

Biologische und biomechanische Grundlagen von Muskelleistungen

Zum energetischen Bereich

Grundsätzliches

Kraftbewegungen sind auch unter energetischem Aspekt zu betrachten. Die Kontraktionsintensität (maximal, submaximal, mittel etc.) und Arbeitsweise (statisch, dynamisch) sind nämlich von einer bestimmten Energieflussgröße abhängig. Deshalb ist entweder die anaerob-alkalazide oder anaerob-laktazide oder aerob-glykolytische Energiebereitstellung schwerpunktmäßig maßgebend, wenn auch stets alle diese Stoffwechselvorgänge gleichzeitig laufen. Kurz dargestellt ergeben sich folgende Grundsätzlichkeiten der Energiebereitstellungen:

Maximalkraft-, Schnellkraft-, Reaktivkraft-Einsätze sind Angelegenheit des höchsten Energieflusses pro Zeit, also der Phosphatspaltung (ATP + KrP) und der Phosphatspeichergröße (maximale Einsatzdauer 7-10 s: im Extremfall nach Trainingsanpassung bis 20 s). Die hohe Intensität kann aus energetischer Sicht durch Substraterschöpfung (Phosphatpool) nicht mehr aufrechterhalten werden, auch wenn zu diesem Zeitpunkt die Übersäuerung (pH-Wert-Senkung) durch Laktatbildung aus der anaeroben Glykolyse eingesetzt hat. Große bzw. vergrößerte Phosphatspeicher sind also wesentlich für das Aufrechterhalten maximaler Kontraktionsintensitäten. Wiederholtes Ausschöpfen des KrP-Speichers durch entsprechende Trainingsbelastung führt zu einer Speichervergrößerung (ATP ca. + 40-50%; KrP bis + 70%).

Kraftausdauer-Einsätze mit submaximaler Intensität erfordern zumindest einen Energiefluß/Zeit, der nur aus der anaeroben Glykolyse unterhalten werden kann (aerober Beitrag gering). Für das Aufrechterhalten dieser Intensitäten ist deshalb eine hohe Glykolyserate (= Laktatbildungsfähigkeit), aber auch ein großer Phosphatspeicher von Nutzen. Die anaerobe Glykolyse setzt nach ca. 60% Dephosphorylierung des KrP ein. Die Einsatzdauer der anaeroben Energieproduktion (alkalazid + laktazid) kann damit verlängert werden (40-90 s). Die Kräfteinsätze sind in diesem Fall wegen Übersäuerung (»Enzymvergiftung« durch stark gesunkenen pH-Wert) nicht mehr aufrechtzuerhalten. Die anaerobe Glykolyse bremst sich gewissermaßen selbst.

Ausdauerkraft wird aus einer gemischten anaerob-glykolytischen und aerob-glykolytischen Energieproduktion unterhalten. Wird das Laktat-steady-state überschritten, so ist die Laktataufstockung und damit die Übersäuerung die Ursache für den Intensitätsabbruch. Die Belastungsdauer bis dorthin hängt von der prozentualen Beanspruchung der anaeroben Glykolyse ab: 100%ig ist sie kaum länger als 3-4 Minuten in Anspruch zu nehmen, bei ca. 70-80% Inanspruchnahme ist mit einer Dauer von 7-10 Minuten zu rechnen. Bleibt die Belastungsintensität im Bereich des maximalen Laktat-steady-states, so ist die Ursache für den Intensitätseinbruch im Schwinden des Glykogenspeichers zu sehen. Derartige Ausdauerkraft-Belastungen liegen dann im Zeitbereich der LZA I (10-35 min).

Phosphatresynthese und Laktatbeseitigung

Im Hinblick auf Wiederbelastung nach Krafttraining sind die Zeiten für Phosphatresynthese und Laktatbeseitigung von Interesse.

ATP wird im allgemeinen laufend resynthetisiert. Kommt es im Extremfall zur maximalen Ausbeute (bis auf 40% der Ausgangsmenge), so ist der ATP-Pool nach wenigen Sekunden wieder ersetzt.

KrP kann maximal bis auf 20% abgebaut werden. Die Resynthese läuft exponentiell ab (schnellere erste Hälfte), da am Anfang die Wiederherstellung über laktazide Energiegewinnung (Laktatanfall am Anfang der Pause!) geschieht, später das oxidative Geschehen im Vordergrund steht. Die *Halbwertszeit* (= Zeit, in der 50% der fehlenden Menge ersetzt sind) der Phosphatresynthese liegt bei ca. 15 s (andere Angaben 22 s). Nach 1 Minute sind ca. 90% ersetzt, nach 3 Minuten ist die *volle Resynthese* geschehen.

Die **Beseitigung des Laktats** aus der Muskelzelle durch die Zellwand hindurch beginnt bereits im arbeitenden Muskel. Bei sehr hoher intrazellulärer Anreicherung (bis 40 mmol/l) kommt es allerdings zu einer Art Behinderung der Laktatpassage. Nach der Belastung geschieht die weitere Beseitigung durch Übertritt ins Blut (gemäß dem Konzentrationsgefälle) und z. T. im ruhenden Muskel durch Wiederaufbau zu Glykogen. Die Laktatverteilung (im Blut) läuft mit einer Halbwertszeit von 2 Minuten, die Blutlaktateliminierung durch Aufnahme in Leber und Niere sowie Verbrennung im Herzmuskel mit einer Eliminationsrate von 0,5

mmol/l/min (soweit Konzentrationen über 5 mmol/l vorliegen). Die *Halbwertszeiten* der Beseitigung werden für Konzentrationen um ca. 5 mmol/l mit etwa 10 min, für ca. 10 mmol/l mit 15 min, für über 20 mmol/l mit 25 min und mehr angegeben. Nach 1-3 Stunden ist im allgemeinen das ganze Laktat beseitigt. Durch *aktive Pausengestaltung* kann der Laktatabbau weiterhin bis auf die Hälfte der Zeit reduziert werden. Mit Hilfe dieser Kenntnisse lassen sich die notwendigen Pausenzeiten (7-15 min) bei stark übersäuerndem Kraftausdauertraining abschätzen. Die Pausendauer (3-5 min) beim Maximalkrafttraining richtet sich mehr nach der Phosphatresynthese. Die (schnellere) Laktatelimination aus der Zelle ist in dieser Zeit auch abgelaufen.

Im Rahmen der Regenerationsvorgänge im Muskel darf nicht übersehen werden, daß eine *gute Kapillarisation der Muskulatur* eine notwendige Voraussetzung für einen optimalen Erholungsvorgang ist. Damit wird die Bedeutung eines Ausdauerlevels im Sinne einer guten **Grundlagenausdauer** auch für Kraftarbeit hervorgehoben.

Zum motivationalen Bereich

Für die Kraftentfaltung spielt wie bei allen sportlichen Leistungen auch die **Motivation** als allgemeines Aktivierungsniveau eine entscheidende Rolle. Es ist bekannt, dass die für Kraftmessungen unter Normalbedingungen bekannten Standardabweichungen von ca. $\pm 4\%$ (bis 8.5%) aus motivationalen Gründen um ein Mehrfaches sich ändern können. Im engeren Sinne geht es hier um die bewusste Mobilisierung zusätzlicher Kraftreserven über das gewöhnliche Maß hinaus. Dazu ist notwendig der Wille als Fähigkeit zum Handeln trotz der unangenehmen Gefühle, die mit starken körperlichen Anstrengungen verbunden sind (Überwindung des »inneren Schweinehundes«). Der Wille kann Hemmungen psychogener Art und hemmende Reflexe aus unangenehmen Gefühlen abbauen. Er beeinflusst auch das sympathische Nervensystem (Katecholaminausschüttung) und stimuliert damit verschiedene Organe zu höherer Leistung.

Eine Wirkungssteigerung, hemmende Reflexe auszuschalten, wird durch Überlagerung der Hemmreflexe durch andersartige Reize - gewissermaßen durch Hemmung von Hemmungen - erreicht. Derartiges wird in der Sportpraxis z. B. bei Werfern, Stoßen, Gewichthebern durch lautes Schreien zu erreichen versucht. Der größte Einfluss auf Kraftleistungssteigerung wurde bei Versuchen mit Hypnose erreicht.

Unter normalen Wettkampf- und Trainingsbedingungen ist hohe **Willenskraft** von Bedeutung. Darunter wird die Fähigkeit verstanden, den Willen ins Spiel zu bringen. Sie ist nicht durch Belehrung zu erreichen, sondern bedarf einer langfristigen Schulung durch Übung im praktischen Krafttraining.

Für Maximalkraft-, Schnell- und Reaktivkraft-Einsätze ist die Verbesserung der **Willensstoßkraft** (= Willenseinsatz für kurze maximale Anstrengungen), für Kraftausdauerleistungen die Verbesserung der **Willensspannkraft** (= Willenseinsatz für längerfristige Anstrengung) von Bedeutung.

Hochtrainierte Sportler haben deshalb nach jahrelangem Training ihre Mobilisationsschwelle in Bereiche von 90-95% der absoluten Leistungsfähigkeit vorgeschoben.