

### 8.4.1 Bewegungsgeschwindigkeit

Bei der Angabe der Bewegungsgeschwindigkeit von Kraftübungen werden in der Regel drei Werte angegeben:

- Dauer der exzentrischen Bewegung
- Dauer des Haltens am Umkehrpunkt
- Dauer der konzentrischen Bewegung

Die Angabe erfolgt meist in dieser Form: 2/1/2. Die jeweiligen Zahlen werden in Sekunden angegeben. Diese Bewegung hat demnach eine konzentrische Phase von 2 Sekunden, am Umkehrpunkt wird eine 1-sekündige Pause eingelegt, bevor die exzentrische Phase mit einer Dauer von 2 Sekunden folgt. Der gesamte Bewegungszyklus dauert demnach insgesamt 5 Sekunden.

Je nach Art der gewählten Krafttrainingsmethode gelten verschiedene Bewegungsgeschwindigkeiten als Richtwert:

Tabelle 19: Richtwerte der Bewegungsgeschwindigkeit

Methode	Tempo (Richtwert)	Hinweis
Kraftausdauertraining	2/0/2	Es sollte ein gleichmäßiges Bewegungstempo angestrebt werden.
Hypertrophietraining	2/1/2 oder 3/0/2 (Betonung Exzentrik)	Beim Hypertrophietraining kann die exzentrische Phase betont werden, da nach der Theorie des mechanischen Repairs das Zerspleißen der Myofibrillen vorrangig in der exzentrischen Phase erfolgt.
	3/0/4	Bei der konzentrischen Phase sollte unbedingt eine maximale Bewegungsgeschwindigkeit angestrebt werden um neuronale Adaptationen zu triggern. Aufgrund der hohen Lasten, die verwendet werden, wird die konzentrische Phase dennoch 3 – 4 Sekunden in Anspruch nehmen.

### 8.4.2 Time Under Tension

Die Time Under Tension (engl.: Zeit unter Spannung; kurz TUT) gibt an, wie lange der Muskel in einer Serie belastet wird. Daraus lässt sich über die Bewegungsgeschwindigkeit die benötigte Wiederholungszahl errechnen.

#### Beispiel:

Wird im Sinne der Hypertrophie eine TUT von 50 s angestrebt, bei einer ausgewogenen Bewegungsgeschwindigkeit von 2/1/2, so müssen 10 Wiederholungen absolviert werden. Beispielrechnung:  $50 \text{ s} : (2 \text{ s} + 1 \text{ s} + 2 \text{ s}) = 10$

Je nach Variation der Time Under Tension ergeben sich unterschiedliche physiologische Anpassungsreaktionen bzw. werden die Muskelfasertypen unterschiedlich intensiv stimuliert.

Tabelle 20: Physiologische Anpassungsreaktionen

Time under Tension (pro Satz)	Primär stimulierter Muskelfasertyp	Funktioneller bzw. physiologischer Effekt
< 20 s	Typ IIb	Intramuskuläre Koordinationsverbesserung
20 – 50 s	Typ IIa und Typ IIb	Hypertrophie
50 – 120 s	Typ I	Steigerung der Kraftausdauer

Die Nutzung von Wiederholungen hat sich im Fitnessstudio-Alltag als nützlich und praktikabel herausgestellt, denn der Kunde kann die Wiederholungszahl selbst kontrollieren. Es sollte aber beachtet werden, dass bei zu schneller Bewegungsausführung die anvisierten physiologischen Determinanten eventuell nicht optimal angesprochen werden und somit das gewünschte Trainingsziel nicht erreicht wird. Zudem sollte, um die gewünschte physiologische Anpassungsreaktion hervorzurufen, der Muskel nach der festgesetzten Time-Under-Tension auch so erschöpft sein, dass keine weitere Wiederholung möglich ist.

#### 8.4.3 Atmung beim Krafttraining

Es herrscht die grundsätzliche Empfehlung während Kraftübungen die Atmung nicht anzuhalten. Dabei wird empfohlen, während der konzentrischen Phase auszuatmen und während der exzentrischen Phase einzuaatmen (Gewicht wird angehoben: Ausatmen, Gewicht wird abgelassen: Einatmen).

#### 8.4.4 Fixation in Extension

Bei bestimmten Übungen besteht die Gefahr, dass der Trainierende bei einer grenzwertigen muskulären Anforderung zur Erholung oder aus mangelnder Koordination eine Fixation in Extension vornimmt. Dadurch wird das Gewicht nicht mehr von der Muskulatur gehalten, sondern von passiven Strukturen wie Knochen und Bändern. Ein gängiges Beispiel hierfür ist die endgradige Streckung, oder bei vorliegender Hypermobilität sogar Überstreckung, des Ellenbogengelenks bei der Brustpresse. Diese Belastung der Gelenke sollte vermieden werden und kann zu einer akuten Verletzung (durchknicken des Gelenks) führen.

#### 8.4.5 Offenes versus geschlossenes System

Die Belastung von Muskeln und passiven Strukturen wie Bändern (z. B. im Kniegelenk) hängt maßgeblich davon ab, ob im offenen oder im geschlossenen System trainiert wird.

##### Offenes System

Eine Bewegung im offenen System liegt dann vor, wenn das Endglied eines Körpersegmentes bei der Bewegungsausführung frei beweglich ist (z. B. Beinstrecker). Diese Übungen dienen vor allem dem Training isolierter Muskeln bzw. Muskelgruppen.

##### Geschlossenes System

Eine Bewegung im geschlossenen System liegt dann vor, wenn das Endglied eines Körpersegmentes bei der Bewegungsausführung fixiert ist (z. B. Beinpresse). Bei Übungen im geschlossenen System werden die Agonisten bzw. die Synergisten als auch die Antagonisten in unterschiedlicher Weise gefordert. Diese Übungen dienen dem Training einer Vielzahl von Muskeln innerhalb einer kinematischen Kette.

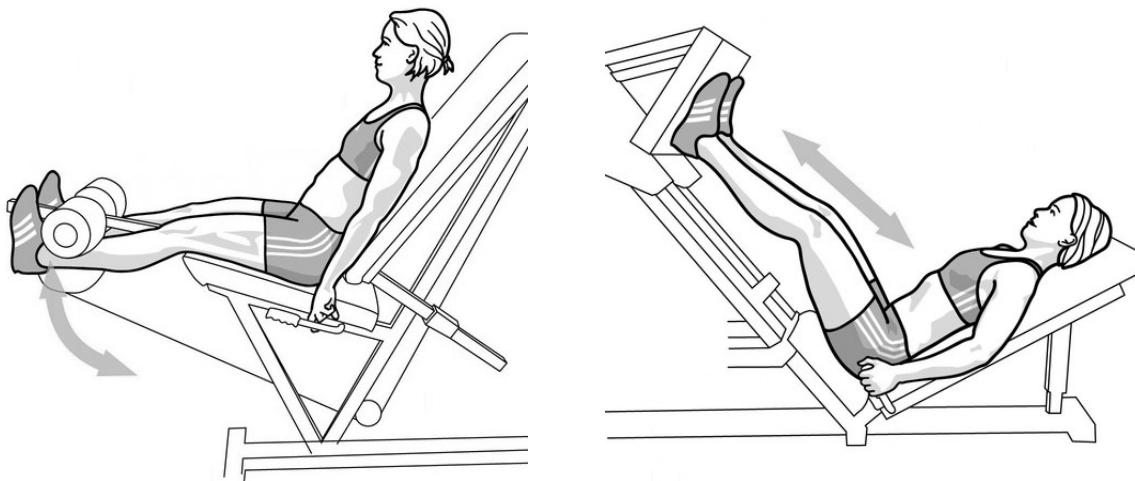


Abbildung 114: Vergleich von offenem System (links) und geschlossenem System (rechts) (evoletics, 2015)

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Training im offenen und geschlossenen System

Offenes System	Geschlossenes System
Isoliertes Training eines Muskels möglich, um spezifische Muskeldefizite auszugleichen	alltagsnahe Bewegung
keine Kompensationsmöglichkeit durch andere Muskelgruppen	Training in Muskelketten (funktionelles Bewegungsmuster)
kaum axiale Druckbelastungen	Entlastung der Bandstrukturen durch physiologische Gelenkmechanik und muskuläre Sicherung
motorisch einfach auszuführende Bewegung	Verbesserung der intermuskulären Koordination
wenig Ausweichbewegungen möglich → wenig Fehlerbilder	kaum Auftreten von Scherkräften

#### Merke

- Im geschlossenen System werden Agonisten und Antagonisten gleichzeitig angespannt – dies führt zu einer Stabilisierung des Gelenks.
- Im offenen System können Agonisten und Synergisten weitestgehend isoliert angesteuert werden.

## 8.5 Leistungsdeterminierende Faktoren der Kraft

Je nach geforderter Kraftfähigkeit ergeben sich unterschiedliche leistungsbegrenzende Faktoren bzw. verschiebt sich die Bedeutung der jeweiligen Einflussfaktoren.

Nachfolgend werden die Einflussfaktoren auf die maximale willkürlich zu erbringende Kraft dargestellt:

### Einflussfaktoren auf die Maximalkraft

- Physiologischer Muskelquerschnitt (die „Muskeldicke“)
- Neuronale Ansteuerung (v. a. Rekrutierung und Frequenzierung)
- Intermuskuläre Koordination (das Zusammenspiel verschiedener Muskeln)
- Intramuskuläre Koordination (das Zusammenspiel der Muskelfasern in einem Muskel)
- Muskelfaserzusammensetzung (mehr Typ II Fasern bedeuten ein höheres Kraftpotential)
- Motivation/Volition

### Überlastungsschäden und Verletzungen durch Maximalkrafttraining

Optimale intra- und intermuskuläre Koordination, die autonom geschützte Leistungsreserve, geringe Bewegungsgeschwindigkeiten sowie Hemmungsprozesse verringern das Verletzungsrisiko!

## 8.6 Effekte von Krafttraining

Krafttraining führt zu neuronalen als auch morphologischen Anpassungerscheinungen. Kraftzuwächse in der frühen Phase (erste 6 Wochen) des Krafttrainings sind vorrangig auf neuronale Adaptionen zurückzuführen; anschließend dominieren morphologische Anpassungen.

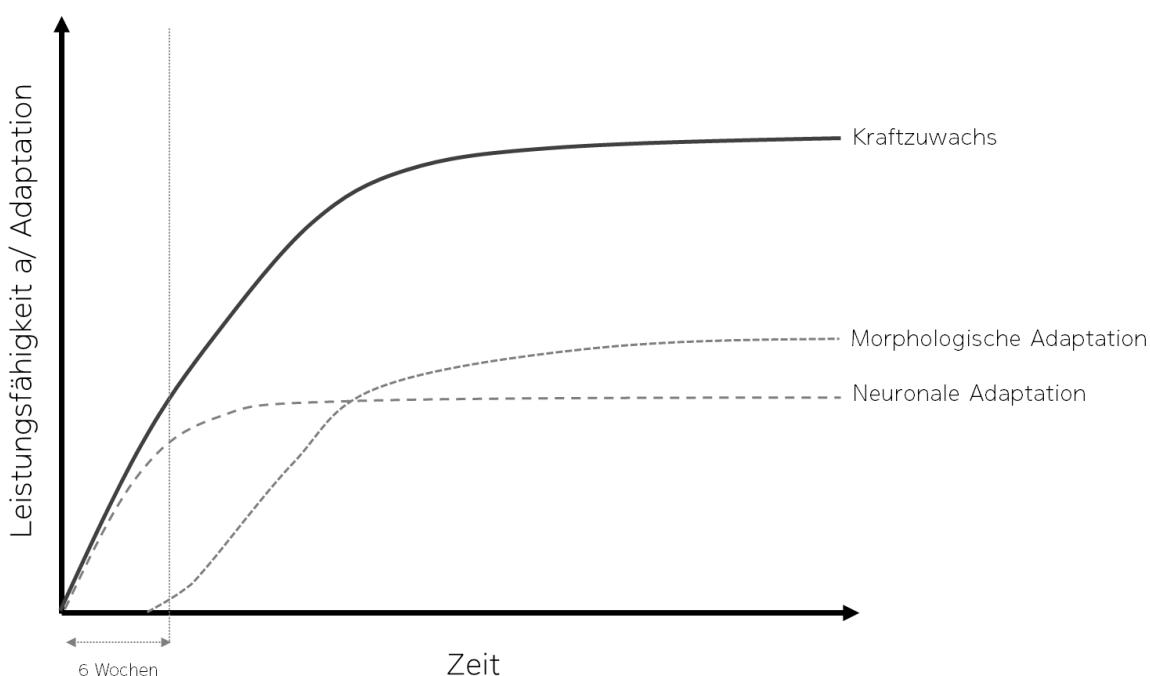


Abbildung 115: Zeitlicher Verlauf von neuronalen und morphologischen Adaptationen im Krafttraining (Eigene Darstellung)

### Funktionelle Anpassungen

- Optimierung der intramuskulären Koordination
- Optimierung der intermuskulären Koordination
- Verbesserung der Innervationsfähigkeit der Muskulatur

### Morphologische Anpassungen

- Hypertrophie (Muskelquerschnittsvergrößerung)
- Erhöhung der Glykogen- und Kreatinphosphatspeicher im Muskel

Tabelle 22: Änderungen des Muskelquerschnitts durch Beanspruchung bzw. durch Unterbeanspruchung der Muskulatur

Adaptation	Erklärung
Hypertrophie	Volumenzunahme der Myofibrillen → Muskelquerschnittsvergrößerung
Atrophie	Muskelmassenminderung, aber keine Abnahme an Myofibrillen
Hyperplasie	Vermehrung von Muskelfasern (beim Menschen nicht nachgewiesen; nur in einzelnen Tierexperimenten)

### 8.6.1 Theorien zur Muskel-Hypertrophie

#### Theorie 1: Energiemangeltheorie

Durch wiederholte submaximale Muskelkontraktionen erfolgt ein ermüdungsbedingter Übungsabbruch, weil die benötigte Energie nicht mehr bereitgestellt werden kann. Dieser vorübergehende Energiemangel bei der Proteinbiosynthese bewirkt eine anschließende gesteigerte Protein-Synthese. Der daraus resultierende Mehraufbau an kontraktilen Elementen führt zu der Volumenzunahme des Muskels.

#### Theorie 2: Proteinkatabolismus/Mechanischer Repair

Durch die intensive Belastung der Muskulatur erfolgt eine mechanische Zerstörung von Myofibrillen (Einriss der Z-Scheiben und Aufspleiung der Sarkomere). Durch anschließende Repair-Mechanismen werden Tochterfibrillen gebildet, die zur Hypertrophie des Muskels führen.

vgl. Hohmann, Lames, Letzelter, 2002

## 9 Muskelkater

### Lernziele

In diesem Kapitel lernst du, ...

1. was Muskelkater ist.
2. wie Muskelkater entsteht.
3. wie du Muskelkater entgegenwirken kannst.

Wer kennt das nicht – das Lernen einer neuen Sportart, der erste Besuch im Fitness-Studio oder der Wiedereinstieg nach einer längeren Sportpause. Mit diesen Tätigkeiten ist der Grundstein für schmerzhafte Bewegungseinschränkungen an den darauffolgenden Tagen gelegt. Die Rede ist natürlich vom Muskelkater. Aber was steckt wirklich hinter dem Phänomen des unangenehmen Muskelkaters?

Es gibt viele Mythen rund um diese Thematik. Woher kommen die Schmerzen und wie bekommt man sie möglichst schnell wieder los? Wie entsteht Muskelkater, wie lange dauert er an und gibt es möglicherweise Maßnahmen zur Vorbeugung? Diese und weitere Fragen werden in dem nachfolgenden Artikel behandelt.

### 9.1 Was ist Muskelkater?

Definition: Als Muskelkater wird ein durch kleine Faserrisse entstehender Muskelschmerz bezeichnet, der zeitverzögert als Folge hoher Belastungen oder ungewohnter Bewegungsabläufe auftritt.

Muskelkater macht sich in den meisten Fällen auf die gleiche Art und Weise bemerkbar: Die betroffene Muskulatur wirkt schwach, kraftlos, verhärtet und schmerzt schon bei den kleinsten Bewegungen. Weitere Empfindungen, die mit einem Muskelkater einhergehen können, sind Berührungsempfindlichkeit, Steifheit sowie ein leichtes Anschwellen der betroffenen Muskeln. Außerdem zählen deutliche Bewegungseinschränkungen in den entsprechenden Körperregionen zu den typischen Erscheinungen von Muskelkater.

Die schmerhaften Symptome treten in der Regel mit ein bis drei Tagen Verzögerung nach der körperlichen Belastung auf und können bis zu einer Woche andauern. Zu den häufigsten Ursachen, die zu einem Muskelkater führen können, zählen ungewohnte oder besonders intensive körperliche Belastungen. Weiterhin können Bewegungsabläufe, die über einen längeren Zeitraum andauern, körperliche Aktivität nach einer längeren Inaktivitätsphase sowie eine schlecht ausgebildete intramuskuläre Koordination Grund für die zeitverzögerten Beschwerden sein.

### 9.2 Wie entsteht Muskelkater?

Bei Sportarten wie Fußball, Tennis oder Squash kommt es vorrangig zu abrupten Abbremsbewegungen, ebenso wie zu schnellen Antrittsbewegungen. Besonders nach exzentrischer (abbremsenden) Muskelarbeit tritt Muskelkater sehr häufig auf. Im Gegensatz zu der konzentrischen (überwindenden) Muskelarbeit, sind bei abbremsenden Bewegungsausführungen weniger Muskelfasern aktiv, welche damit allerdings einer größeren Belastung ausgesetzt werden. Dadurch ist das Verletzungsrisiko bei exzentrischer Muskelarbeit höher. So kann beispielsweise die Bremsarbeit der Beinmuskulatur bei steilem Bergabgehen, oder das Zurückführen einer Hantel in die Ausgangsposition, diese schmerhaften Erscheinungen verstärkt verursachen.

Um die Frage nach der genauen Entstehung von Muskelkater zu erklären, bestehen verschiedene Erklärungsansätze, über die sich Forscher noch uneinig sind. Der Schmerz des Muskelkaters resultiert letztlich

aus einer Überbeanspruchung der Muskulatur, bei der bestimmte Strukturen innerhalb des Muskels beschädigt werden.

Bei einer der weitverbreitetsten Hypothesen wird davon ausgegangen, dass es durch die hohe körperliche Belastung zu mikroskopisch kleinen Muskelfaserverletzungen kommt. Kleine Risse in den Muskeln gehen mit Einblutungen und Entzündungsreaktionen einher, welche den Muskelkater auslösen. Dabei wird unmittelbar nach der Belastung zunächst kein Schmerz registriert. Dieser setzt erst verspätet, durch diverse Folgereaktionen ein.

Eine weitere anerkannte Hypothese verfolgt die Theorie, dass hohe mechanische Belastungen zu Mikrotraumatisierungen in den Muskelfasern führen. Hierbei kommt es zu Rissbildungen innerhalb der Sarkomere. Durch die Risse tritt Wasser in den Muskel ein und drückt auf das Bindegewebe der Muskelfaser (Faszie). Rezeptoren innerhalb dieses Bindegewebes lösen den Schmerz letztlich aus.

Eine andere Theorie basiert auf dem Grundgedanken, dass Laktat (Milchsäure) die Ursache für den Muskelkater ist. Durch intensive Muskelaktivität im anaeroben Bereich kommt es vermehrt zu Laktatbildung in den Muskeln. Das Laktat häuft sich nach einer gewissen Zeit an und die Muskeln übersäuern. Diese Hypothese, die Laktat als Ursache für die Entstehung eines Muskelkaters beschreibt, kann heute allerdings durch verschiedene Argumente widerlegt werden.

### 9.3 Der zeitliche Verlauf von Muskelkater

Die mit dem Muskelkater einhergehenden Symptome treten etwa 12 bis 72 Stunden nach der Belastung auf. Die unangenehmen Schmerzen erreichen in dem Zeitraum von ein bis drei Tagen ihr Maximum und können bis zu einer Woche lang andauern. Der Schmerzgipfel wird meistens nach 24-28 Stunden erreicht. Ob ein Muskelkater auftritt und wie lange dieser andauert, ist neben der Art und Intensität der körperlichen Beanspruchung, ebenfalls von dem Trainingszustand der betroffenen Person abhängig. Werden Bewegungsabläufe regelmäßig mit gleicher Intensität durchgeführt, verringert sich das Ausmaß des Muskelkaters rapide. Allerdings ist die Dauer und Ausprägung eines Muskelkaters sehr individuell geprägt und kann daher recht unterschiedlich ausfallen.

### 9.4 Folgen von Muskelkater

Muskelkater ist das Resultat von verletzten Strukturen innerhalb der Muskelfasern. Darauf folgt ein Heilungsprozess, bei dem es zur Regeneration der beschädigten Muskelstrukturen kommt. Man geht davon aus, dass bestimmte Anpassungsreaktionen zu einem Mehraufbau der Zellen (Fibrillen) und damit zu einer Muskelquerschnittsvergrößerung (Hypertrophie) führen. Zu unterscheiden ist jedoch zwischen leichtem und schwerem Muskelkater. Während ein leichter Muskelkater durchaus mit einem wirkungsvollen Training assoziiert werden kann, ist ein Muskelkater mit starken Schmerzen und erheblichen Bewegungseinschränkungen vielmehr ein Zeichen einer Überbeanspruchung oder kann auf eine technisch unsaubere Bewegungsausführung zurück zu führen sein. Das Ausmaß der Muskelschmerzen ist allerdings individuell und kann von Person zu Person unterschiedlich stark ausfallen. Muskelkater kann daher nicht als Maßstab herangezogen werden, um die Trainingswirksamkeit zu beurteilen. Das Ausbleiben von Muskelkater ist daher ebenfalls kein sicheres Indiz dafür, dass ein Training womöglich wirkungslos war. Ein Muskelkater geht in der Regel ohne wesentliche Dauerschäden einher. Die beschädigten Muskelstrukturen regenerieren sich wieder vollständig.

## 9.5 Sporttreiben trotz Muskelkater?

Wie bei allen Verletzungen ist auch bei Muskelkater zunächst eine zumindest kurzzeitige Schonung zu empfehlen. Da Muskelkater mit einer vorübergehenden Verminderung der Maximalkraft und oftmals mit Bewegungseinschränkungen einhergeht, sollten intensive, kraftvolle Belastungen oder Bewegungsabläufe vermieden werden. Zum einen können die Bewegungen oftmals nicht mehr technisch einwandfrei ausgeführt werden und zum anderen kann das Training der schmerzenden Muskeln den Zustand der verletzten Strukturen verschlimmern. Die beschädigten Muskelfasern sollten daher Zeit bekommen, um sich zu regenerieren.

Durch vorsichtiges passives Dehnen oder leichte konzentrische Bewegungsarbeit wie Radfahren, können die Schmerzen gemindert werden. Nach einer langen intensiven Belastungsphase ist zudem ein lockeres Auslaufen oder Aqua-Jogging zur Regeneration empfehlenswert. Wenn man trotz Muskelkater nicht auf Training verzichten möchte besteht die Möglichkeit, ganz nach dem Trainingsprinzip der wechselnden Belastung, eine andere Muskelgruppe in diesem Zeitraum zu trainieren.

## 9.6 Massage bei Muskelkater

Aktivierende Massagen wie Lymphdrainage oder Sportmassagen können detonisierend auf die betroffene Muskulatur wirken. Studienergebnisse belegen, dass das Ausmaß des Muskelkaters durch Massagebehandlungen nach einer körperlichen Belastung verringert werden kann. Allerdings sollte die Massage von moderater Stärke sein, da der Zustand des Muskelkaters ansonsten sogar verschlechtert und die Regeneration verzögert werden kann. Weiterhin zeigen sich Kältebehandlungen wie Eismassagen oder Kältebäder direkt nach der körperlichen Beanspruchung als wirkungsvolle Maßnahmen, um dem Muskelkater entgegen zu wirken.

## 9.7 Muskelkater mit Wärme behandeln

Nicht nur Kältebehandlungen haben eine positive Wirkung auf Muskelkater gezeigt. Es konnte festgestellt werden, dass Wärmebehandlungen wie Saunagänge oder Wärmebäder bei akutem Muskelkater einen wirkungsvollen Effekt zur Regeneration zeigen. Durch Wärme wird die Durchblutung der Muskulatur angeregt und der Heilungsprozess damit begünstigt.

## 9.8 Dehnen bei Muskelkater

Durch verschiedene Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Entstehung eines Muskelkaters durch passives Dehnen (Stretching) vor einer intensiven körperlichen Aktivität nicht verhindert werden kann. Die Tendenz deutet sogar vielmehr darauf hin, dass intensive Dehnübungen unmittelbar vor Kraftbeanspruchungen die Gefahr von Muskelbeschwerden erhöhen können. Durch intensives Dehnen in Form einer eigenständigen Übungseinheit kann Muskelkater bereits hervorgerufen werden. Die Muskelfasern können hierbei ebenso wie bei intensiven Belastungen oder ungewohnten Bewegungen beschädigt werden.

Weiterhin können auch dynamische Dehnübungen vor einer körperlichen Beanspruchung die Entstehung von Muskelkater nicht verhindern. Sie sind dennoch häufig in Aufwärmprogrammen integriert, um die Durchblutung zu fördern und die Muskulatur auf entsprechende Bewegungsabläufe vorzubereiten. Anders sieht es nach einer körperlichen Beanspruchung aus. Mithilfe leichter und passiver Dehnübungen können die Muskelbeschwerden durchaus kurzzeitig vermindert werden.

## 9.9 Arzneimittel gegen Muskelkater

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie konnte festgestellt werden, dass die Einnahme von entzündungshemmenden Medikamenten wie Ibuprofen nach einer körperlichen Belastung die mit dem Muskelkater einhergehenden Schmerzen reduzieren kann. Allerdings wird von einer medikamentösen Behandlung abgeraten, da es Hinweise darauf gibt, dass die Wiederaufbauprozesse der Muskelfasern hierdurch beeinträchtigt werden können.

Die Einnahme von Mineralstoffen wie Magnesium oder Calcium konnte bislang keine präventive Wirkung für die Verhinderung von Muskelkater aufzeigen.

## 9.10 Fazit

Es gibt verschiedene Maßnahmen, um die unangenehmen Beschwerden eines Muskelkaters in einem gewissen Rahmen zu reduzieren. Grundsätzlich sollten intensive Beanspruchungen der betroffenen Muskulatur vermieden werden, damit die beschädigten Muskelstrukturen sich wieder regenerieren können. Dem Muskelkater durch gezielte Mechanismen vorzubeugen ist jedoch kaum möglich. Ratsam ist daher, gerade bei ungewohnten Bewegungsausführungen oder nach längerer Trainingspause, die Belastungsintensität entsprechend gering zu halten und in möglichst kleinen Schritten zu steigern. Allerdings macht sich je nach Trainingsintensität schon nach wenigen Einheiten ein deutlicher Effekt bemerkbar, der das Ausmaß des Muskelkaters erheblich minimiert. Grund hierfür ist eine physiologische Anpassung der beanspruchten Muskulatur an die regelmäßigen mechanischen Beanspruchungen sowie eine Verbesserung der inter- und intramuskulären Koordination.

## Literatur

- Badtke, G. (1995). Einführung. In G. Badtke (Hrsg.). Lehrbuch der Sportmedizin (3. Aufl.). (S. XXI-XXIII). Hüthig: J. A. Barth.
- Bauer, P. (2007). Anatomie-Lernkarten. Die menschliche Muskulatur: Anatomie, Funktion, Innervation. Reinbek: Lau-Verlag.
- Gehrke, T. (2009). Sportanatomie (8. Aufl.). Hamburg: Nikol.
- Gray, H. (1918). Anatomy of the Human Body
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2003). Einführung in die Trainingswissenschaft (3. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). Einführung in die Trainingswissenschaft (4. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Israel, S. (1995). Grundprinzipien der biologischen Adaptation. In G. Badtke (Hrsg.). Lehrbuch der Sportmedizin (3. Aufl.). (S.1-4). Hüthig: J.A.Barth
- Jakowlew, N.N. (1977). Sportbiochemie. Leipzig: Barth
- O'Conor, C. J., Leddy, H. A., Benefield, H. C., Liedtke, W. B., & Guilak, F. (2014). TRPV4-mediated mechanotransduction regulates the metabolic response of chondrocytes to dynamic loading. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(4), 1316-1321
- Platzer, W. (2013). Taschenatlas der Anatomie. Band 1. (11. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Tittel, K. (2003). Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen (14. Aufl.). München: Urban & Fischer
- Voss, H., Herrlinger, R. (1985). In Hahn v. Dorsche (Hrsg.) Taschenbuch der Anatomie. Band 1. (18. Aufl.). Stuttgart: Fischer.
- Wollny, R. (2007). Bewegungswissenschaft. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen. Aachen: Meyer & Meyer