

Muskelaufbau

Stefan Lange

Nach vielen Anfragen „was macht mich schneller...“ oder“ welche Zusätze sind nötig um schneller zu werden“ hier noch einmal eine kleine Lektüre, die erklären soll welche Chemischen Prozesse in unserem Körper ablaufen, und das dieses Zusammenspiel auf der Ebene Hochleistungssport ein schmaler Grat ist. Und auch das ist richtig, nicht jeder Körper ist für Hochleistungssport gemacht. Aber wenn wir uns dort bewegen, ist es nur ein kleiner Teil von Personen bei denen es wirklich alles zusammen passt.

Für uns alle gilt: machen wir doch Sport und finden unsere Grenzen auf natürliche Art und Weise. Lasst uns Spaß haben an der Bewegung und dem miteinander.

1. Begriffe

Leistung

In der Physik ist die Leistungen P vereinfacht definiert als: $P = W / t$, also als Arbeit W pro Zeiteinheit t .

Die oben eingehende Arbeit wird wiederum erbracht durch die wirkende Kraft entlang einer Wegstrecke: $W = F \cdot t$

Leistungstyp

Zwei im Sinne der Leistungsdefinition gegenläufige Leistungstypen können unterschieden werden:

- **Maximalkraft-Typ:** Erbringung eines Leistungsbetrags durch Minimierung des Zeitintervalls (bei Maximierung der aufzuwendenden Arbeit).
- **Ausdauer-Typ:** Erbringung desselben Leistungsbetrages durch Minimierung der aufgewendeten Arbeit in einem Maximalen Zeitintervall.

Leistungsbereitschaft

Die subjektive Leistungsbereitschaft ist Ausdruck des Füllzustandes der Speicher der für den jeweiligen Leistungstyp relevanten Schlüsselstoffe. Sie ist am Anfang der Regenerationsphase am Tiefpunkt. Die Dauer der Regeneration hängt ab von der Anwendung regenerationsfördernder Maßnahmen (Ernährungsverhalten, Bewegung, Ruhe, ...). Die Regenerationsphase endet mit der Superkompensation, d. h. in dem Zeitraum, in dem die Stoffspeicher über das ursprüngliche Maß aufgefüllt sind.

Leistungssteigerung

Leistungssteigerung erfolgt dann, wenn die Speicherkapazität an Schlüsselstoffen bezogen auf einem Ausgangswert zugenommen hat. Im Zuge dessen vergrößert sich ebenfalls die Leistungsfähigkeit der „verarbeitenden Organe“ (Herz, Muskeln, Leber, ...), wobei bei entsprechender Skalierung „Personalunion“ besteht.

2. Faktoren

Die muskuläre Leistungsfähigkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- von der Speicherkapazität des Organismus an Nährstoffen
- vom Versorgungsstatus der Speicher, insbesondere an Brennstoffen und im Katabolismus wirksamen Mineralstoffen
- von der Stoffaustausch-Kapazität des Stoffwechsels (in der Regel abhängig von der Größe der zuständigen Organe, z. B. Lunge, Haut (Schwitzen), Herz, Darm (Falten, Zotten), ...)
- von Qualität und Quantität der nachgelieferten Stoffe während der Belastung

Aktueller Zustand

1. Speicherkapazität
2. Versorgungsstatus

pH-Wert

einige Kationen werden in Verbindungen aufgenommen, die im Stoffwechsel basische Wirkung entfalten

- Menge verfügbarer, für die Muskelfunktion relevanter Mineral-Ionen
- verfügbare (hauptsächlich im Blutpuffer gespeicherte) Pufferkapazität, zum Erhalt des physiologischen pH-Optimums während der Muskelarbeit
- Atem-Volumen: verantwortlich für die Abfuhr von Säure-relevantem CO_2

pH-Puffer:

- durch CO_2 bedingte pH-Senkung kann nur durch Nicht-Bikarbonatpuffer abgepuffert werden
- dagegen kann die durch Laktat (und dessen Bildung) hervorgerufene pH-Senkung durch den Bikarbonat-Puffer abgefangen werden *(Hier ist die Wissenschaft sich auch noch nicht einig)

3. Stoffaustausch

Gasaustausch:

- die Transportkapazität für O_2 hängt ab von Konzentration und Zustand von Hämoglobin (Hb)
- die Konzentration von Hb hängt u. a. von der Nachlieferung von Fe^{2+} ab
- die Funktionsfähigkeit von Hb hängt vom Oxidationszustand des Fe^{2+} ab
- die Bindung (Transport) von CO_2 an Hb konkurriert mit O_2 und steigt mit sinkendem pH-Wert

CO_2 -Lösung:

- die chemische ‚Löslichkeit‘ von CO_2 (als Bikarbonat) sinkt mit dem pH-Wert

4. Stoffumsatz

Katabolismus:

- bei zu starker Muskeltätigkeit (Übergang aerob \rightarrow anaerob) reichert sich CO_2 als Endprodukt der Glycolyse an
- der vollständige Abbau von Glucose/Glycogen ist gehemmt, es wird Laktat gebildet
- der pH-Wert sinkt auch bei der Laktat-Bildung (Milchsäure)

5. Beobachtungen

niedriger pH-Wert

- infolge geringer Aktivität (Blutfluss) des Nährstoff-Nachlieferungs-Apparats (Verdauungs-Trakt): keine Regeneration der körpereigenen Puffersysteme, der pH-Wert sinkt sukzessive immer weiter ab
- Gewebe (z. B. Knorpel) weich, Muskel belastbar, großer Bewegungsradius
- Verletzungsrisiko gering, solange pH im Pufferbereich (d. h. Pufferfähige Kationen nicht erschöpft)

hoher pH-Wert (Nachlieferung von Kationen, z. B. nach Nahrungsaufnahme, in Ruhe- / Regenerationsphase)

- Nährstoff-Nachlieferungs-Apparat (Verdauungs-Trakt)
- Puffersysteme werden regeneriert
- Gewebe (Muskel, Knorpel) hart, steif
- Mobilisierung negativ geladener Metaboliten (hauptsächlich Milchsäure: „Schlacken“) aus den Körperzellen (Entgiftung)

Zusammenhänge

- Muskularbeit – pH-Senkung – Carbonatpuffer – Protonierung – CO₂-Ausgasung – Ca²⁺-Freisetzung (Ausscheidung?)

pH-Senkung durch Stoffwechselarbeit

- CO₂-Eingassung ins Blut:

Liegt der pH-Wert über 6,4, läuft die Reaktion nach links ab:

Es spaltet sich ein Proton ab, der pH-Wert sinkt.

Ist CaCO₃ verfügbar (Knochen, Nahrung) und der pH-Wert sinkt unter 6,4, wird dieses gelöst. Der pH-Wert steigt dadurch wieder, indem zwei Protonen und ein CO₂ aufgenommen werden. Es entsteht Calciumbikarbonat:

Calcium wirkt hier als Puffer, indem bei pH-Senkung durch CO₂-Eingassung unterhalb pH 6,4 gelöst wird, bei Erhöhung des pH-Werts über 10,4 dagegen CaCO₃ ausfällt.

Bedeutung von Calcium

Aus o.g. Reaktionen folgt, dass die Menge an verfügbarem CaCO₃ (oder Calcium in anderer löslicher Form) verantwortlich ist für die Menge CO₂, die ins Blut aufgenommen werden kann.

Da im Blut die ~17-fache Menge Na⁺, wie Ca²⁺ (Ladungsäquivalente) gelöst ist, kann Na⁺ wie folgt an der CO₂-Regulation beteiligt sein:

Beschreibung:

CO₂-Zufuhr führt zur Freisetzung von Calcium (Knochen)

- Hämoglobin – O₂-Aufnahme – H⁺-Abgabe

6. Muskuläre Leistungsbereitschaft

Steigerung

pH-Senkung durch Muskelarbeit (bei ausreichendem Nährstoffvorrat)

- Ausdauerbelastung: Glucose bzw. Glycogen wird zu CO₂ verbrannt, welches den Stoffwechsel-pH-Wert im Bereich des Blut-Puffers senkt
- Maximalkraftbelastung: Glucose bzw. Glycogen wird zu Milchsäure abgebaut und dieses während der Regenerationsphase vollständig zu CO₂ verbrannt. Beide Abbauprodukte haben pH-Senkende Wirkung, der vollständige Abbau erfolgt verspätet.

pH-Senkung durch Nahrungsaufnahme

- kurzfristig: Säuren (Essig, Vitamin C : 4,2; 11,6), saure Säfte, Kaffee (pH 4,9–5,2), Rauchen, etc.), saure oder angesäuerte Lebensmittel erhöhen die Leistungsbereitschaft kurzfristig. Der pH-Effekt wird jedoch sehr rasch durch Puffermechanismen des Stoffwechsels ausgeglichen.
- langfristig: Basen bzw. positiv geladene Ionen stimulieren den Stoffwechsel zur Produktion körpereigener Säuren. Ein verstärkter Bewegungsdrang kann entstehen, Folge ist die Bildung von Milchsäure, Kohlensäure. Dieser Effekt hält so lange vor, wie die Bewegung selbst.

Abnahme

pH-Erhöhung durch Nahrungsaufnahme (vorausgesetzt, es liegt kein Mangel an Nahrungsbestandteilen vor)

- kurzfristig: Nahrungsmittel mit hohem Gehalt an positiv geladenen Ionen (Mineralien, Elektrolyte, z. B. Calcium, Magnesium). Ein Ausgleich erfolgt gleichfalls schnell, sofern die Stoffwechsel-Puffer „aufgefüllt“ sind und die Menge der aufgenommenen Kationen die Kapazität der Ausgleichsmechanismen nicht übersteigt
- langfristig: Saure Nahrungsmittel werden vom Stoffwechsel unter Verbrauch von Kationen neutralisiert und damit einer Verwendung bei der Muskelarbeit entzogen. Gleichzeitig wird dem Körper signalisiert, dass Säuren im Übermaß vorhanden sind und deren körpereigene Produktion gedrosselt.

Reduzierte Hämoglobinwerte, mit oder ohne Reduktion der Zahl von, roten Blutkörperchen führen zu den Symptomen einer Anämie(Sauerstoff-Transportkapazität des Blutes vermindert). Es gibt viele Ursachen für eine Anämie, wobei Eisenmangel der häufigste Grund in der westlichen Welt sein dürfte. Durch Eisenmangel wird die Häm-Synthese gehemmt. Als Folge sind die roten Blutkörperchen ohne die rote Farbe und kleiner als normal.