



Dr. med. Matteo Rossetto, Internist und Sportmediziner mit eigener Praxis und medizinischer Leiter von Äquilibris-Training in Basel. Mitglied des Medical Teams im Schweizerischen Leichtathletikverband.

Die im Wesentlichen an der Leistung beteiligten Organsysteme sind die Lunge (Atmung), Herz und Kreislauf (Sauerstofftransport) und der Bewegungsapparat, im Speziellen die Muskulatur (Umwandlung von Energie in mechanische Bewegung). Diese Organsysteme sind in Ruhe wie unter Belastung ineinander verzahnt und steigern ihren Beitrag in Abhängigkeit von der geforderten Intensität. Je intensiver eine sportliche Leistung ist, umso früher verspüren wir das Unvermögen, diese Leistung auf gleichem Niveau zu halten. Verschiedene Ursachen sind für diese Ermüdungsreaktion verantwortlich, was wir im Folgenden mit Blick auf die verschiedenen beteiligten Organsysteme näher betrachten wollen.



FOTO: ANDREAS GONSETH

## Auch Atemmuskulatur trainierbar

Lange Zeit galt die Ansicht, dass die Atmung für den Erhalt einer sportlichen (Höchst-) Leistung nicht limitierend sei. In Bezug auf den Austausch von Sauerstoff zwischen den Millionen von feinsten Lungenbläschen und den Blutkapillaren ist dies zwar zutreffend, da der Austausch von Sauerstoff und CO<sub>2</sub> zwischen Lunge und Blut passiv, einem Konzentrationsunterschied entsprechend, erfolgt. Die Atemmechanik hingegen wird durch die Atemmuskulatur gewährleistet, in erster Linie dem Zwerchfell, das sich zeltförmig zwischen Brustkorb und Bauchraum spannt und durch seine rhythmischen Kontraktionen einen Unterdruck im Brustkorb herstellt, unter dem sich die Lunge ausdehnt und damit Atemluft einsaugt.

Im Unterschied zur ebenfalls quergestreiften Skelettmuskulatur wird das Zwerchfell neben unserer Willkür auch autonom angesteuert und durch das Atemzentrum im Gehirn zu automatischer Arbeit angehalten. Zusätzlich zum Zwerchfell haben wir zwischen den Rippen unterschiedlich verlaufende Muskelschichten, die das Ein- und Ausatmen ebenfalls unterstützen, wie auch die so genannte Atemhilfsmuskulatur (Brustmuskeln, gewisse Hals- und Nackenmuskeln), die wir bei Bedarf zur Steigerung der Atmung willkürlich beiziehen können. Diese Muskeln werden dann besonders effizient zur Unterstützung der Atmung eingesetzt, wenn wir die Arme auf die Oberschenkel abstützen, der Grund für das bestens bekannte Bild des ausgepumpten Sportlers im Ziel, der vornüber gebeugt mit abgestützten Armen nach Luft ringt.

Dass die Atemmuskulatur durchaus ermüden kann, verspüren wir zum Beispiel daran, dass uns am Tag nach einer ungewohnt lang dauernden Anstrengung ein

# Sport & Ermüdung

**In der Anfangseuphorie glauben wir, noch stundenlang laufen zu können, doch früher oder später beginnen die Beine schwer und der Schritt schleppend zu werden: die Ermüdung setzt ein. Warum ermüden wir und welche Mechanismen sind dafür verantwortlich?**

echter Muskelkater am Brustkorb plagen kann. Analog zur «normalen» Muskulatur sind auch die Muskeln des Brustkorbes nicht nur einem Ermüdungsreiz unterworfen, sie können auch durch ein gezieltes Atemtraining in ihrer Leistungsfähigkeit gesteigert werden. Neuere Untersuchungen haben inzwischen belegt, dass eine gut trainierte Atemmuskulatur sehr wohl in der Lage ist, die körperliche Leistungsfähigkeit zu verbessern und die Ermüdungsschwelle für die Atmung zu verzögern, was sowohl im Sport, als auch in der Rehabilitation bei Lungenkrankheiten genutzt wird

## Herz wird nicht müde

Unser Herz ist der Ausdaueremuskel par excellence und der Motor des Kreislaufs, weshalb schon deshalb ein Ausfall durch Ermüden nicht vorkommen darf. So sind die Probleme, denen ein Herz ausgesetzt ist, nicht im Bereich der Ermüdung durch Dauereinsatz zu suchen, sondern liegen praktisch immer im Gefolge akuter oder wiederholter Durchblutungsstörungen, die entweder mit einem plötzlichen Ausfall von Herzmuskelgewebe (beim Herzinfarkt) oder mit einem schleichenden Funktionsausfall (Herzinsuffizienz, Herzmuskelschwäche) verbunden sind.

## Periphere Mechanismen

### Muskulatur:

- Energetisches Defizit
- Muskelfaserabbau
- Abnahme der Erregungsempfindlichkeit und Koordination

### Stoffwechsel:

- Beeinträchtigung der Energiebereitstellung aus Zucker und Fett
- Negative Glycogen- und Triglyceridbilanz

### Hormonell:

- Veränderung der Cortisolkonzentration
- Freisetzung von Stresshormonen

### Andere:

- Entzündungsreaktion
- Veränderung der Blutzellen

## Zentrale Mechanismen

### Nervensystem:

- Abnahme der Nervenregbarkeit und Frequenz der Nervenimpulse
- Veränderung des Gleichgewichtslage zwischen sympathischem (aktivierendem) und parasympathischem (erholenden) Nervensystem

### Hormonell:

- Komplexe Veränderungen der Hormonachsen von
- Schilddrüse,
- Nebennieren und
- Sexualhormone

Beim Sport hingegen ist das (gesunde) Herz nicht für die ermüdungsbedingten Leistungsverluste verantwortlich. Zwar können nach langdauernden sportlichen Einsätzen erhöhte Herzmuskelenzyme als Zeichen der Schädigung des Herzens (ganz analog dem des Muskelkaters) im Blut nachgewiesen werden, doch scheinen diese keine nachhaltigen Auswirkungen auf die Herzfunktion und Leistungsfähigkeit zu haben.

Der Hauptgrund für die Ermüdung ist erwartungsgemäss in der Muskulatur zu suchen, die den grössten Beitrag für die im Sport benötigte mechanische Energie leistet. Damit ein Muskel eine Leistung über längere Zeit auf möglichst hohem Niveau zu leisten vermag, sind gewisse Bedingungen Voraussetzung. Zum einen natürlich das Vorhandensein von Energieträgern in genügender Menge. In erster Linie sind dies Zucker und freie Fettsäuren, aus deren Verwertung das für die Muskelarbeit unabdingbare ATP hergestellt werden kann. Zu diesem Zweck werden in der trainierten Muskulatur auch eigene Energiespeicher in Form von Glycogen- und Fettdepots angelegt, mit denen die Leistungsdauer verlängert werden kann. Im Unterschied zu den Fettreserven, die wir ausserhalb der Muskulatur vor allem im Unterhautgewebe meist im Überfluss zur Verfügung haben, sind der Speicherung von Glycogen im Muskel Grenzen gesetzt. Nach

spätestens 2–3 Stunden ausdauernder Aktivität sind die Speicher der betroffenen Muskeln praktisch leer und der Nachschub muss jetzt aus dem Blut erfolgen, durch regelmässige Aufnahme von Zuckerstoffen aus dem Darm. Dies ist ein Vorgang, der seinerseits nicht uneingeschränkt und in genügend hoher Verfügbarkeit erfolgen kann.

Das Versiegen der Kohlenhydratreserven ist der Grund für den «Hammermann», der schon so manchen Marathonabsolventen bei Kilometer 30 heimgesucht hat. Sowohl die Veränderungen des Blutzuckerspiegels als auch der ungewöhnlich hohe Bedarf an freien Fettsäuren lösen Signale aus, die im Gehirn eine Reduktion der Leistung im Sinne eines Schutzmechanismus vor Überlastungsschaden zur Folge hat. So scheint auch das Fettgewebe mit einem seiner wichtigeren Botenstoffe, dem Leptin, an dieser Regulation beteiligt zu sein. Ein weiterer wichtiger Grund für die Ermüdung der Muskulatur ist der Flüssigkeitsverlust unter Ausdauerbelastung. Je nach Intensität, Feuchtigkeit und Temperatur können im Verlaufe eines Wettkampfes mehrere Liter Wasser verloren gehen. Bereits ab einem Verlust von 2% des Körpergewichtes, also etwa ab 1,5 Litern, wird die Ausdauerleistung bereits um 20% reduziert. Da die Flüssigkeitsaufnahme aus dem Darm selbst unter optimalen Umständen auf rund 0,8 Liter pro Stunde limi-

tiert ist, wird sich im Laufe einer Ausdauerleistung unweigerlich ein (zunehmendes) Flüssigkeitsdefizit einstellen. Und auch die chronische mechanische Beanspruchung der Muskulatur bleibt nicht ohne Folgen: die Eiweissfäden (Filamente) in den Muskelfasern nehmen strukturellen Schaden, was deren mechanische Leistung einschränkt. Aufbauende und abbauende Prozesse, die sich normalerweise die Waage halten, sind in diesem Augenblick in Richtung Abbau verschoben und können erst im Laufe der Regeneration wieder korrigiert werden.

## Akute Erschöpfung und chronische Überlastung

Was oben auf den ersten Blick sehr einfach und nachvollziehbar erscheint, ist in Tat und Wahrheit viel komplizierter und längst nicht nur auf periphere Ermüdungsmechanismen, wie die im Muskel, zurückzuführen. Viel mehr stehen alle an der Leistung beteiligten Organsysteme untereinander in Verbindung und unterliegen einer übergeordneten Kontrolle durch Gehirn und Nervensystem. Welche Kommunikationswege zwischen Muskulatur und Gehirn bestehen, sind im Einzelnen noch nicht klar, ebenso wenig, über welche Signale diese Verbindungen geschlossen werden. Jedenfalls sind dieselben Mechanismen, welche kurzfristig Ermüdung und Erschöpfung bedingen, auch für Zustände längerdauernder Leistungsschwäche verantwortlich. So finden wir Veränderungen bei der akuten und kurzfristigen Ermüdungsreaktion, die denen des Übertrainings gleichen. Dabei unterscheiden wir periphere und zentrale Mechanismen (vgl. Tabelle). Aus dem Zusammenwirken von peripheren und zentralen Mechanismen ergibt sich letztlich als Ursache für die Ermüdung ein Defizit auf den Ebenen Nervensteuerung, Energiestoffwechsel und Kontraktionseigenschaften der Muskulatur, die neben der verminderten Leistungsfähigkeit auch für das Müdigkeitsgefühl und die Beeinträchtigung des Wohlbefindens verantwortlich sind. ■

Konzentrat für Getränk bei erhöhtem Energiebedarf





Aus natürlichen Rohstoffen

www.gigafit.ch

Giga Fit  
5620 Bremgarten / AG  
Tel. 056 633 82 36