

Sport und Immunsystem

von Hermann Buhl und Klaus-Michael Weber

Zusammenfassung

Es ist eine wissenschaftlich belegte Erkenntnis, dass das Immunsystem in direkter Abhängigkeit von der Reizstärke, Reizdauer und Reizintensität einer sportlichen Belastung reagiert. Die Belastungssteuerung erhält damit einen hohen Stellenwert hinsichtlich Stärkung oder Schwächung des Immunsystems. Deshalb ist die Festlegung der individuellen Trainingsbereiche eine Voraussetzung dafür, den größten gesundheitlichen Nutzen aus dem körperlichen Training zu ziehen und vor Schaden durch Überlastung zu bewahren. Dies gelingt nur mit einer exakten Leistungsdiagnostik, wie sie die Spiroergometrie liefert.

Schlüsselworte:

Immunreaktion auf körperliche Belastung – Leistungsdiagnostik – Spiroergometrie – individueller Trainingsbereich

Abstract

Sport and immune system

Hermann Buhl, Klaus-Michael Weber

It has been scientifically proven that the reaction of the immune system is directly dependent upon the magnitude, duration and intensity of physical exercise. Stress control plays an important role in strengthening or weakening the immune system. Hence, the establishment of individually designed training programs is a prerequisite for maximizing the usefulness of physical training. This optimal range can be achieved only by means of an exact performance diagnosis, such as cardiopulmonary exercise testing (CPX).

Keywords:

Immune reaction by exercise – cardiopulmonary exercise testing (CPX)

UMWELT & GESUNDHEIT 4 (2004) 134-7

Einleitung

Das Verständnis für die Auswirkungen verschiedener sportlicher Belastungsformen auf das Immunsystem hat sich erst in den letzten acht bis zehn Jahren bedeutend erweitert. Wesentlich dafür waren Ergebnisse experimenteller Studien, die sich einerseits auf die Regula-

tion des Immunsystems als Ganzes wie auch das Verhalten einzelner Immunzellen bei Belastung bezogen. Andererseits erfolgte auch eine genauere Differenzierung der sportlichen Belastung in Abhängigkeit vom Umfang und Intensität der Bewegungsabläufe in den verschiedenen Sportarten.

Eine qualitativ neue Betrachtungsebene wurde erreicht, nachdem sich herausstellte, dass nicht nur biochemische und physiologische Regulationen auf zellulärer Ebene die Reaktion des Immunsystems auf Belastungen beeinflusste, sondern auch das ganze Spektrum der psychischen Reizgebung auf das Immunsystem wirkt. Die positiven und negativen Emotionen, wie zum Beispiel Erfolg, Freude, Glück beziehungsweise Angst, Ärger, Wut oder Niedergeschlagenheit, die ja im Sport eine überragende Rolle spielen, wirken ganz erheblich auf das Immunsystem und beeinflussen nachhaltig den Gesundheitszustand beziehungsweise die Leistungsfähigkeit des Sporttreibenden.

Nachdem Selye (1956) die Wirkung zahlreicher unspezifischer Reize auf den Organismus als Stress definierte und eine Verbindungen zwischen diesen Stressoren und dem Immunsystem über kognitive Prozesse herstellte, konzentrierte sich die Forschung mehr auf die neuronalen und hormonellen Einflüsse auf das Immunsystem.

Ader (1991) prägte dann als erster den Begriff der **Psychoneuroimmunologie** und betonte damit den interdisziplinären Charakter, mit dem sich speziell die Reaktion des Immunsystems auf körperliche Belastungen fundierter erklären ließ. Aus der Sicht der Sportmedizin ergeben sich daraus drei Aspekte, die auch die weitere Forschung bestimmen sollten

- ein struktureller,
- ein energetischer und
- ein informationeller Aspekt.

Daraus sind hier folgende Fragestellungen abzuleiten:

Welche Strukturen des Körpers werden durch die Belastung so verändert, dass eine Immunreaktion ausgelöst wird?

Wie gestaltet sich der Informationsweg zwischen den betreffenden Körperzellen?

Welche Möglichkeiten stehen dem Organismus zur Verfügung, um diese Leistung der Immunzellen energetisch abzusichern?

Die sportliche Belastung

Aus sportmethodischer Sicht charakterisiert man Belastungen nach den Fähigkeiten

- Ausdauer
- Kraft
- Schnelligkeit.

Die anatomische Grundlage dafür leitet sich aus der Muskelfaserstruktur ab. Aufgrund der Ansteuerung durch verschieden große Motoneurone, die im Vorderhorn des Rückenmarks liegen, hat die Muskelzelle die Fähigkeit ausgebildet, je nach Anforderung schnell, ausdauernd oder kräftig auf willkürlich gesetzte Reize zu reagieren. (Abbildung 1)

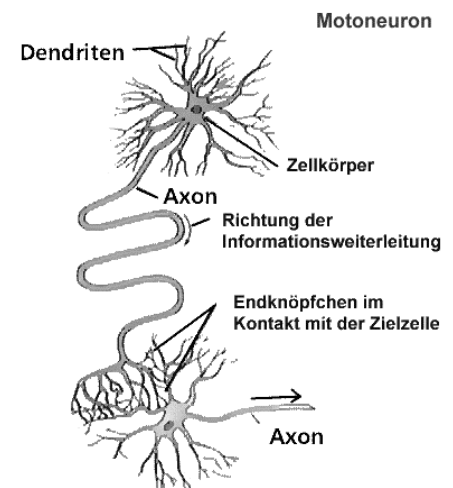


Abbildung 1: Motoneuron

(eine motorische Nervenzelle, die ihre Information letztendlich an einen Muskel weiterleitet)

Als wichtigste Substruktur der Muskelzelle sind dabei die Mitochondrien anzusehen, deren Anzahl und Größe letztlich die Leistung der Muskelzelle durch die hier stattfindende ATP-Synthese bestimmen, (Abbildung 2) wobei das Coenzym Q10 eine herausragende Rolle spielt und als Nahrungsergänzungsmittel leistungssteigernd eingesetzt werden kann.

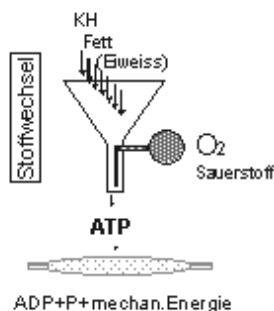


Abbildung 2: ATP und Muskel

(Eine Kontraktion als Verkürzung des Muskels durch ein aktives Ineinandergleiten seiner Filamente, wird erst durch die Spaltung von ATP (Adenosinriphosphat) ermöglicht. ATP ist quasi der universale Treibstoff für die Muskelzelle. Über die Verwertung verschiedener Energieträger wie Zuckerstoffe, Fette oder auch Eiweiße, wird letztlich nur das bei der Muskelkontraktion verbrauchte ATP wieder regeneriert)

Für die Erzeugung und Umsetzung der Leistung sind die kontraktilen- und Stützproteine verantwortlich, die im Sarkomer, der kleinsten Muskeleinheit, lokalisiert sind. (Abbildung 3) Trifft nun ein Belastungsreiz die Muskelzelle, so reagiert sie streng in Abhängigkeit von Dauer und Intensität dieser Reize.

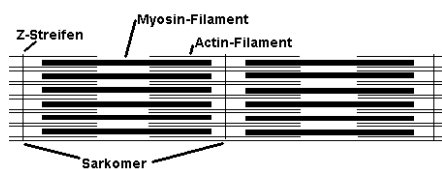


Abbildung 3: Aufbau eines Sarkomers
(tausendfach hintereinandergeschaltete Sarkomere bilden Myofibrillen, die kontraktilen Elemente von Muskelzellen)

Eine moderate, extensive Belastung über 60 bis 90 Minuten im aeroben Stoffwechselbereich verändert nur unwesentlich das Potenzial der Muskelzelle, da weder Strukturen angegriffen werden, noch Energiedefizite entstehen. Bei diesen Belastungen, die weniger als 40 bis 50 % der VO_2max (maximaler Sauerstoffverbrauch) entsprechen, kann die Muskelzelle ihre Glukose und freie Fettsäuren direkt aus dem Kapillarblut entnehmen, die dort in ausreichender Konzentration angeboten werden. Erst bei Belastungen mit einer höheren Intensi-

tät, das heißt ab 50 bis 70 % der VO_2max , die aber auch noch im aeroben Bereich liegen können, deckt die Muskelzelle ihre Energieanforderungen aus den Glykogendepots beziehungsweise dem Fettgewebe.

Intensive und langdauernde Ausdauer- oder Kraftbelastungen führen dagegen bereits nach 90 bis 120 Minuten zu Schäden der Ultrastruktur der Muskelzelle, speziell an den Mitochondrien sowie am Bindegewebe (Z-Scheibe, Desmin). Diese Veränderungen wurden bereits von *Armstrong* 1983, *Friden* 1984 und *Hoppeler* 1986 festgestellt, ohne aber die ganze Bedeutung im Sinn einer Entzündungsreaktion erfasst zu haben. Wesentlich für die Beurteilung dieser Veränderungen ist jedoch, dass diese nicht sofort, sondern erst nach zwei bis drei Tagen auftreten und vom Sportler subjektiv mit Muskelschmerz, Brennen, Hitze und Bewegungseinschränkung geschildert werden. Das entspricht der Definition des Muskelkaters, welcher durch mechanisch bedingte Mikrotraumen und einer steril ablaufenden Entzündung gekennzeichnet ist.

Diese Hypothese, dass intensive Kurzzeit- beziehungsweise extreme Langzeitbelastungen dem Charakter einer **Entzündung I. Grades** entsprechen, hat im Zusammenspiel Sport und Immunsystem zu einem völlig neuen Verständnis der Belastungswirkung einerseits – aber auch des Anpassungsprozesses an körperliche Belastungen andererseits – geführt.

Resultierend ist jetzt davon auszugehen, dass das Immunsystem in direkter Abhängigkeit von der Reizstärke, Reizdauer und von der Reizintensität einer sportlichen Belastung reagiert. Die Belastungssteuerung erhält damit einen hohen Stellenwert. Im Fall einer falsch gesetzten Belastung, die zu Strukturveränderungen der Muskelzelle führt, erkennt das Immunsystem diese Zellen oder Bruchstücke als „Fremd“ an und reagiert mit einer lokalen Abwehrreaktion in Form einer Entzündung, die zunächst in der betreffenden Muskelgruppe mehr Schaden als Nutzen anrichtet. Als Konsequenz daraus ist der Schluss zu ziehen, dass eine sportliche Belastung richtig dosiert werden sollte und die Festlegung der individuellen Trainingsbereiche durch eine Leistungsdiagnostik den Sportler vor unliebsamen Ausfällen oder gar Verletzungen schützt. Das gilt nicht

nur für den Leistungssport, sondern vor allem für den Gesundheits- und Freizeitsportler.

Die Immunreaktion bei sportlichen Belastungen

Übereinstimmend ist gegenwärtig davon auszugehen, dass eine körperliche Belastung das Immunsystem mehr oder weniger aktiviert. **Abhängig von Umfang und Intensität kann durch sportliche Belastung eine Stärkung, aber auch eine Schwächung des Immunsystems erreicht werden.**

In der Regel führt eine körperliche Belastung sofort zum Anstieg der Leukozyten, der sogenannten belastungsbedingten Leukozytose. (*Ahlborg* 1967) Dieser lang bekannte Befund wurde immer wieder bestätigt. Neueste Ergebnisse zeigen, dass einer belastungsinduzierten Entzündungs- und Immunreaktion auch eine komplexe Abwehrreaktion folgt. Nach- und nebeneinander reagiert das Komplementbindungssystem, (*Dufaux* und *Order* 1989, *Dufaux* 1990) die Mobilisierung der neutrophilen Granulozyten und Makrophagen, (*Dufaux* et al. 1990, *Berg* et al. 1992) die Freisetzung von Zytokinen, wie IL 1, IL 2 und TNF, sowie auch die schon längst bekannte Akutphasenreaktion. Obwohl Makrophagen als erster Wachposten Signale für andere Zellen, zum Beispiel T- und B-Lymphozyten aussenden, ist dieses Abwehrpotenzial geringer als das der neutrophilen Granulozyten, die über ein wesentlich größeres und vielfältigeres Abwehrpotenzial verfügen. (Tabelle 1) Diese Zellen werden aus der Gefäßinnenwand freigesetzt und finden sich schnell in großer Anzahl in der Blutzirkulation wieder. Als Auslöser für diese Freisetzung werden die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin sowie eine verstärkte Hämodynamik angesehen, zum Beispiel der Anstieg der Herzfrequenz und des Blutdrucks. Etwa die Hälfte aller neutrophilen Granulozyten ist am Anstieg der Leukozyten beteiligt.

Bei erhöhter Belastungsintensität nimmt jedoch der Anteil der Lymphozyten und Monozyten zu, da ihre Rezeptoren stärker auf Adrenalin reagieren. Von den Lymphozyten weisen wiederum die sogenannten Natürlichen Killerzellen (NK-Zellen) den größten Anstieg auf, der den Ausgangswert um ein vielfaches über-

Schwerpunkt

Tabelle 1: Funktion der wichtigsten Abwehrzellen

Abwehrzellen	Funktion
Monozyten	im Blut Vorläufer der Makrophagen
Makrophagen (große Fresszellen)	phagozytieren in allen Geweben und in der Lympflüssigkeit
Antigenpräsentierende Zellen (APZ)	z. B. Makrophagen, B-Zellen und Langerhanszellen der Haut, sie „präsentieren“ Antigene und starten damit eine Reaktionskette der Immunantwort
Granulozyten	
Neutrophile Granulozyten (kleine Fresszellen)	phagozytieren Bakterien, Viren und Pilze im Blut
Eosinophile Granulozyten	Abwehrzellen gegen Parasiten, allergische Reaktionen
Basophile Granulozyten (im Interstitium Mastzellen genannt)	Abwehrzellen gegen Parasiten, allergische Reaktionen, Entzündungsreaktion, Juckreizentstehung.
B-Zellen	
B-Lymphozyten	Vorläufer der Plasmazellen
Plasmazellen	auf Antikörperproduktion spezialisierte Zellen
B-Gedächtniszellen	langlebige B-Zellen mit „Antigengedächtnis“
T-Zellen	
T-Helfer-Zellen	aktivieren Plasmazellen und Killerzellen, erkennen Antigene auf antigenpräsentierenden Zellen
T-Suppressorzellen	bremsen die Immunantwort, hemmen die Funktion von B-Zellen und anderen T-Zellen
T-Gedächtniszellen	langlebige T-Zellen mit „Antigengedächtnis“
Zytotoxische T-Zellen	erkennen und zerstören von Viren befallene Körperzellen und Tumorzellen; reagieren auf bestimmte Antigene der Zielzellen
Natürliche Killerzellen (NK)	greifen unspezifisch virusinfizierte Zellen und Tumorzellen an

steigen kann. Wird dagegen die Belastungsdauer erhöht, das heißt ab drei Stunden bis zehn Stunden und mehr, wie es zum Beispiel bei Triathleten oder 100 km-Läufern der Fall ist, steigt zunehmend die Konzentration von Kortisol im Blut. Dieser Kortisolanstieg ist typisch für lange Belastungszeiten und wirkt sich hemmend auf die Achse Hypothalamus – Hypophyse und über neuronale Botenstoffe auch auf die Leber, Milz und Thymus aus. Andererseits wirkt es suppressiv auch auf die Zellsynthese der Lymphozytenmischpopulation. Der Kortisolanstieg im Blut hat aber auch eine wesentliche Bedeutung für die Freisetzung von Freien Fettsäuren und für die Glukoneogenese, zwei wichtige Mechanismen für die Sicherung einer kontinu-

ierlichen Energieversorgung der Muskelzelle. Daraus ergibt sich einer der vielen biologischen Widersprüche, dass einerseits hohe Leistungen erzielt werden, aber diese mit einem hohen Preis bezahlt werden müssen. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Organismus nur über ein energiebildendes System in Form der ATP-Synthese in den Mitochondrien verfügt. Die Energie wird für die laufende Belastung benötigt, dann steht sie der Immunabwehr nicht zur Verfügung. Damit muss mit entsprechenden Abstrichen bei der Abwehrfunktion gerechnet werden. (Fehr und Lötzerich 1988 a,b)

An dieser Stelle ist auch die Frage nach der Energieversorgung der Lymphozyten selbst zu stellen. Die Lymphozytenzelle benötigt als Energiesubstrat vor allem Glukose und Glutamin. Inwieweit Freie Fettsäuren als Substrat verstoffwechselt werden ist noch in der Diskussion. (Ardawi und Newsholm 1985, Ardawi 1987) Wahrscheinlich ist allerdings, dass Lymphozyten Energie vorwiegend über den anaeroben Stoffwechselweg gewinnen und weniger den aeroben Weg benutzen. (Newsholm und Leech 1983) Glutamin ist die zweite wichtige Energiequelle der sich rasch teilenden und vermehrenden Leukozytenpopulationen. Bedeutender Synthesort für Glutamin ist aber die Muskulatur. Im Falle intensiver körperlicher Leistungen verbraucht der Muskel sowohl Glukose als auch Glutamin. Beide Substrate fehlen daher den Zellen des Immunsystems und können als Ursache für eine erhöhte Infektanfälligkeit aufgrund von Glutamin- und Glukosemangel infrage kommen. (Newsholm und Leech 1983)

Die **Nachbelastungsreaktion** der Immunabwehr ist durch einen schnellen Abfall der Leukozyten gekennzeichnet. Die Ursache dafür ist der Abfall von Adrenalin und Noradrenalin, aufgrund des reduzierten sympathischen Antriebs und ihrer kurzen Halbwertszeit. Ebenso fallen als Zeichen einer sich normalisierenden Hämodynamik der Blutdruck und die Herzfrequenz ab.

Dieser rasche Abfall innerhalb von 30 Minuten nach Belastungsende, der besonders die NK- und T-Zellen betrifft, deren Anzahl zum Teil auch unter dem Ausgangswert liegen kann, hat eine für den Sportler sehr praktische Bedeutung erlangt. Dieses Phänomen der in der Nachbelastungsphase verminderten Zellkonzentration wird als „open Windows“

charakterisiert und bedeutet eine Gefahr hinsichtlich der Entstehung von Infekten, da kurzzeitig nicht genügend Immunzellen für die Abwehr zur Verfügung stehen. (Niemann und Pedersen 1999, Pedersen et al. 1988, Gabriel et al. 2003) Speziell für die Erkrankung der oberen Luftwege wurde zusätzlich eine Sensibilisierung der Rezeptoren auf der Zelloberfläche im Schleimhautbereich und den Myokardzellen festgestellt, (Scharhag et al. 2002, Gabriel und Kindermann 1997) so dass sich Keime leichter ansiedeln können.

Abschließend eine Bemerkung zu Ernährung und Immunsystem. Kramarz stellte 1997 in einer Übersicht fest, dass das Immunsystem neben dem Muskel- und Bewegungsapparat das größte Proteinkompartiment des Körpers darstellt. Es ist daher offensichtlich, dass eine proteinkatabole Stoffwechsellage, wie sie durch starke oder lang andauernde sportliche Belastungen entstehen kann, das Immunsystem beeinträchtigen muss. Das kann sowohl durch einen Mangel an Aminosäuren, zum Beispiel bei katabolen Prozessen durch den Abfall der Immunglobuline IgG und IgM nach anstrengenden Trainingseinheiten, wie es bei Läufern gefunden wurde verursacht sein, andererseits ist auch der belastungsbedingte Proteinstoffwechsel im arbeitenden Muskelgewebe dafür verantwortlich. Damit ein Substratmangel sowohl im muskulären als auch im immunologischen System für das angebotene Nahrungseiweiß verhindert werden kann, sollte grundsätzlich bei kontinuierlichen Belastungen auf die Zufuhr von ausreichend hochwertigem Eiweiß geachtet werden. Gegebenenfalls kann nach Wettkämpfen oder in Zeiten intensiver Trainingsphasen der Proteinbedarf der Muskulatur durch gezielt eingesetzte Aminodrinks gedeckt werden, um so einem Abbau von Struktur- und Funktionsproteinen vorzubeugen. Über die sinnvoll gestaltete Ernährung hinaus bestehen noch weitere Möglichkeiten, das Immunsystem zu stützen. In erster Linie kommen Formen der allgemeinen Stärkung der Infektabwehr infrage, die sich auf die Lebensweise beziehen und ausreichende Regenerationszeiten nach Belastungen, den entsprechenden Schlaf und psychische Entspannung beinhalten. Über den Einsatz von Immunstimulanzien wie zum Beispiel antioxidative Vitamine (zum Beispiel Vitamin C, Vitamin E), Coenzym Q10 oder pflanzliche Mittel, werden immer wieder diskutiert.

