

Energiehaushalt der Muskulatur

Die Grundlage jeder Muskelbewegung ist das Vorhandensein von genügend Energie. Die Energielieferanten für die Muskelbewegungen sind die im Muskel selber gespeicherten **ATP**(Adenosintriphosphat),- **KP** (Kreatinphosphat) und **Glykogen** – Vorräte.

Obwohl ATP als unentbehrlicher Energielieferant für die Muskelkontraktion reichlich in jedem Muskel ist, enthalten die meisten Muskelfasern nur für 5-6 Sekunden Daueraktivität genügend ATP. Anschließend greift der Muskel auf das energiereiche KP-Molekül zurück. Mit Hilfe der Spaltung von KP können die ATP- Speicher rasch wieder aufgefüllt werden. Damit hat der Muskel bei maximaler Arbeitsleistung Energie für 15 Sekunden. Dauert die Muskelarbeit länger an, so erschöpft sich auch der KP- Vorrat und es muss Glukose (Traubenzucker) als Energieträger verstoffwechselt werden. Im Muskel wird Glukose in seiner Speicherform Glykogen gelagert. Bei der Bereitstellung der primären Energiequelle ATP füllen sich die einzelnen Speicher jeweils auf Kosten des nachfolgenden wieder auf. Die Energiebereitstellung erfolgt dabei jedoch nicht so streng hintereinander, sondern sich überlappend.

Im Folgenden eine vereinfachte Darstellung der 3 möglichen Energiebereitstellungen:

| | | | |
|---------------------|----------|---|--|
| ATP- Spaltung: | ATP | ↔ | ADP + Energie |
| KP- Spaltung: | KP + ADP | ↔ | Kreatin + ATP |
| Glukoseverbrennung: | Glukose | ↔ | ATP + Laktat (anaerob) |
| | Glukose | ↔ | ATP + CO ₂ + H ₂ O (aerob) |

Die Glukose kann jedoch nicht direkt für die Gewinnung von ATP genutzt werden. Zuvor muss sie weiter zerlegt werden, entweder – bei Sauerstoffmangel – über die Reaktionskette der Glykolyse zum Pyruvat und weiter zum Laktat (Milchsäure) oder – wenn genügend Sauerstoff verfügbar ist – wird das immer noch energiereiche Pyruvat nicht als Laktat ausgeschieden, sondern vollständig zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser zerlegt. Hierbei wird ca. 20 mal mehr ATP erzeugt.

Die Glykolyse benötigt keinen Sauerstoff, sie ist ein anerobes Prozess. Daher wird die Glykolyse auch als **anerobes Energiestoffwechsel** bezeichnet. Der als zweitens beschriebene Vorgang benötigt Sauerstoff und wird deshalb als **aerobes Energiestoffwechsel** bezeichnet.

Der anaerobe Energiestoffwechsel wird dabei noch in zwei Phasen eingeteilt:

- **alaktazide Phase:** erste Phase der anaeroben Energiegewinnung, da sie noch ohne nennenswerte Laktat- Bildung vor sich geht (die ersten 7 Sekunden)
- **laktazide Phase:** die eigentliche Glykolyse

Vorraussetzung dafür, dass die Glukoseverwertung nicht bei der Glykolyse stecken bleibt, sondern bis zum CO₂ erfolgen kann, ist die Verfügbarkeit von Sauerstoff im Muskel. Der limitierte Faktor hierbei ist allerdings nicht die Lunge, sondern die Bereitstellung des Sauerstoffs in der Muskelfaser. Dies geschieht durch, das in den Mitochondrien (Zellbestandteile) enthaltene **Myoglobin**, dem Sauerstoffträger der Muskulatur. Durch Muskeltraining, insbesondere durch Ausdauertraining, erhöht sich entsprechend die Anzahl der Mitochondrien in den trainierten Muskelpartien, ferner auch die Anzahl der Kapillaren (welche den eingeatmeten Sauerstoff „vor Ort“ bringen). Dadurch erhöht sich auch der Durchmesser der trainierten Muskelfaser. Ein Sportler im Training hat vor allem deshalb eine bessere Kondition, weil in seinen Muskeln durch das Training vermehrt Mitochondrien und Kapillaren gebildet worden sind, so dass Glukose in weit größerem Umfang aerob verbrannt werden kann und es nur in geringerem Umfang zur Laktatbildung kommt.

Sauerstoffschuld

Während der Muskelarbeit erweitern sich die Blutgefäße im Muskelgewebe, um den Mehrbedarf an Sauerstoff zu decken. Zu Beginn einer Muskelkontraktion entsteht im Muskel eine Sauerstoffschuld, da es rund 2-4 min. dauert, bis die Muskeldurchblutung und damit der Sauerstofftransport dem gesteigerten Bedarf angepasst ist. Eine Sauerstoffschuld entsteht dann, wenn der Muskel in der Dauerleistungsphase mehr Sauerstoff braucht als zugeführt werden kann. In beiden Fällen wird ATP nicht durch den aeroben Energiewechsel, sondern durch den Abbau von KP und durch die Glykolyse, gewonnen. Zwar werden ca. 80% des so gebildeten Laktats mit dem Blut zur Leber abtransportiert, ein Teil jedoch sammelt sich im Muskelgewebe an. Dieses im Muskel verbleibende Laktat muss abgebaut werden, was ebenfalls Sauerstoff erfordert. Der hieraus sich ergebene Sauerstoffbedarf wird Sauerstoffschuld genannt. Die Schuld wird durch eine verstärkte Atmung nach Beendigung der Arbeit beglichen.

Muskuläre Ermüdung

Wird ein Muskel für eine längere Periode gereizt, so werden die Kontraktionen nach und nach schwächer, bis der Muskel nicht mehr reagiert. Das Unvermögen, immer weiter zu kontrahieren, wird „muskuläre Ermüdung“ genannt. Dies wird auf ungenügende Sauerstoffzufuhr, Erschöpfung der Glykogenreserven und/oder Anstieg der Laktatkonzentration im Blut, zurückgeführt. Der unbegrenzte Laktatanstieg würde zu einem pH – Abfall (zu einer Übersäuerung) in der Zelle führen. Daher kann die muskuläre Ermüdung auch als ein Schutzmechanismus betrachtet werden, der verhindert, dass der pH – Wert auf einen für die Muskelfasern schädlichen Wert fällt.