

M 5a.1: Impuls



Aus Schülermund: Vermutungen über ...

SYMPTOME:

- Muskeln schmerzen (bei Bewegung und Berührung)
- Muskeln „versteifen“
- ...

URSACHEN:

- Ungewohnte Beanspruchung
- Überanstrengung der Muskeln
- Übersäuerung des Blutes
- Risse im Muskel
- ...

VORBEUGUNG o. ä.:

- Aufwärmen
- Angepasstes Training
- ...

M 5a.2: Kartentisch

Arbeitsauftrag (Mystery-Methode):

Erklärt die Entstehung von Muskelkater.

- Kombiniert dazu euer Vorwissen zum Muskelaufbau, zur Muskelkontraktion und der Energieversorgung des Muskels mit Hilfe der Wissensbausteine.
- Haltet alle erarbeiteten Zusammenhänge in Form eines Fließschemas fest.

Erinnerungsbaustein 1: Muskelkontraktion

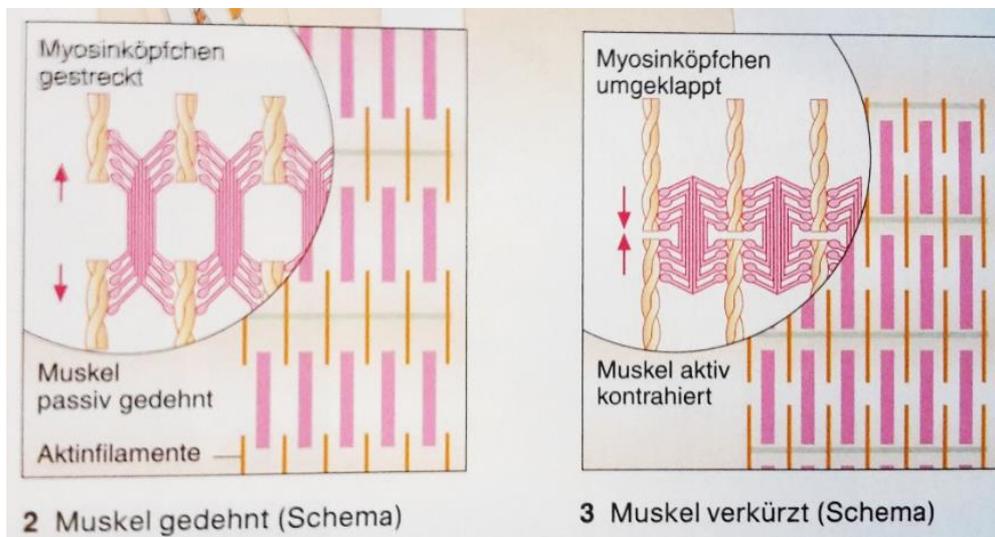


Abb. aus: *Natura Biologie 7-10*, Seite 211, mit freundlicher Genehmigung des Ernst Klett Verlages, Stuttgart 2018 (Grafiker: Prof. Jürgen Wirth), CC BY-NC-ND

Erinnerungsbaustein 2: Muskelkontraktion

Aktin- und Myosinfilamente sind die kleinste funktionelle Einheit der Muskelkontraktion.

Durch ein spezifisches Signal eingeleitet, haften die Myosinköpfchen (bewegliche Köpfe der Myosinfilamente) an den Aktinfilamenten und ziehen diese durch Umklappen („Rudern“) heran.

Die Muskelzelle verkürzt sich (*energiearmer Zustand*).

Durch Energiezufuhr wird die Verbindung zwischen Aktin- und Myosinfilamenten gelöst, die Filamente gleiten auseinander (*energiereicher Zustand*).

Erinnerungsbaustein 3: ATP als aufladbarer, mobiler Energieträger

Bei der Zellatmung wird ein Teil der Energie der Nährstoffe auf ADP (Adenosindiphosphat) übertragen, wodurch ATP (Adenosintriphosphat) entsteht.

Hierbei handelt es sich um einen Energiespeicherstoff, der ähnlich wie ein aufladbarer Akku funktioniert.

ATP entspricht dem geladenen Zustand, ADP dem entladenen Zustand.

Die Energie, die im ATP gespeichert ist, kann ähnlich wie bei einem Akku für energieverbrauchende Vorgänge genutzt werden (z. B. Zellteilungen).

Dabei entsteht wieder ADP.

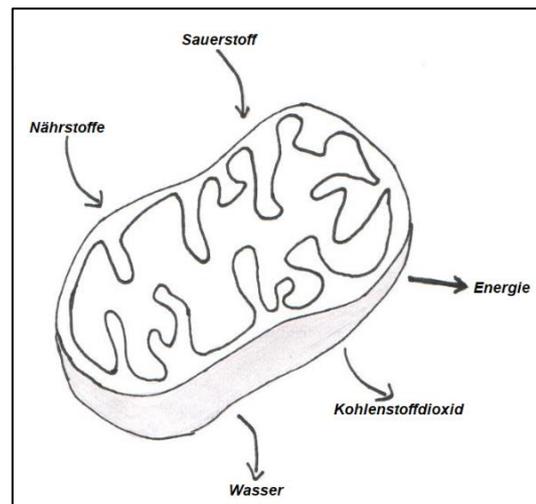
Erinnerungsbaustein 4: Zellatmung

Die Zellatmung erfolgt in den Mitochondrien der Zellen.

Dazu ist außer den Nährstoffen auch Sauerstoff erforderlich.

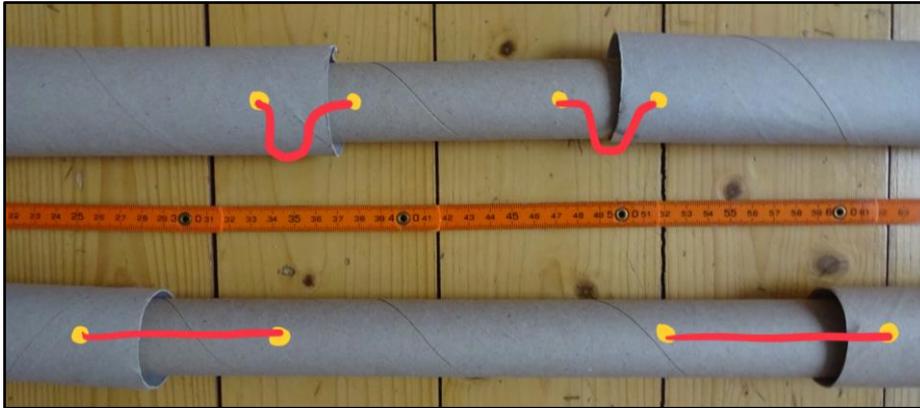
Als Produkte der chemischen Reaktion entstehen Kohlenstoffdioxid und Wasser, zwei energiearme Stoffe (weniger chemische Energie als die beiden Ausgangsstoffe).

Die Energiedifferenz wird teils als Wärme an die Umgebung abgegeben (exotherme Reaktion) und teils auf einen anderen Energieträger umgeladen (Bildung des Energiespeicherstoffs ATP).



Erinnerungsbaustein 5:

Funktionsmodell für die Kontraktion durch Aktin- und Myosinfilamente



Erinnerungsbaustein 6: Das Gegenspielerprinzip

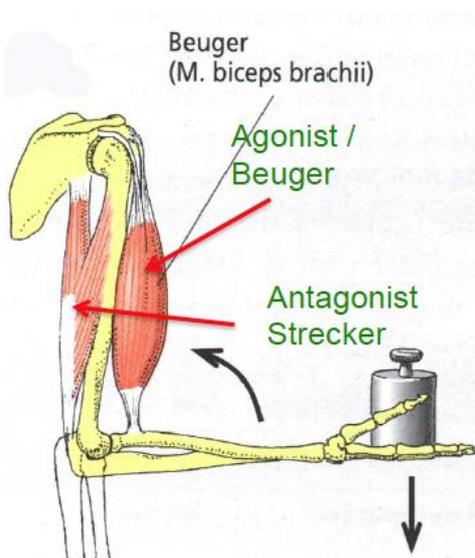


Abb.: https://card2brain.ch/box/er_13_anatomie2 (CC0)

Hält man einen schweren Gegenstand in der Hand, z. B. trägt eine Eisenkugel, sind die Muskelfasern des Bizeps kontrahiert. Der Muskel ist verkürzt.

Lässt man die Kugel sinken, wird der Bizeps gedehnt und die Ausgangslänge wiederhergestellt. Ursachen dafür sind die Kontraktion des Trizeps und die Wirkung der Schwerkraft.

Grundbaustein 1: Elektronenmikroskopisches Bild bei Muskelkater

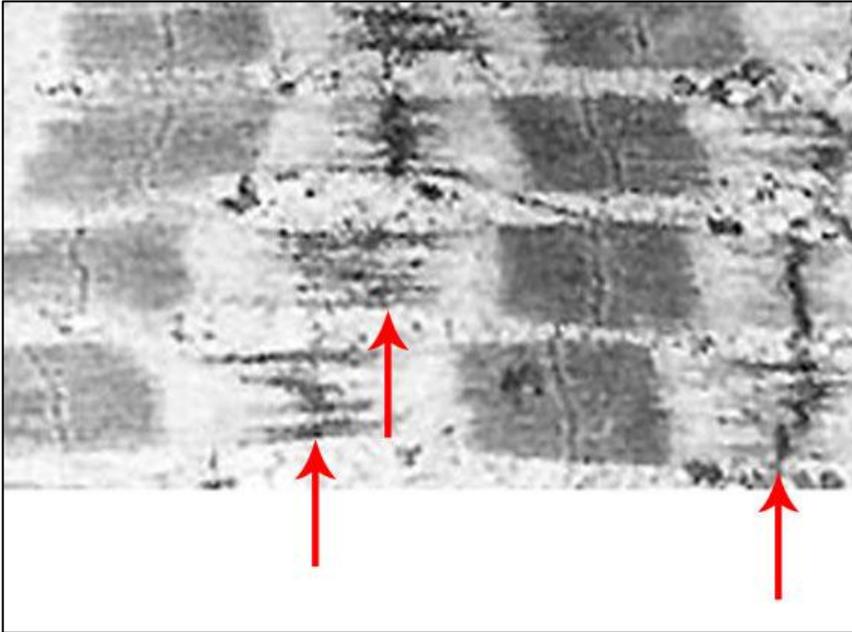


Abb.: Mikrotraumata

Die regelmäßige Struktur der Aktin- und Myosinfilamente (= Z-Streifen) ist zerstört. Innerhalb der Muskelfaser gibt es molekulare Verletzungen (Mikrotraumata). Diese lassen sich im elektronenmikroskopischen Bild nachweisen (siehe Pfeile).

Tipp: Die Erinnerungsbausteine 1 oder 5 helfen, die zerstörten Strukturen zu erkennen.

Grundbaustein 2: Sauerstoffunterversorgung bei Muskelkater

Muskelzellen (= Muskelfasern) brauchen Sauerstoff, um ATP aufzubauen. ATP wird gebraucht, um eine Kontraktion wieder zu lösen. Durch Kontraktion des Gegenspieler Muskels wird die Ausgangslänge der Muskelfaser wiederhergestellt.

Fehlt ATP, bleiben viele Muskelfasern kontrahiert. Wird nun der Gegenspieler Muskel aktiviert und die Muskelfasern passiv gedehnt, können die elastischen Strukturen in den Fasern, die Mikrofilamente Aktin und Myosin, in Unordnung geraten. Innerhalb der Muskelfasern gibt es also mikroskopisch kleine Verletzungen, so genannte Mikrotraumata.

Grundbaustein 3: Schmerzen bei Muskelkater

Zellen senden bei Verletzungen Botenstoffe, so genannte Gewebshormone aus. Diese reizen sensible Nervenfasern, die zum Gehirn führen. Hier entsteht die Schmerzempfindung.

Die Gewebshormone führen auch zur Lockerung der Gefäßwände der Kapillaren. Diese bestehen nur aus einer Zellschicht. Lockert sich die Verbindung zwischen den Kapillarewandzellen (= Endothelzellen), kann Blutplasma in den Zellzwischenraum (= interzellulären Raum) austreten. Der interzelluläre Raum ist der Raum zwischen den Muskelfasern. Es kommt zu einer Schwellung, einem so genannten Ödem. Der dadurch ausgelöste mechanische Druck reizt ebenfalls die sensiblen Nervenfasern. Die Schmerzwahrnehmung wird verstärkt.

Der Schmerz führt zur Verhaltensänderung und zur Ruhigstellung der überlasteten Muskulatur.

Lehrerinformation:

Muskelkater ist eine komplexe Störung, deren Hauptsymptome die Schmerzwahrnehmung im Gehirn und die Einschränkung der Beweglichkeit der betroffenen Muskelpartien sind. Primäre Ursache ist ein Sauerstoff- oder Nährstoffmangel in den Muskelzellen, was wiederum zur Folge hat, dass zu wenig ATP zur Verfügung steht, um die Kontraktion der Muskelfilamente, die Verbindung von Aktin und Myosin, zu lösen. Es kommt zu "Mikrotraumata", in deren Folge Gewebshormone (z. B. Prostaglandin und Histamin) freigesetzt werden, die eine spezifische Wirkung auf verschiedene Gewebe im Muskel haben. Sie reizen die sensiblen Nervenfasern und es kommt zum Schmerzempfinden im Gehirn. Außerdem lockern sie das Endothel der Blutkapillaren. Plasma tritt in den Interzellullarraum aus und es kommt zur Schwellung (Ödembildung). Der mechanische Druck reizt wiederum die freien, sensiblen Nervenendigungen und verstärkt den Schmerz. Der Schmerz führt zur Verhaltensänderung und zur Ruhigstellung der Muskeln. Das in den interzellulären Raum eingedrungene Blutplasma enthält Abwehrstoffe und Makrophagen. Diese Entzündungsreaktion beschleunigt die Reparatur der durch Überlastung geschädigten Muskelfasern. Die hier beschriebenen Zusammenhänge sind für die Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar und mit ihrem Vorwissen verknüpfbar.

Im Schülermaterial nicht erwähnt sind folgende Fakten:

Fehlt Sauerstoff, kommt es zur Anhäufung von Zwischenprodukten des Glucoseabbaus. Dadurch werden Enzyme aktiviert, die Glucose zu Laktat verstoffwechseln. Die Milchsäure gelangt in das Blut und verändert seinen pH-Wert. Dadurch nimmt die Bindungsfähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff ab. Dies fördert die Sauerstoffabgabe an die Zellen, behindert aber die Sauerstoffaufnahme in der Lunge. Daher werden Atem- und Herzfrequenz werden gesteigert.

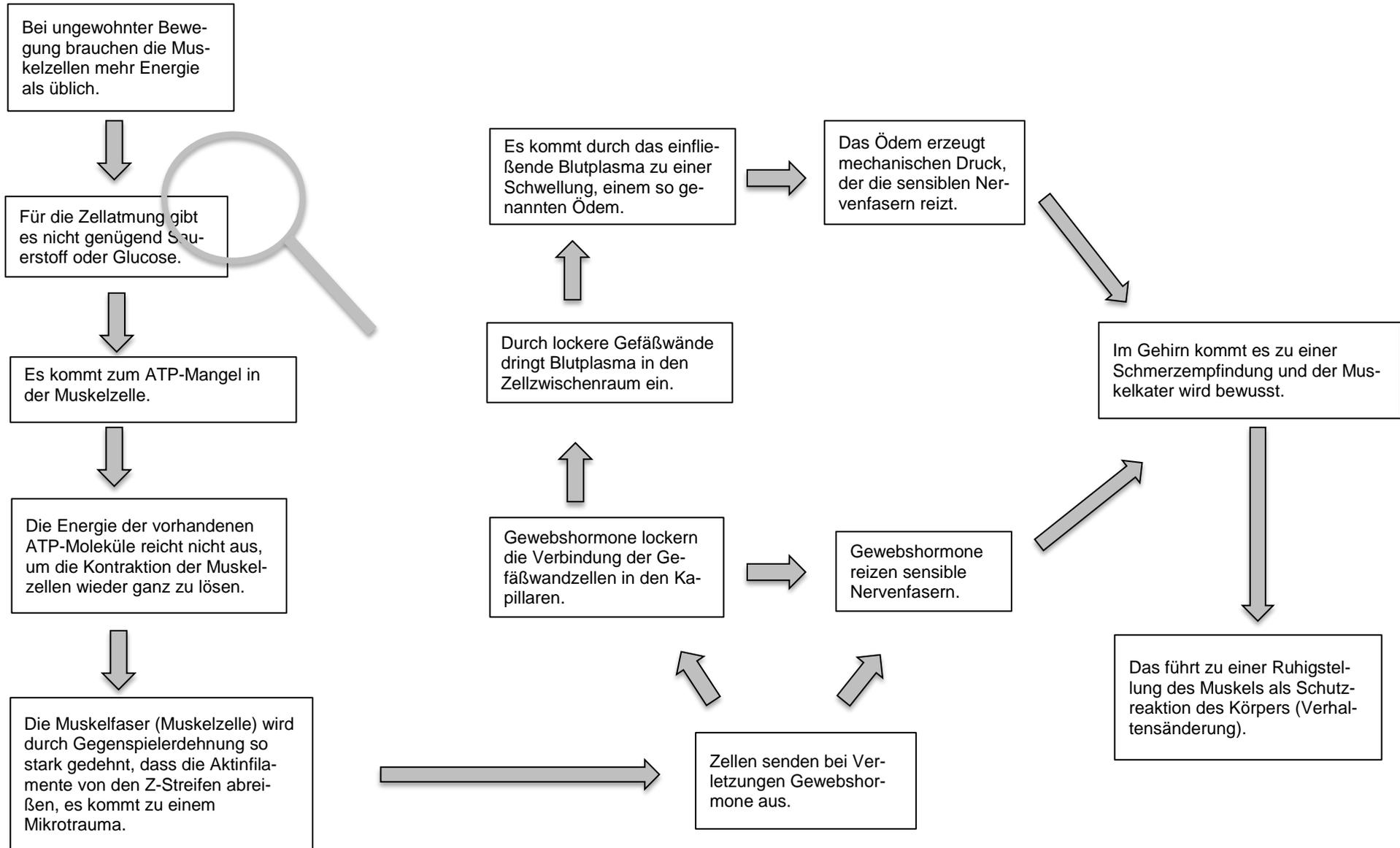
Übersicht: Muskelkater auf allen Systemebenen

Systemebene	Beobachtbare Vorgänge und Phänomene*	Belege*
Organismus	Schmerzwahrnehmung	fühlbar
Organe	Muskelferspannung (auch des Gegenspielmuskels)	fühlbar
Gewebe	<ul style="list-style-type: none"> • Nervenreizung (durch Gewebshormone) Schwellungen (Ödembildung) • Beispiele für Gewebshormone: Histamin oder Prostaglandin 	messbar (Nervenableitung) und tastbar bzw. sichtbar
Zellen	<ul style="list-style-type: none"> • Mikrotraumata (Elektronenmikroskopisches Bild) • Unspezifische Immunabwehr wird aktiviert (Makrophagen vernichten verletzte Zellen und Zellbestandteile) • Milchsäurebildung (Nachweis durch Laktat-Konzentration im Blut) 	elektronenmikroskopisches Bild Messwerte (Laktat im Blut)
Molekulare Ebene	<ul style="list-style-type: none"> • ATP-Mangel verhindert Ablösung des Myosins vom Aktin • Zerstörung der Feinstruktur des Muskels (d. h. Mikrotraumata, z. B. Ablösen der Aktinfilamente von den Z-Streifen) • Umschaltung auf anaeroben Stoffwechsel (Milchsäureproduktion) 	Die Molekulare Ebene ist durch Modelle erklärbar.

* zusätzliche Lehrerinformationen in grauer Schriftfarbe

Die Erklärung von Muskelkater kann also auf verschiedenen Ebenen und mit verschiedener Komplexität erfolgen. Die Flussdiagramme, die die Schülerinnen und Schüler erstellen (um sie als Präsentationsmittel zu nutzen), unterscheiden sich in der Komplexität (Anzahl der Prozessschritte und Verzweigungen im Diagramm) und im Grad der Vertiefung entlang der Systemebenen.

Mögliche Musterlösung für ein Fließschema:



Mögliche Karten für das Fließschema:

Durch lockere Gefäßwände dringt Blutplasma in den Zellzwischenraum ein.	Kontrahiert ein Muskel, wird der Gegenspieler gedehnt.	Gewebshormone lockern die Verbindung der Gefäßwandzellen in den Kapillaren.	ATP wird gebraucht, um die Verbindung von Aktin und Myosin zu lösen.
Fehlt ATP, bleiben die Muskelfilamente verbunden.	Bei ungewohnter Bewegung brauchen die Muskelzellen mehr Energie als üblich.	Zellen senden bei Verletzungen Gewebshormone aus.	Für die Zellatmung wird Sauerstoff und Glucose gebraucht.
Gewebshormone reizen sensible Nervenfasern.	Die Zellatmung liefert ATP (Energie).	Es kommt zum ATP-Mangel in der Muskelzelle.	Für die Zellatmung gibt es nicht genügend Sauerstoff oder Glucose.
Fehlt ATP, bleibt die Muskelfaser verkürzt.	Das führt zu einer Ruhigstellung des Muskels als Schutzreaktion des Körpers (Verhaltensänderung).	Im Gehirn kommt es zu einer Schmerzempfindung und der Muskelkater wird bewusst.	Es kommt durch das einfließende Blutplasma zu einer Schwellung, einem so genannten Ödem.
Die Muskelfaser (Muskelzelle) wird durch Gegenspielerdehnung so stark gedehnt, dass die Aktinfilamente von den Z-Streifen abreißen, es kommt zu einem Mikrotrauma.	Die Energie der vorhandenen ATP-Moleküle reicht nicht aus, um die Kontraktion der Muskelzellen wieder ganz zu lösen.	Das Ödem erzeugt mechanischen Druck, der die sensiblen Nervenfasern reizt.	

M 5a.3: Beispielhafter Forumsbeitrag

Arbeitsauftrag:

Schreibe eine Antwort.

M@tes

2018-01-26, 22:57:20

Nach dem Training habe ich hier und da, mal mehr oder weniger, Muskelkater und frage mich, ob das eigentlich ein gutes oder schlechtes Zeichen ist?

Muskelkater bekommt man, soweit ich weiß, wenn man den Körper überanstrengt. Aber ist denn das schädlich? Oder heißt es, jetzt werden Muskeln aufgebaut oder was?

Wer kann mir weiterhelfen? Was kann ich dagegen machen?

Mögliches Antwortschreiben:

Hallo!

Schlimm ist der Muskelkater nicht, er tut eben weh!

Die Muskeln werden nicht aufgebaut, sie sind überanstrengt und es entstehen kleine Risse in deinen Muskeln. Wasser lagert sich ein. Dann wird der Muskel dicker und diesen Druck empfindest du als Schmerz.

Du kannst etwas gegen den Muskelkater machen: Erst mal ausruhen und warten.

Damit die Schwellungen wieder weggehen, also das Wasser wieder aus deinen Muskeln rausgeht, bewege dich ein wenig.

Mache das nächste Mal leichte Aufwärmübungen und lockere dich.

Dein/e ...