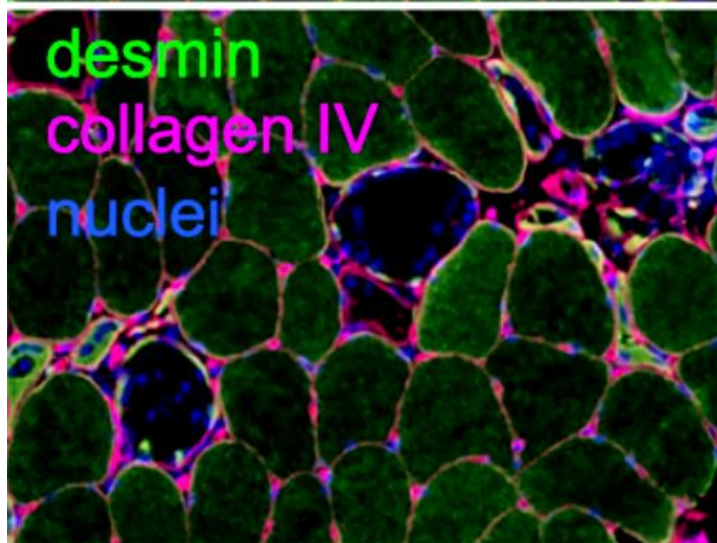
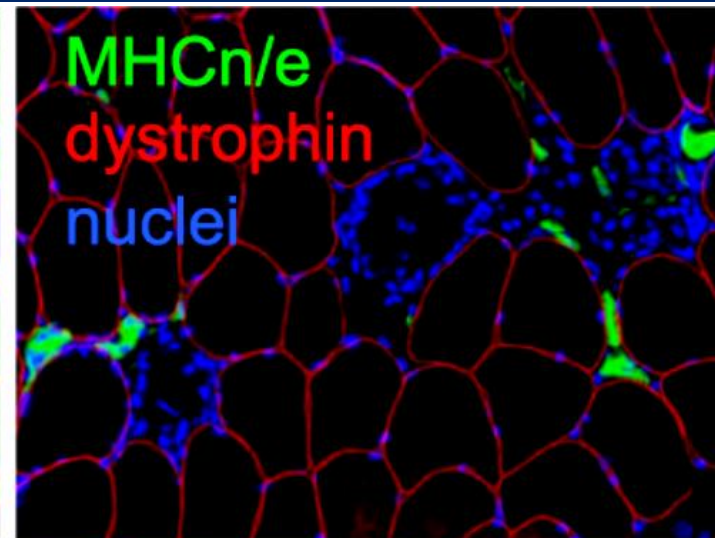
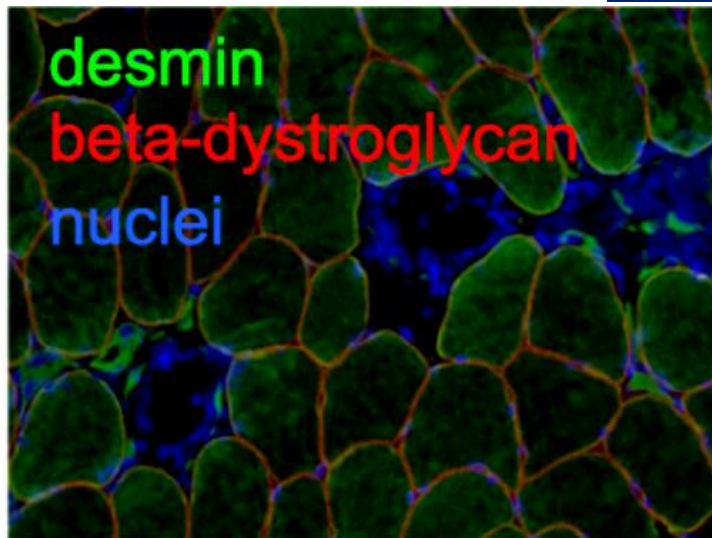
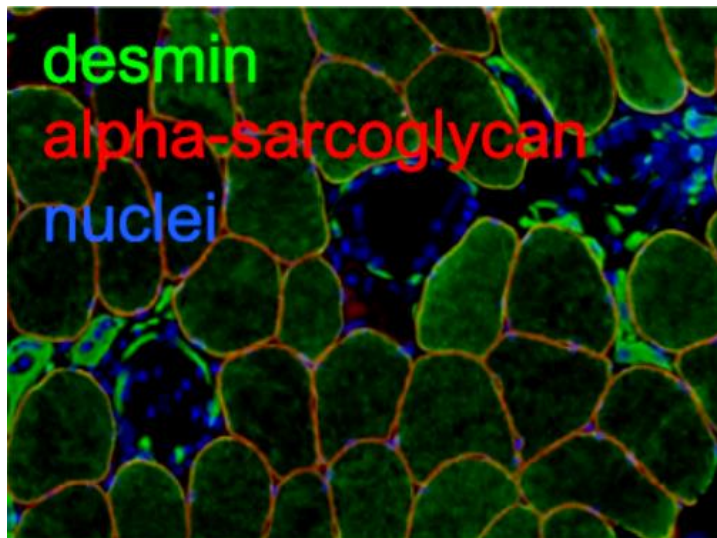
Rekrutierung von Leukozyten (z.B. Makrophagen) um Zell-Bestandteile abzubauen und Regeneration zu fördern

Muskelkater Veränderungen nach maximalen exzentrischen Muskelkontraktionen

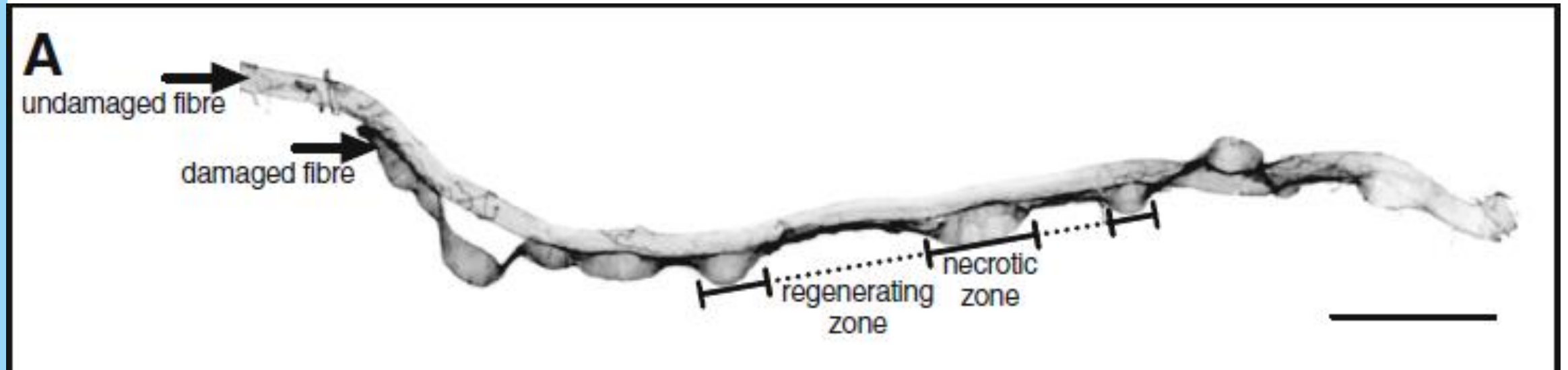
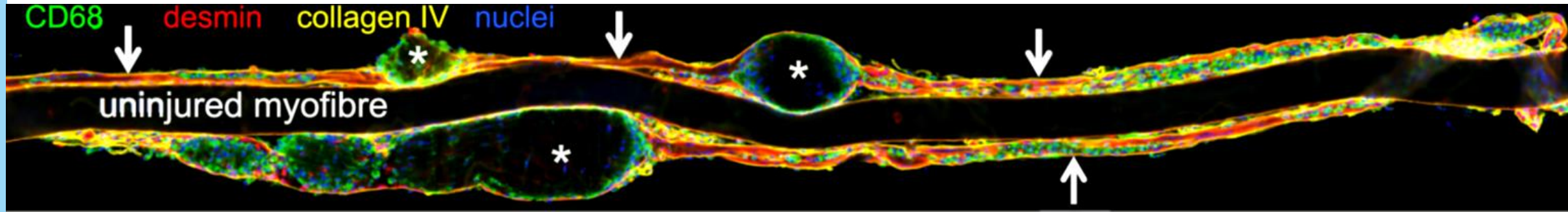
- Entzündungsprozesse sind ein Teil der Muskel-Regeneration
- Aber ein ungewohnter Trainingsreiz führt nicht automatisch zu Entzündungsprozessen
- Studie von Malm et al 2000: Kein Zusammenhang zwischen Muskelkater (DOMS), Leukozyten in Biopsien und Leukozyten im Blut (J Physiol. 2000;529 Pt 1:243-62.)
- Autoren schliessen daraus, dass Muskelkater nicht im Zusammenhang mit zellulärer oder systematischer Entzündung steht
- Belegt in weiteren Studien mit humanen Versuchspersonen



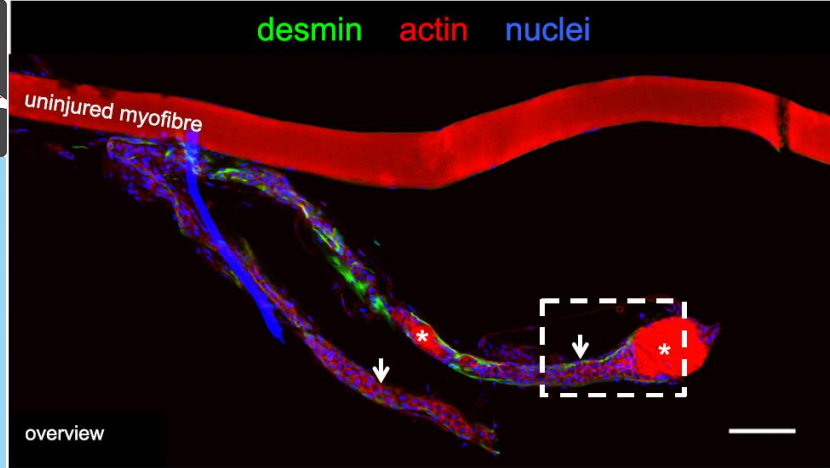
*Anhäufung von radioaktiven Leukozyten (99mTc) im Arm der Versuchspersonen
 Detektion durch Gamma Kamera 6 und 20 Stunden nach dem Trainingsreiz*



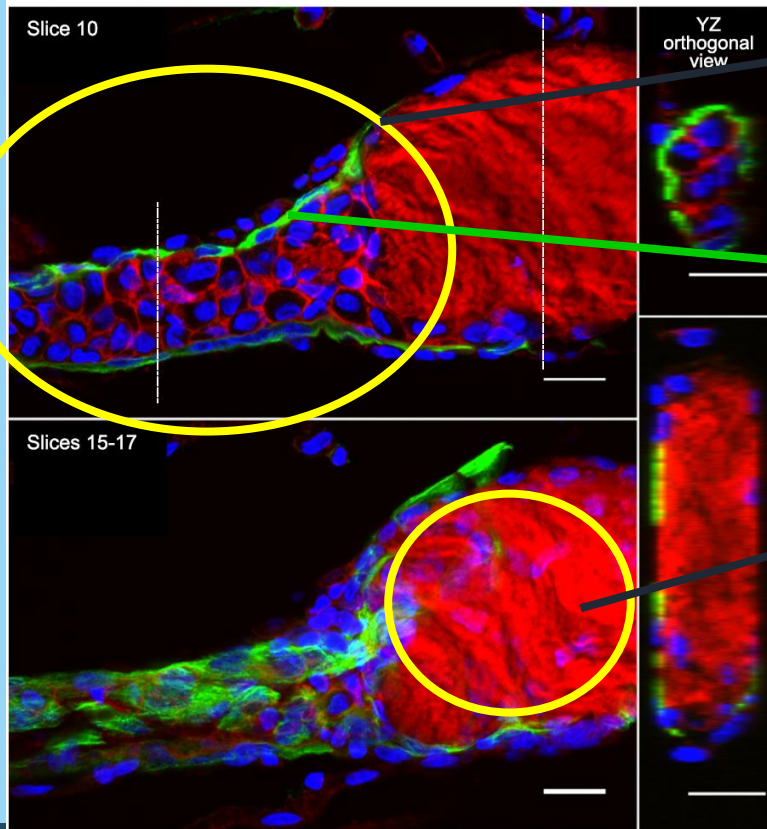
7 Tage nach exzentrischen Muskelkontraktionen + elektrische Stimulation



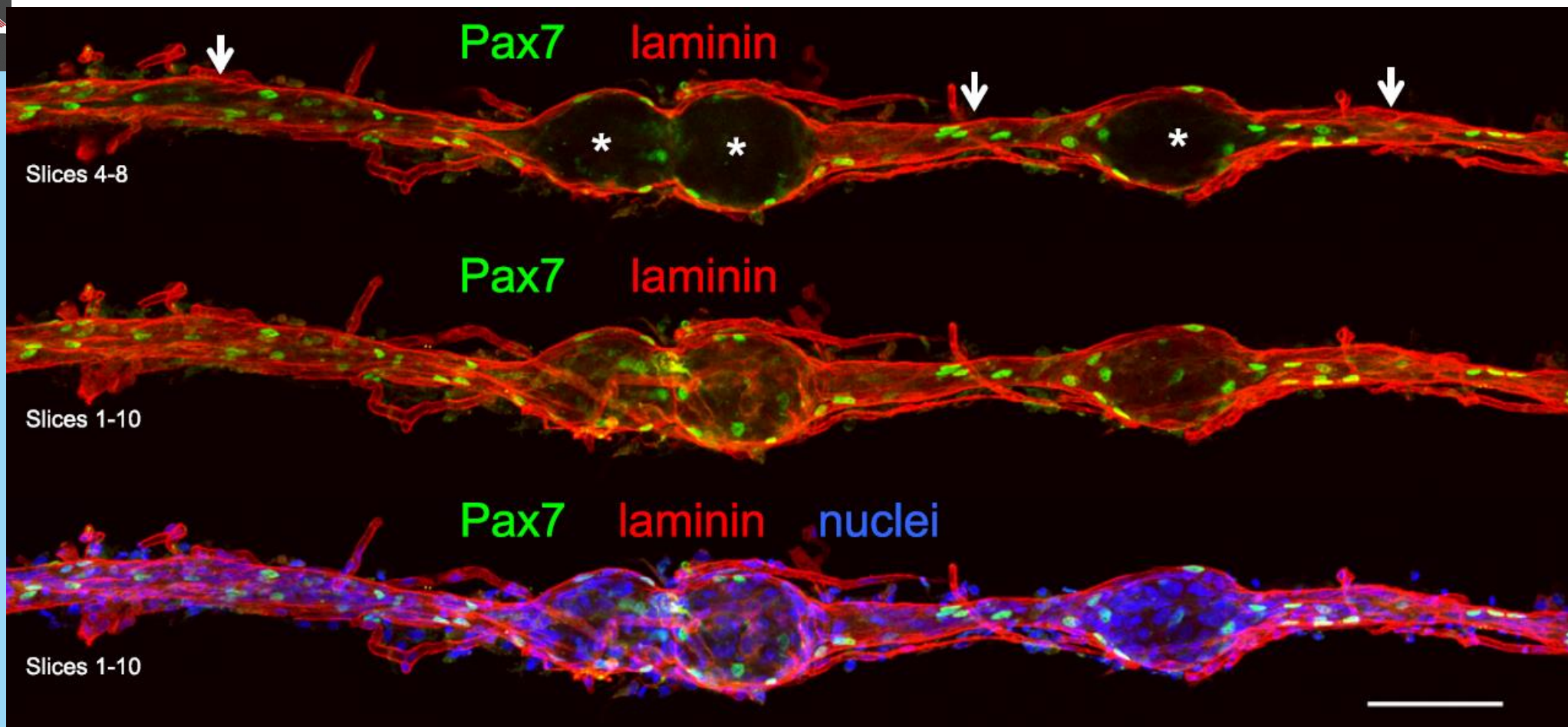
7 Tage nach exzentrischen Muskelkontraktionen + elektrische Stimulation
Längs-Richtung



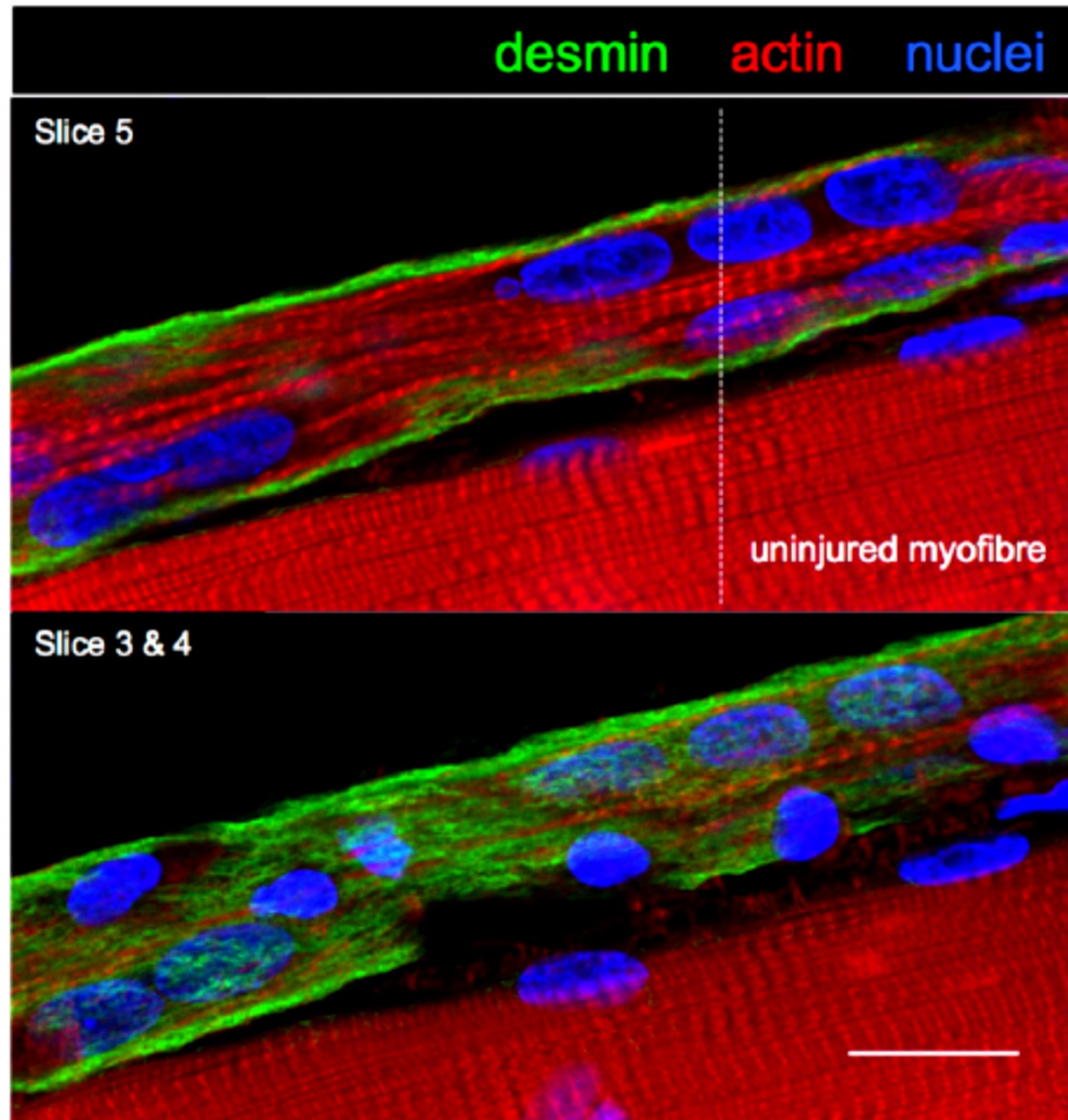
- Beschädigte Muskelfaser: Teil der Muskelfaser im Wiederaufbau
- Wiederaufbau-Zone: Hohe Dichte an Zellen, Actin ohne typische Organisation "gestreiftes Muster"
- Desmin-Positives Band umrundet diese Zone
- Nekrotischen Teil ohne Zellen



7 Tage nach exzentrischen Muskelkontraktionen + elektrische Stimulation



- Satellitzellen: Aktiviert in regenerierenden Segmenten und am Rande von nekrotischen Zonen
- Pax7: **Satellitzellen** – **Laminin** (Basal Membran) - **Zellkern**



- Frühe Phase der Sarkomer-Formation
- "Unreife" Anordnung der Aktin-Filamente
- Breites Desmin-Band umrundet regenerierendes Muskelfaser-Segment

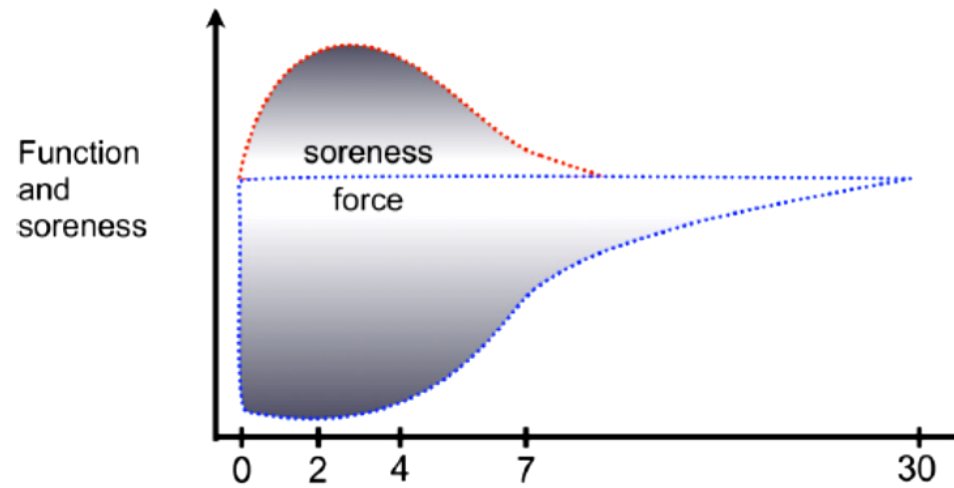
7 Tage nach exzentrischen Muskelkontraktionen + elektrische Stimulation

Muskelkater Veränderungen nach maximalen exzentrischen Muskelkontraktionen

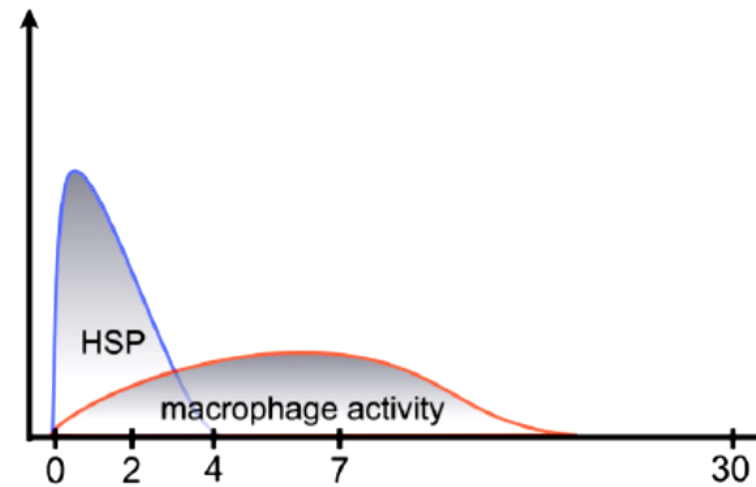
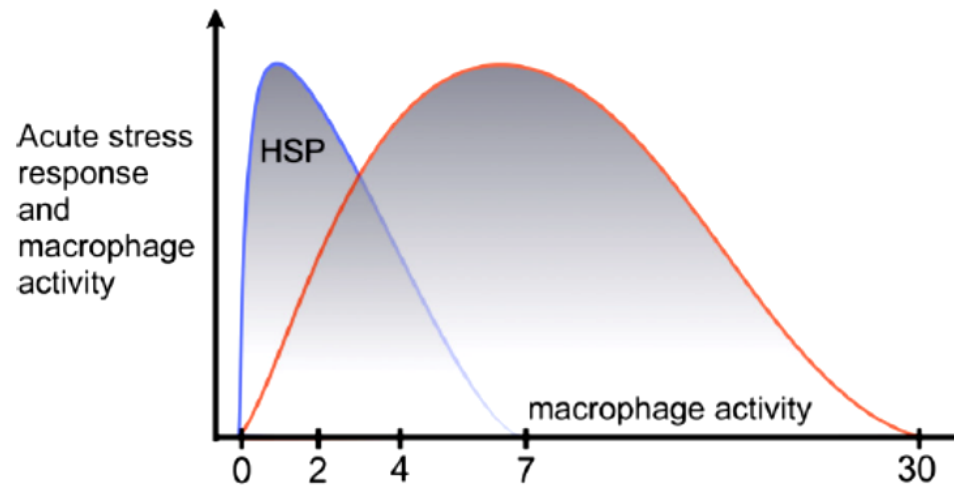
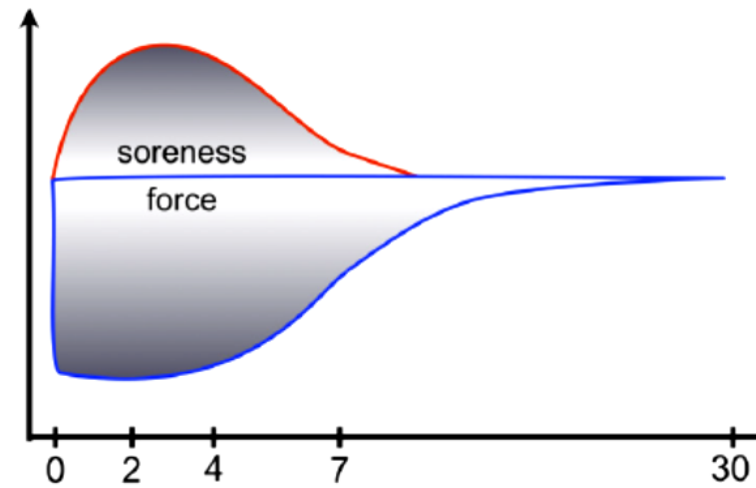
- Schlüssel-Element in der Regeneration: Beibehaltung der Basal-Membran auch wenn das Sarkolemma beschädigt/ nicht mehr vorhanden ist
- Nekrotisches Muskelfaser-Gewebe wird simultan beseitigt und erstattet in derselben Basal-Membran
- Die “alte” Basal-Membran wird beibehalten bis die Muskelfaser regeneriert wurde
- “Alte” Basal-Membran wird dann durch eine neue Membran erstattet
- Basal-Membran dient als “Gerüst” um Muskelfaser-Regeneration zu ermöglichen

Supra-physiologisch

**Electrical stimulation
 eccentric contractions**

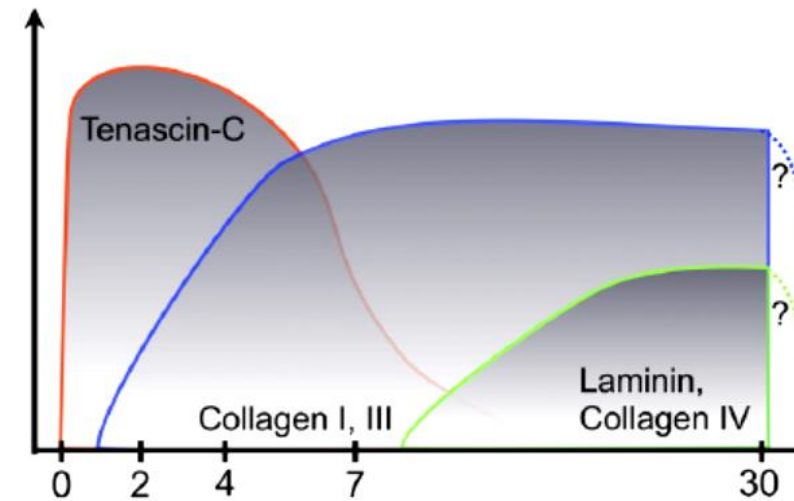
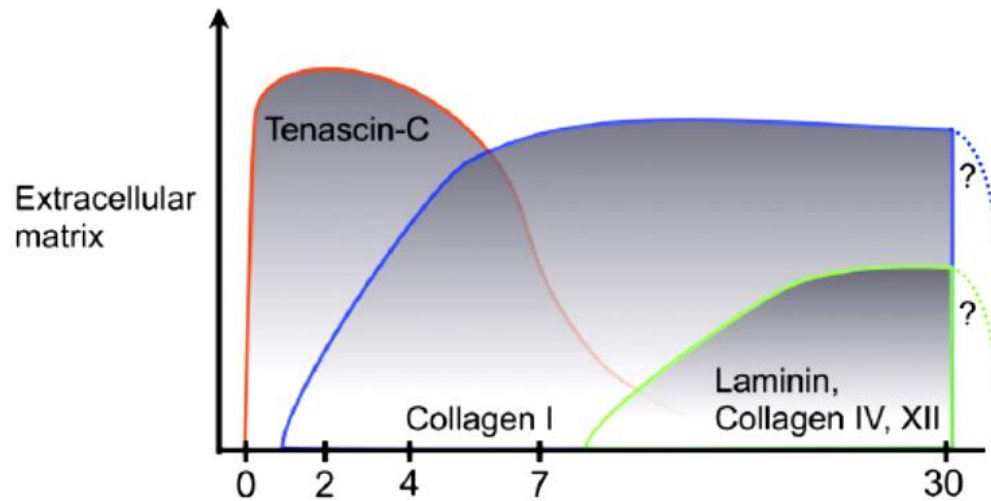
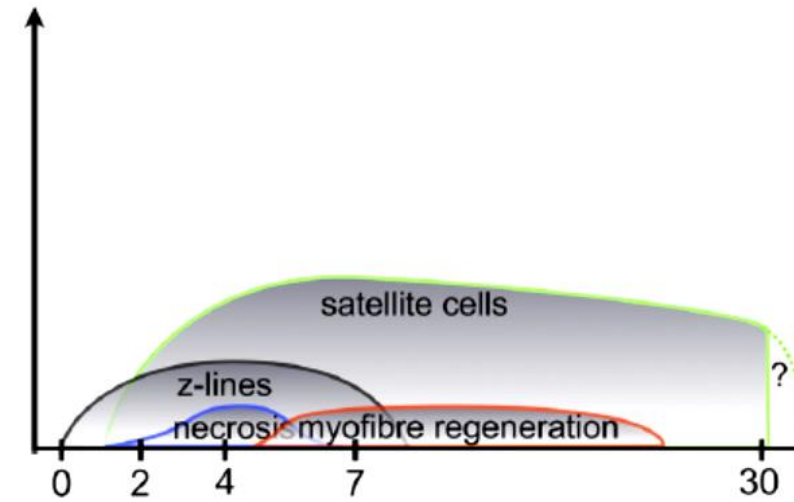
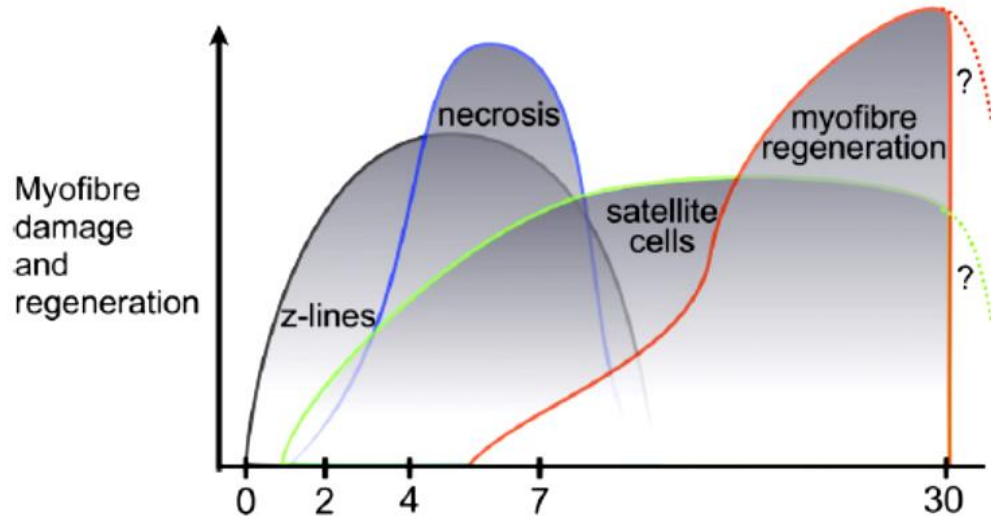


**Voluntary
 eccentric contractions**



Supra-physiologisch
Electrical stimulation
eccentric contractions

Voluntary
eccentric contractions

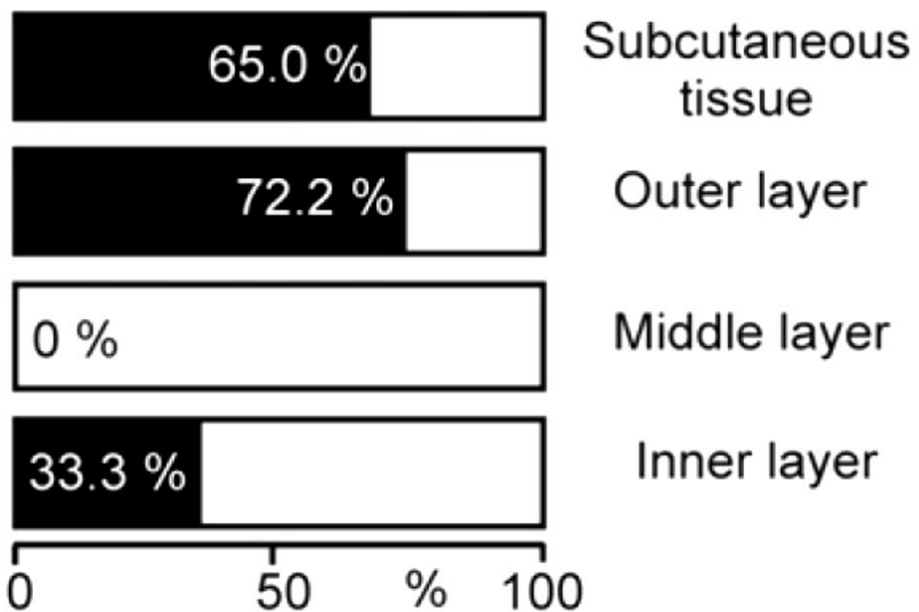




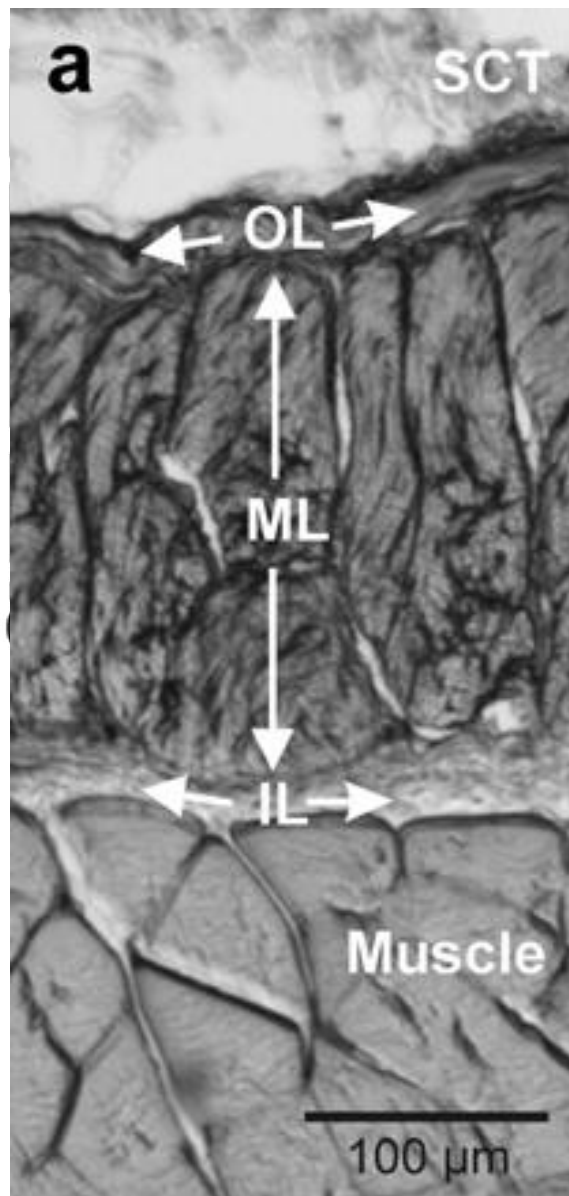
Woher kommt dann der Schmerz?

Muskelkater Schmerzrezeptoren

- Afferente/ sensorische Nervfasern in Skelettmuskulatur
- Typ I ($A\alpha$), Typ II ($A\beta$), Typ III ($A\delta$) und Typ IV (C)
- Freien Nervenendigungen ("Nozizeptoren") sind sehr häufig an Arteriolen-Wänden und im Bindegewebe plaziert
- Fazien haben eine hohe Dichte an Schmerzrezeptoren/ Nozizeptoren
- Muskelkater kann durch eine lokale Schwellung und Sensibilisierung von Nozizeptoren hervorgerufen werden

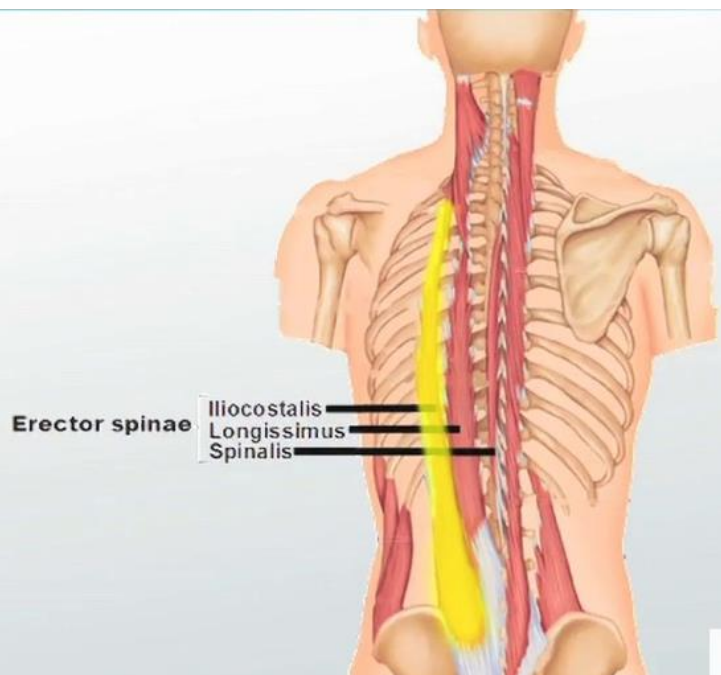
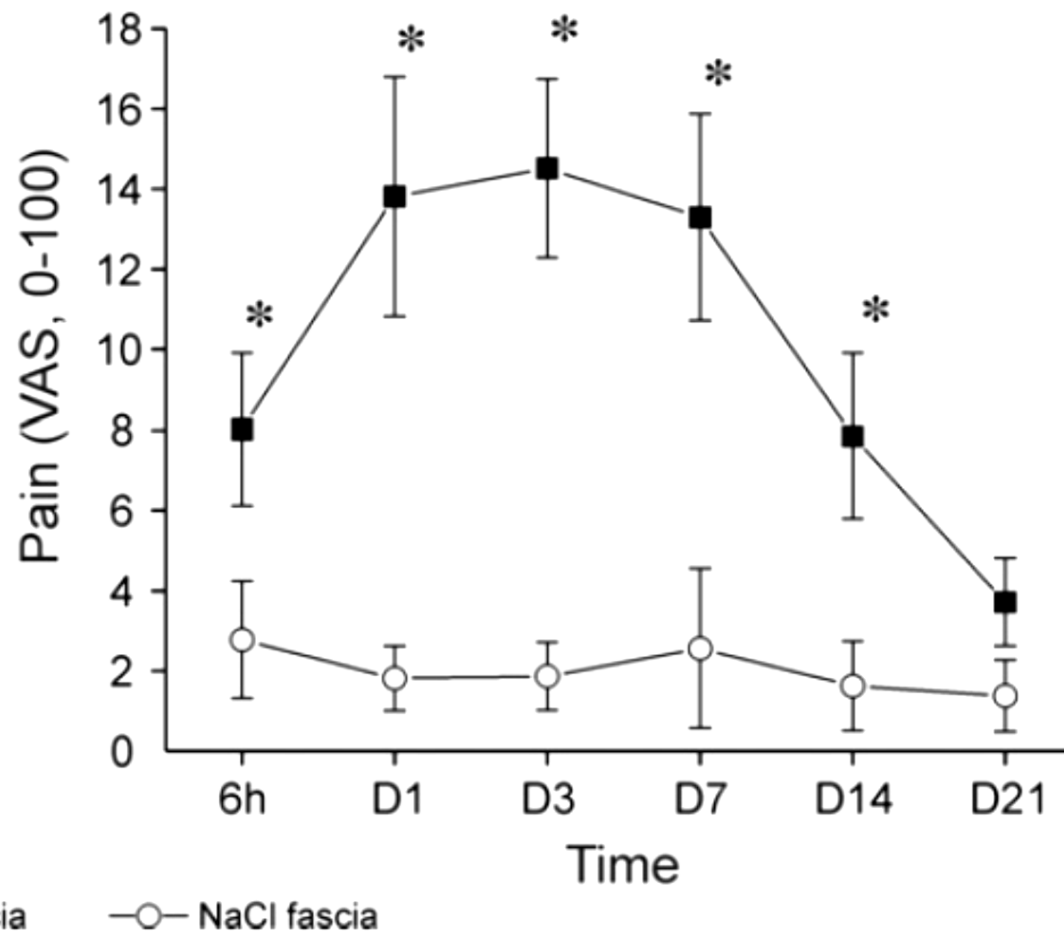


CGRP

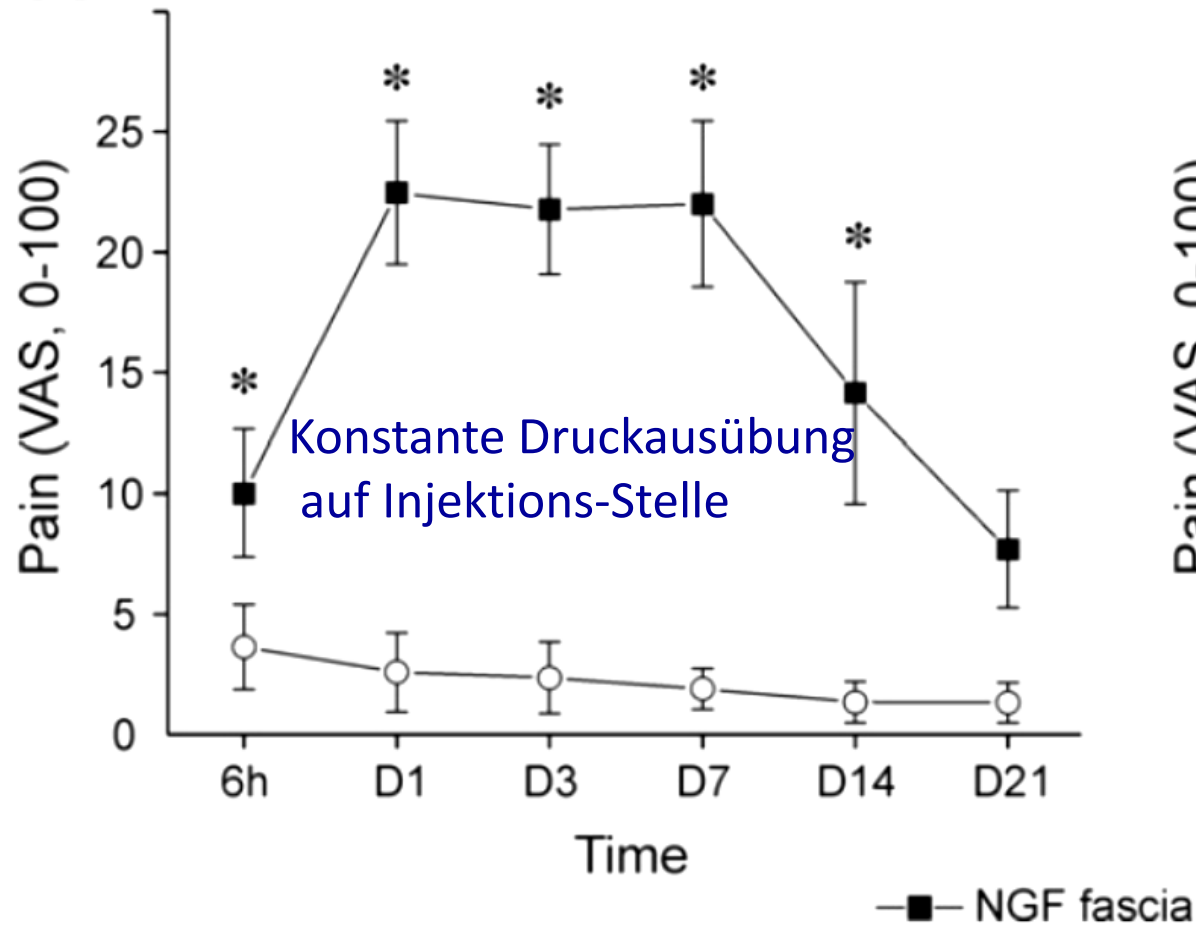


- Innervation von Faszien
- Thoracolumbar Faszie
- Histologie in Gewebe von Ratten
- Vergleichbares Bild in menschlichem Gewebe
- Calcitonin gene-related peptide **CGRP**
- Substance P
- Neuropeptide

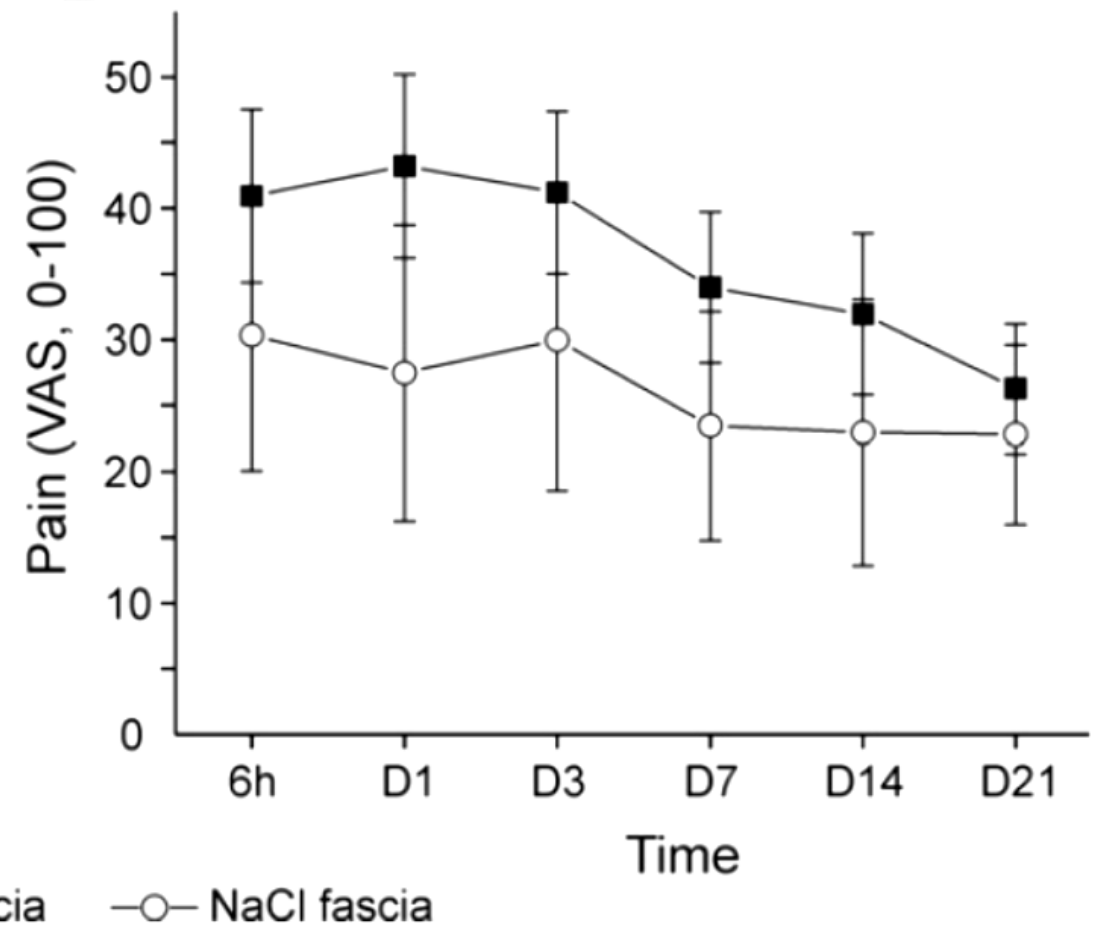
Konstante Druckausübung

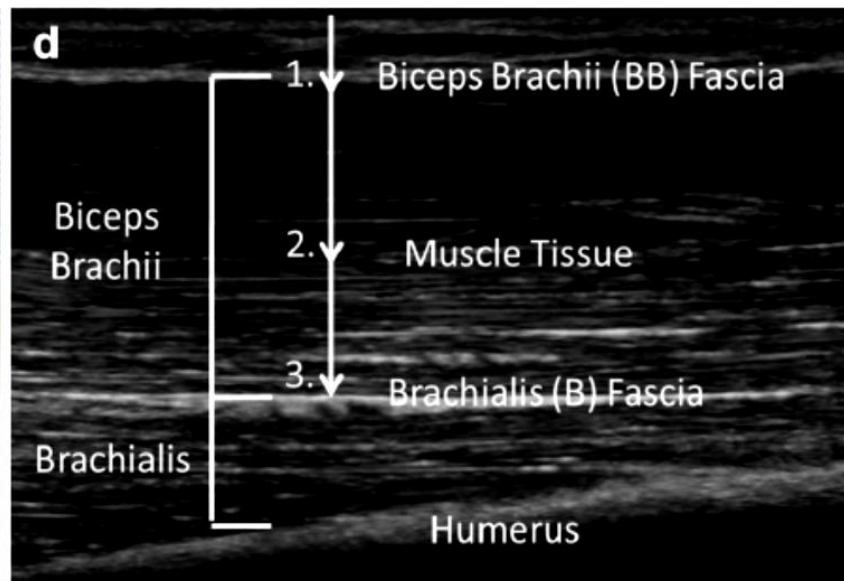


A Tonic pressure during muscle contraction

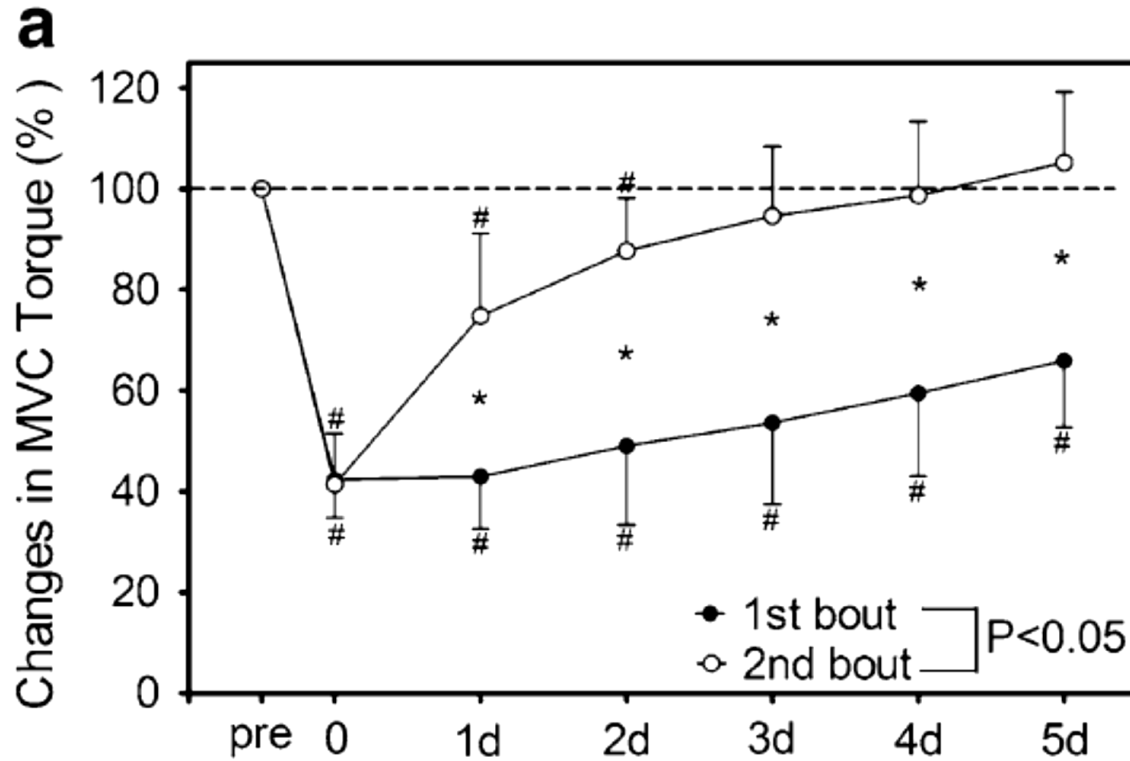


B Electrically induced muscle contraction



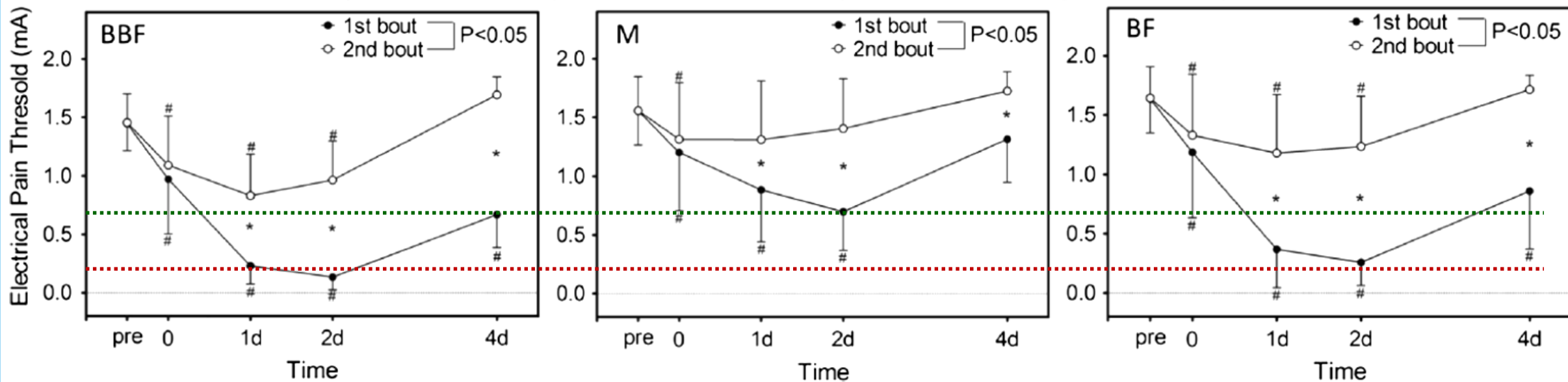


- 10 untrainierte Versuchspersonen
- 10x6 maximal exzentrische Muskelkontraktionen Biceps
- Elektrische Reize durch Nadel invasiv: Biceps Brachii Faszie, Biceps Brachii Muskel, Brachialis Faszie



- Signifikanter Rückgang der Maximalkraft
- Indikation von Beschädigung des Muskels

BBF vs M: $P < 0.05$, M vs BF: $P < 0.05$, BBF vs BF: n.s for ECC1; BBF vs M: $P < 0.05$, M vs BF: n.s, BBF vs BF: n.s for ECC2



- Signifikanter Reduzierung der Schmerztoleranz in

- BBF= Biceps Brachii Faszie

- M= Biceps Brachii Muskel

- BF= Brachialis Faszie

- Effekt signifikant ausgeprägter in der Faszie

Muskelkater und Schmerz

- Druck-Schmerz erhöht bei Muskelkontraktion: Kann bedeuten dass eine aktivierte (gedehnte) Faszie sensibler reagiert
- Hypothetisch könnte das zum Schmerzempfinden beitragen nach ungewohntem/ langandauerndem Training
- Faszien sind vermutlich massgeblich am Schmerzempfinden beteiligt, aber auch im Perimysium und Epimysium sind Schmerz-Rezeptoren zu finden

Muskelkater und Schmerz

- NSAIDs: Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs
- NSAIDs hemmen die Aktivität des Enzyms cyclooxygenase (COX); COX-1 und COX-2
- COX-2 Hemmung führt zu geringerer Satellitzell-Fusion und Myotube Entwicklung
- Intramuskuläre Infusion von Indomethacin und orale Einnahme von Ibuprofen blockieren Satellitzellen Respons nach Krafttraining
- Einnahme von Ibuprofen hemmt die Proteinsynthese nach maximalem exzentrischem Krafttraining
- Moderate Dosis von Ibuprofen über 6 Wochen ändert nicht Muskel-Hypertrophie, Maximalkraft, aber auch nicht Muskelkater
- Indomethacin Infusion reduziert IGF-I Gen-Expression, hemmt Kollagen-Expression
- Reduziert die Peri-Tendinöse Durchblutung
- Behindert eventuell die Anpassung von Sehnen an Trainingsreize





Harvard Health Publishing
HARVARD MEDICAL SCHOOL
Trusted advice for a healthier life

HEART HEALTH

MIND & MOOD

PAIN

STAYING
HEALTHY

CANCER

[Home](#) » [Harvard Health Blog](#) » FDA strengthens warning that NSAIDs increase heart attack and stroke risk - Harvard Health Blog

FDA strengthens warning that NSAIDs increase heart attack and stroke risk

POSTED JULY 13, 2015, 4:16 PM , UPDATED AUGUST 22, 2017, 2:18 PM

thebmj

Research ▾

Education ▾

News & Views ▾

Campaigns ▾

Archive

Research

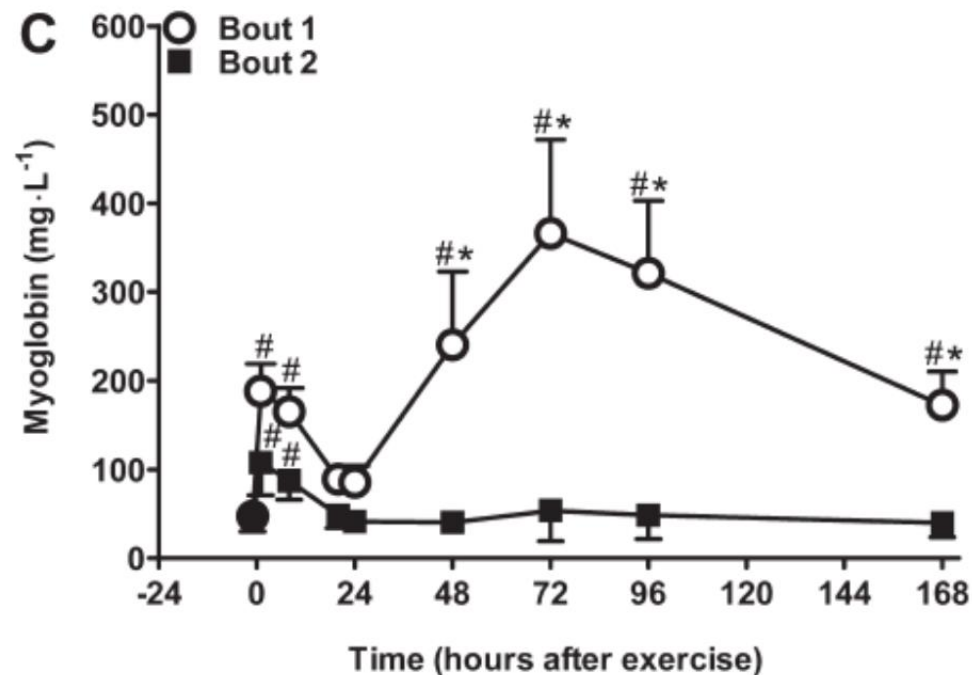
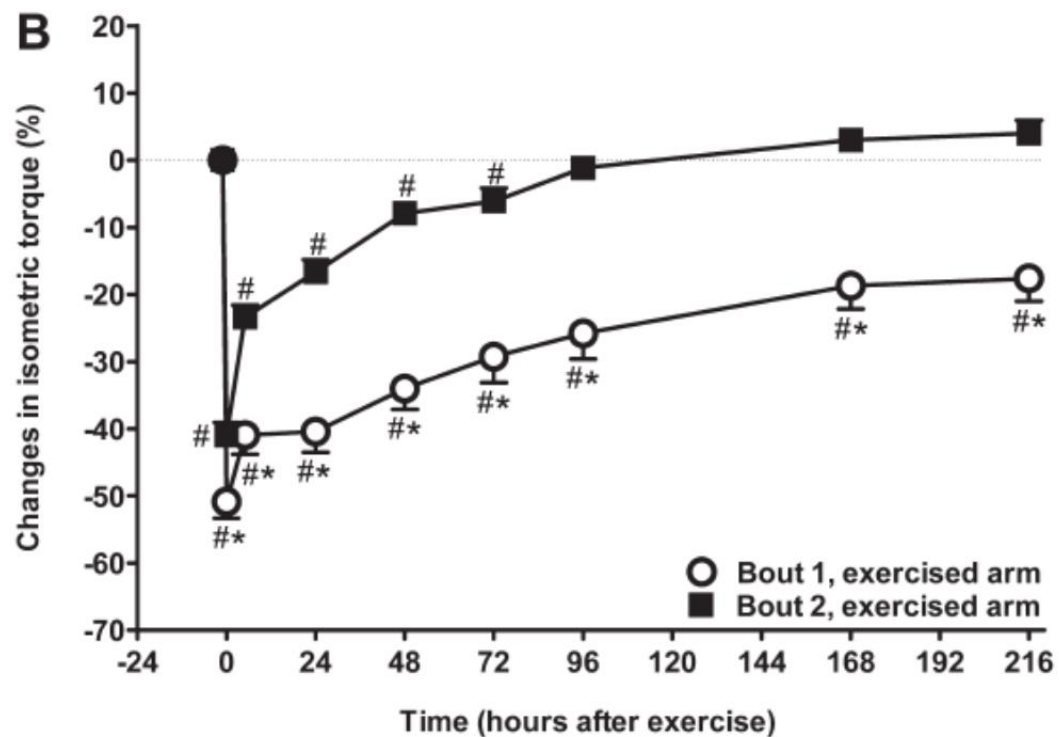
Risk of acute myocardial infarction with NSAIDs in real world use: bayesian meta-analysis of individual patient data

BMJ 2017 ; 357 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.j1909> (Published 09 May 2017)

Cite this as: *BMJ* 2017;357:j1909

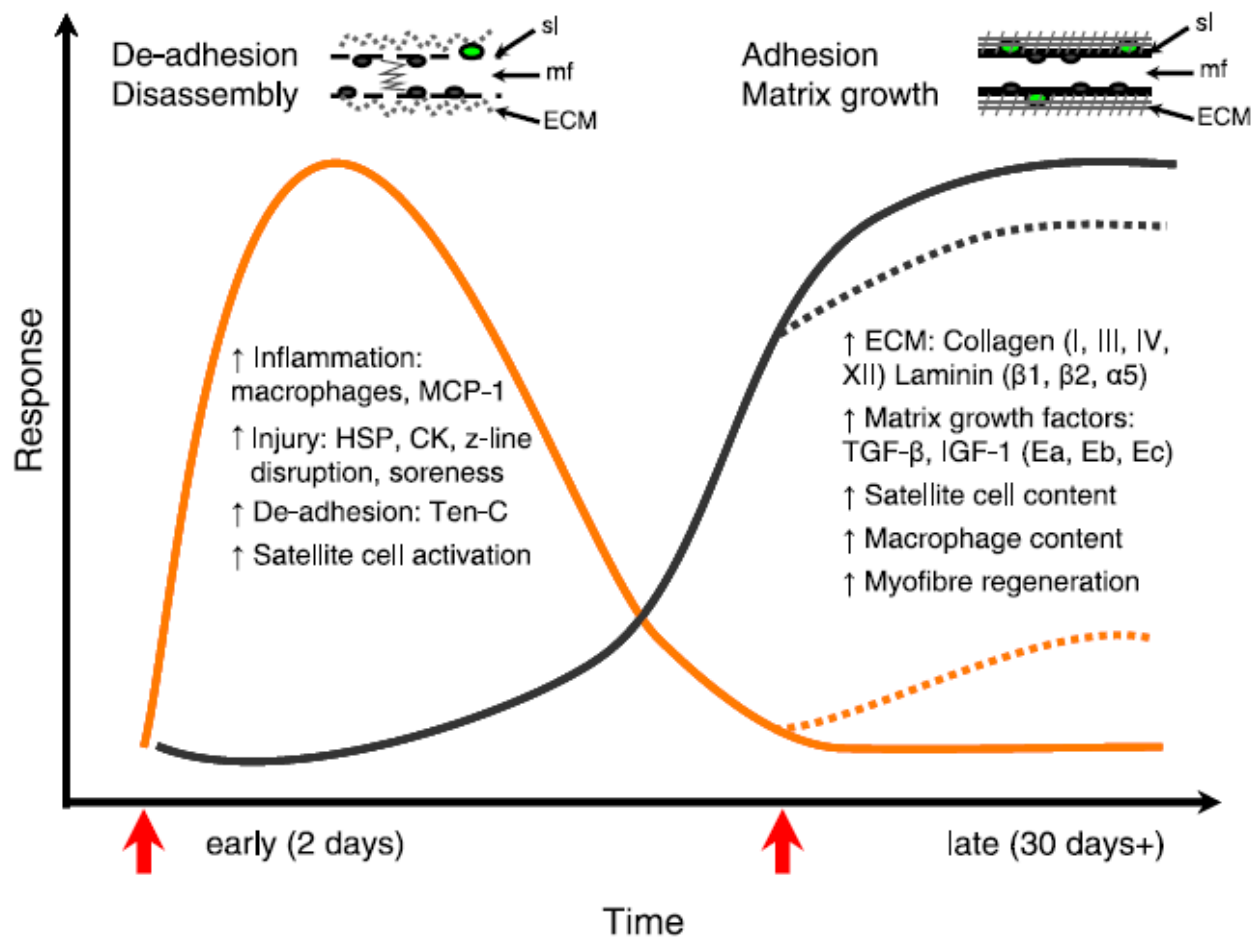
Conclusions All NSAIDs, including naproxen, were found to be associated with an increased risk of acute myocardial infarction. Risk of myocardial infarction with celecoxib was comparable to that of traditional NSAIDs and was lower than for rofecoxib. Risk was greatest during the first month of NSAID use and with higher doses.

Das Besondere am Muskelkater: Repeated Bout Effect



- 24 Versuchspersonen, 14x 5 (70) maximale exzentrische Muskelkontraktionen
- Armbeuger
- Impulse 3 Wochen voneinander getrennt

Muskelkater Repeated Bout Effect



- Akute Respons nach exzentrischer Muskelarbeit:
- Entzündung, Stressproteine, Satellitzellen-Aktivierung
- Langsame Respons nach exzentrischer Muskelarbeit:
- Hauptsächlich im Bindegewebe
- Remodelering/ Wiederaufbau des beschädigten Bindegewebes
- Möglicherweise höhere Widerstandskraft im Bindegewebe ein Teil des Repeated Bout Effektes

Lässt sich Muskelkater verhindern?

- Systematisches Training
- Kompressions-Strümpfe kein Effekt
- Cold-Water Immersion kann einen positiven Effekt in der Regeneration haben
- Andere Studien finden keinen Effekt von Cold Water Immersion, möglicherweise Beeinträchtigung der Adaptation an Trainingsreize
- NSAIDs (Entzündungshemmende Medikamente wie Ibuprofen) haben geringen/ keinen oder negativen Effekt

Zusammenfassung Muskelkater

- Muskelkater bedeutet nicht Muskelverletzung/ Beschädigung
- Muskel-“Schäden” nur in extremen Protokollen zu finden
- Mechanismen des Muskelkaters: Einige Unbekannte
- Muskelwachstum auch ohne rein exzentrische Trainingsprotokolle
- Satellitzellen werden auch ohne Muskelverletzungen aktiviert
- Bindegewebe ein Schlüssel-Element in der Regeneration
- Möglicherweise auch ein zentraler Bestandteil des Reapeated Bout Effect

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!
Fragen?

