

# Der Einfluß von Langzeit-Magnesium-Gaben auf verschiedene körperliche Leistungsparameter

Von R. Wodick und M. Grünert-Fuchs

Aus der Abteilung für angewandte Physiologie (Sportmedizin) der Universität Ulm\*

## Zusammenfassung

Es konnte mit Hilfe einer Doppelblindstudie bei 29 Sportlern gezeigt werden, daß durch eine vierwöchige Magnesiumapplikation in Form von täglich 7,2 g Magnesium - DL - Hydrogenaspartat  $\approx$  20 mmol in der ersten Woche und Halbierung der Dosis auf die Hälfte in der 2.-4. Woche eine statistisch signifikante Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit erreicht werden konnte. Diese statistisch signifikante Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurde anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme und PWC<sub>170</sub> bei der Laufband- und Fahrradergometrie gezeigt. Im randomisierten Vergleich stieg die PWC<sub>170</sub> in der Verum-Gruppe signifikant im Median um 9% an. Der aerob-anaerobe Übergang zeigte durch die Langzeitmagnesiumgabe keine statistisch signifikanten Veränderungen.

## Summary

It has been demonstrated by a double-blind study carried out on 29 athletes that a statistically significant amelioration of the physical capacity could be reached by a magnesium-application of a duration of 4 weeks in form of 7.2 g magnesium-d-hydrogenaspartate  $\approx$  20 mmol in the first week; the dosage was reduced to the half in the 2.-4. week. This amelioration was shown by registering the maximum oxygen consumption as well as the PWC<sub>170</sub> using both a running board and bicycle ergometry. The aerobic-anaerobic threshold showed no statistically significant change through the long term magnesium administration.

## Résumé

On a pu démontrer grâce à une étude double-blind chez 29 athlètes qu'une administration du magnésium avec une durée de 4 semaines (7,2 g magnésium-d-hydrogenaspartat  $\approx$  20 mmol dans la première semaine et la dosage demi dans les semaines 2.-4.) pourrait entraîner une amélioration de la performance physique statistiquement significative. Cette amélioration de la performance physique a été démontrée par l'enregistrement de la prise maximale d'oxygène et du PWC<sub>170</sub> à l'aide de l'ergométrie à bande-à-courir et à vélo. Le passage aérobie-anaérobie n'a montré aucun changement significatif suite à l'administration du magnésium à long terme.

## Einleitung

An der Bereitstellung, der für die Muskelarbeit erforderlichen chemischen Energieträger ist neben den Substraten Kohlenhydrate, Proteine und Fette eine Reihe von weiteren Substanzen beteiligt, die in die enzymatischen Umsetzungen dieser Substrate involviert sind; hierzu gehören u. a. Vitamine, Elektrolyte und Spurenelemente.

Dem Interesse der sportmedizinischen Ernährungslehre gilt daher die Frage, ob und wie die Versorgung des Organismus imstande ist, mit den obengenannten zusätzlichen erforderlichen Nahrungsbestandteilen die Leistungsfähigkeit zu verbessern. Daneben besteht das Problem der optimalen Zusammensetzung der energieliefernden Grundsubstanzen.

Von den Vitaminen ist bekannt, daß ein nutritiv bedingter Mangel außerordentlich leistungslimitierend wirken kann. Entsprechende Ergebnisse liegen bei Elektrolyten vor [2, 3], bei denen in der Sportmedizin neben der Einfuhr besonders auch die Ausfuhrseite (Verluste durch Schweiß!) berücksichtigt werden muß [1]. Die Erarbeitung bedarfsgerechter nutritiver Konzepte hat in der Sportmedizin hier zu erheblichen Leistungssteigerungen geführt, was in der Folge zu der Frage überleitete, ob es unter diesen Nahrungsbestandteilen — deren Mangel u. U. erheblich leistungslimitierend wirken kann — solche gibt, die bei erheblich gesteigerter Zufuhr zu einer Leistungssteigerung führen, ohne gesundheitsschädigend im Sinne von Doping-Mitteln zu wirken.

Ausgehend von der Tatsache, daß die Ernährungsgewohnhei-

ten (u. a. auch bedingt durch falsche Bodenbearbeitung) zu einem pandemischen Magnesiummangel geführt haben, hat sich unser Interesse auf die Frage gerichtet, inwieweit eine hochdosierte Zufuhr dieses nach dem Kalium am zweithöchsten intrazellulär konzentrierten Elektrolyten die sportliche Leistungsfähigkeit beeinflusst.

## Material und Methoden

Im Rahmen einer vierwöchigen Doppelblindstudie wurden 21 männliche und 8 weibliche Sportler zwischen 19 und 52 Jahren (Durchschnittsalter: 29 Jahre) untersucht. Das durchschnittliche Gewicht der Sportler betrug 70,7 kg, die durchschnittliche Körpergröße 175 cm. Während der Untersuchungsdauer absolvierten die Sportler ein Trainingsprogramm von 7-8 Stunden je Woche, wobei folgende Sportarten betrieben wurden: Laufen, Radfahren, Schwimmen, Fußball, Gymnastik, Volleyball, Ballett und Leichtathletik (Zehnkampf). Das Spektrum der in die Studie einbezogenen Probanden reichte vom Freizeitsportler bis zum intensiv trainierenden deutschen Meister.

In einer weder für den Probanden noch für den Untersucher zu unterscheidenden Zuteilungsweise nahmen 15 Probanden ein Placebo ein, 14 Probanden erhielten täglich in der ersten Woche 7,2 g Magnesium - DL - Hydrogenaspartat entsprechend 20 mmol Mg<sup>++</sup>. In der zweiten Woche erfolgte eine Reduzierung der Dosis auf 10 mmol Mg<sup>++</sup>/die. Die Verabreichung von Placebo und Verum erfolgte in Form von Kautabletten, denen zur Geschmacksverbesserung 0,17 g

\*) Dem Leiter der angewandte Physiologie Prof. Dr. Pauschinger zu seinem 60. Geburtstag gewidmet.

Sorbit zugesetzt war\*\*. Der so erzielte gute Geschmack erschien uns wichtig, da er erfahrungsgemäß eine verlässliche Probanden-Compliance gewährleistet.

Die Probanden wurden vor und nach der vierwöchigen Prüfungsdauer einer gründlichen sportmedizinischen Untersuchung unterzogen. Diese Untersuchungen fanden zwischen 9.00 und 11.00 Uhr vormittags statt. Neben einer eingehenden körperlichen wurde eine Laufband- oder fahrradergospirometrische Untersuchung durchgeführt. Die Zuteilung zur Laufband- oder Fahrradergometrie erfolgte unter Berücksichtigung der vorwiegend betriebenen Sportart. Bei der Laufbandspiroergometrie wurde eine feste Steigung von 1,5 % eingestellt und — beginnend bei 8 km pro Stunde — die Geschwindigkeit in 3minütigen Intervallen jeweils um 2 km pro Stunde erhöht. Zwischen den einzelnen Belastungsstufen erfolgte eine halbe Minute Pause, die dazu diente, das Elektrokardiogramm, abzuleiten, den Blutdruck zu messen und aus dem hyperämisierten Ohrläppchen Blut für die Laktatbestimmung abzunehmen.

Die Ausgangsbelastung bei der Fahrradspiroergometrie betrug 1 Watt je kp Körpergewicht und wurde im 3-Minuten-Intervall um 1 Watt je kp Körpergewicht gesteigert.

Sowohl Laufband- als auch Fahrradspiroergometrie wurden bis zur vollständigen Ausbelastung durchgeführt.

Im Rahmen der spiroergometrischen Untersuchungen wurden folgende Meßgrößen ermittelt:

1. Die puls working capacity ( $PWC_{170}$ ): Dies ist die auf das Körpergewicht bezogene Leistung, welche der Proband im steady state erbringt, bei einer

Herzfrequenz von 170/min.

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \times \frac{(170/\text{min} - P_1)}{(P_2 - P_1)}$$

$W_1$  = Leistung mit einer Herzfrequenz  $P_1$ , die unter 170/min liegt.

$W_2$  = Leistung mit einer Herzfrequenz  $P_2$ , die über 170/min liegt.

Normalwert für Erwachsene (nach Rost u. Mitarb.):

Männer 2,8 Watt/kp,

Frauen 2,3 Watt/kp.

Die  $PWC_{170}$  liegt in der Regel bei jüngeren Menschen im submaximalen Bereich und hängt damit im Gegensatz zur maximalen Leistungsfähigkeit nicht vom Willen des Sportlers ab.

2. Die maximale Sauerstoffaufnahme: Sie stellt einen Parameter für den Umfang dar, in dem der Organismus fähig ist, die für die Arbeit erforderliche chemische Energie durch aerobe Stoffwechselforgänge bereitzustellen. Durch aerobe Energiebereitstellung kann bekanntlich wesentlich mehr Energie freigesetzt werden als durch anaerobe, wobei enge Beziehungen zwischen der Arbeitsökonomie und den Eigenschaften der beteiligten Enzymsysteme bestehen.
3. Der aerob-anaerobe Übergang: Hierunter versteht man jene Herzfrequenz, die bei den Probanden zu dem Zeitpunkt gemessen wird, an dem der Lactatspiegel einen Wert von 4 mmol/l erreicht hat. Es handelt sich also um einen Schwellenparameter für das Beschreiten anaerober Stoffwechselwege.

Sowohl bei der Vor- als auch bei der Schlußuntersuchung wurde den Probanden jeweils Blut für die Bestimmung der Serum-Magnesium-Konzentration entnommen, wobei an den Untersuchungstagen die Medikation unterblieb. Die Bestimmung des Magnesiums erfolgte sowohl

photometrisch als auch mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie.

Die statistische Evaluierung des Gruppenvergleiches wurde je nach Fragestellung mit dem Wilcoxon-Test (siehe dazu Milton 1964 und Sachs 1968) für gepaarte und ungepaarte Werte auf einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $p \leq 0,01$  durchgeführt.

### Ergebnisse

Die Probanden-Aufschlüsselung von Plazebo- und Verumgruppe ergab bei den biometrischen Größen folgende Werte:

Plazebo-Gruppe:

Durchschnittsalter 29 Jahre

Durchschnittsgewicht 64,7 kg

Durchschnittsgröße 171 cm,

Verum-Gruppe:

Durchschnittsalter 28 Jahre

Durchschnittsgewicht 73 kg

Durchschnittsgröße 179 cm.

Signifikante Gewichtsveränderungen über die Prüfdauer blieben gleichfalls aus: Das durchschnittliche Ausgangs- und Endgewicht war in der Plazebo-Gruppe gleich, in der Verum-Gruppe zeigte sich eine durchschnittliche Gewichtsabnahme um 200 g.

### Magnesiumkonzentration im Serum (Abb. 1)

Aus Abb. 1a geht hervor, daß in der Verum-Gruppe bei Probanden ein Anstieg des Serum-Magnesiums zu beobachten war, bei 3 Probanden blieb der Serum-Magnesiumspiegel unverändert, nur bei einem war ein Absinken zu beobachten. Demgegenüber fanden wir in der Plazebo-Gruppe bei 10 Probanden ein Absinken, während der Rest gleichblieb oder allenfalls nur ein leichter Anstieg zu konstatieren war.

### Maximale Sauerstoffaufnahme (Abb. 2 und 3)

Die Abb. 2a zeigt, daß bei allen Probanden der Verum-Gruppe am Ende der Versuchsdauer eine gegenüber ihrem Anfang erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme

\*\* Das Verum entspricht somit 4 bzw. 2 Kautabletten Mg 5-Longoral®: Wir danken der Firma Artesan — Lüchow für die Bereitstellung und prüfungsgerechte Konfektionierung von Verum und Plazebo.

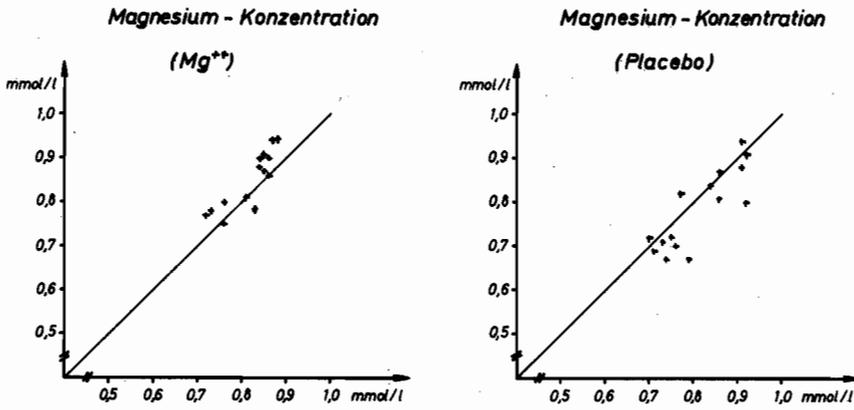


Abb. 1: Die Magnesiumkonzentrationen im Serum der Probanden aus der Verum-Gruppe (n = 14), Abb. 1 a, und der Placebo-Gruppe (n = 15), Abb. 1 b, vor und nach der vierwöchigen Prüfungsperiode. Die Meßpunkte reflektieren das Verhältnis der Werte zu Prüfungsbeginn (Abszisse) zu jenen bei Prüfungsende (Ordinate). Haben sich während der Prüfungsperiode keine Veränderungen ergeben, so liegt der Meßpunkt auf der eingezeichneten Winkelhalbierenden. Ist es zu einem Absinken des Wertes gekommen, so liegt der Meßpunkt unter der Winkelhalbierenden, bei einem Ansteigen über der Winkelhalbierenden.

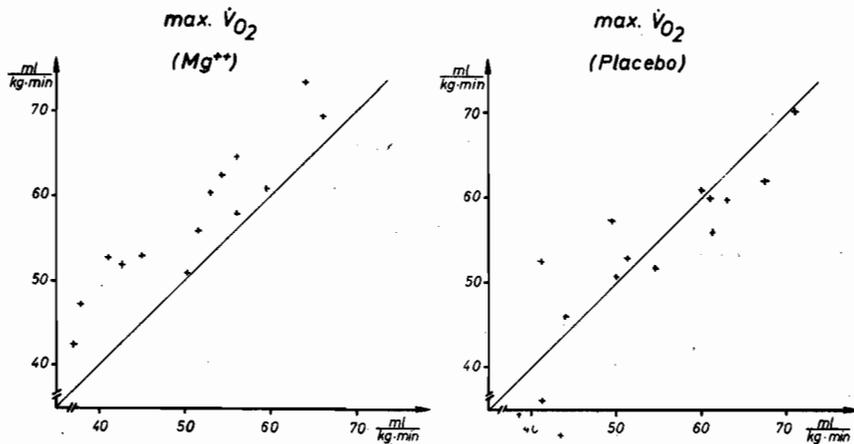


Abb. 2: Maximale Sauerstoffaufnahme  $\dot{V}O_2$ , bezogen auf das Körpergewicht der Probanden in der Verum-Gruppe, Abb. 2 a, und in der Placebo-Gruppe, Abb. 2 b, vor und nach der vierwöchigen Prüfungsperiode. Abszisse maximale  $\dot{V}O_2$  vor Prüfungsbeginn, Ordinate maximale  $\dot{V}O_2$  bei Prüfungsende (Darstellungen in Analogie zu Abb. 1).

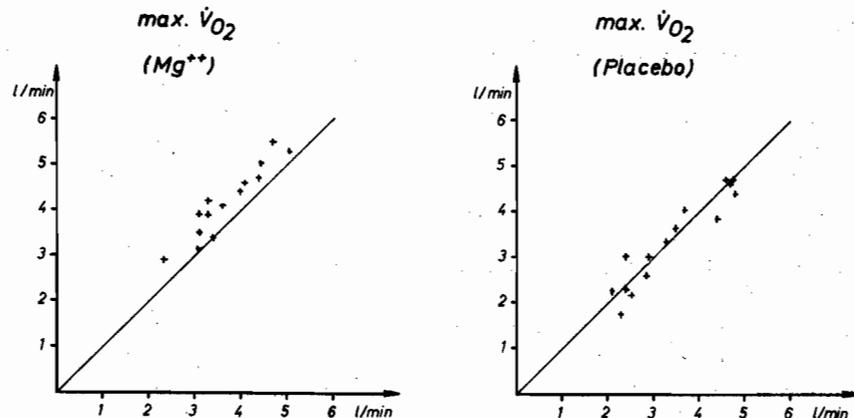


Abb. 3: Die maximale Sauerstoffaufnahme  $\dot{V}O_2$  der Probanden aus der Verum-Gruppe, Abb. 3 a, und der Placebo-Gruppe, Abb. 3 b, vor und nach der vierwöchigen Prüfungsperiode. Abszisse maximale  $\dot{V}O_2$  bei Prüfungsbeginn, Ordinate maximale  $\dot{V}O_2$  bei Prüfungsende (Darstellung in Analogie zu Abb. 1).

zu beobachten war. In der Verum-Gruppe steigt im Mittel die Sauerstoffaufnahme von 3,50 l/min (Minimum 2,34; Maximum 5,03) auf 4,15 l/min (Minimum 2,90; Maximum 5,52) nach der 4wöchigen Magnesiumapplikation. Diese Steigerung ist statistisch signifikant. Demgegenüber ließ sich in der Placebo-Gruppe kein statistisch abzusichernder Unterschied in der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen der Untersuchung vor und nach der 4wöchigen Prüfungsdauer nachweisen.

Wegen der eingangs des Ergebnisteils beschriebenen hohen Konstanz der Körpergewichte über die Untersuchungsdauer finden sich analoge Verhältnisse, wenn auf die Beziehung der maximalen Sauerstoffaufnahme zum Körpergewicht verzichtet wird und die Absolutwerte für die maximale Sauerstoffaufnahme verwendet werden (Abb. 3a, 3b).

#### $PWC_{170}$ (Abb. 4)

Auch bei dieser, subjektiven Beeinflussungen durch den Sportler nicht unterworfenen Größe finden sich analoge Verhältnisse zur maximalen Sauerstoffaufnahme. In der Verum-Gruppe steigt die Meßgröße von 3,30 W/kg (Minimum 1,90 — Maximum 4,40) um 9 % auf 3,36 W/kg (Minimum 2,30 — Maximum 4,80) signifikant an. In der Placebo-Gruppe ließ sich ein Unterschied vor und nach der Placebogabe nicht statistisch absichern.

#### Der aerob-anaerobe Übergang (Abb. 5)

Hier konnten weder in der Placebo- noch in der Verum-Gruppe statistische Unterschiede zwischen dem Ausgangs- und dem Endwert gefunden werden.

#### Blutdruckverhalten

Sowohl der Ruhe-Blutdruck als auch der Blutdruck bei Belastung zeigten eine leicht fallende Tendenz in der Verum-Gruppe. Diese Veränderungen waren aller-

dings nicht statistisch signifikant. Erwähnenswert erscheint in diesem Zusammenhang jedoch, daß 2 Probanden der Studie, die einen erhöhten Ruhe- und einen erhöhten Belastungsblutdruck aufweisen, nach der 4wöchigen Magnesiumaufnahme einen normalen Ruhe- und Belastungsblutdruck zeigten. So fiel der Ruheblutdruck bei einem Sportler z. B. von 160/110 mmHg auf 130/85 mmHg und der Blutdruck bei maximaler Belastung von 255/110 mmHg auf 205/45 mmHg.

**Diskussion**

Die statistisch gesicherte Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme nach 4wöchiger Magnesiumsubstitutionsbehandlung zeigt, daß es zu einer Steigerung der aeroben Leistungsfähigkeit in der substituierten Probanden-Gruppe gekommen ist. Die Ergebnisse des aerob-anaeroben Überganges zeigen, daß die Herzfrequenzen, bei denen im vergleichbaren Umfang anaerobe Stoffwechselwege beschritten werden in der Plazebo-Gruppe und Verum-Gruppe etwa gleich waren. Andererseits weisen die Ergebnisse der PWC<sub>170</sub> aus, daß bei gleicher Herzfrequenz die Verum-Gruppe eine signifikante höhere Leistung erbringen konnte. Mithin war die substituierte Gruppe imstande, bis zum Erreichen vergleichbarer Herzfrequenzen bzw. vergleichbarer anaerober Energiebereitstellungsanteile höhere Leistungen zu erbringen, als die Plazebo-Gruppe. Die Validität unserer Erkenntnisse, daß die aerobe Leistungsfähigkeit der substituierten Probanden auf der Basis einer erhöhten Sauerstoffaufnahme signifikant gegenüber der Plazebo-Gruppe erhöht war, konnte dadurch erhärtet werden, daß die von uns gewonnenen Daten für die Verum-Gruppe anhand der vielfach bestätigten Beziehung von Wassermann und Whipp (1975) überprüft wurde.

$VO_2 \text{ (ml)} = 5,8 M \text{ (kg)} + 151 + 10,5 L \text{ (W)}$   
 $VO_2 = \text{Sauerstoffverbrauch}$   
 $M = \text{Körpermasse des Probanden}$

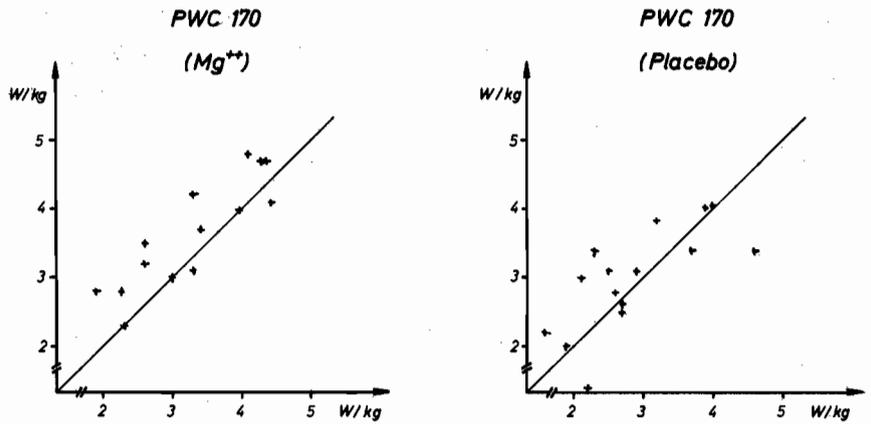


Abb. 4: Die PWC der Probanden aus der Verum-Gruppe, Abb. 4 a, und der Plazebo-Gruppe, Abb. 4 b, vor und nach der vierwöchigen Prüfungsdauer. Abszisse PWC<sub>170</sub> zu Beginn der Prüfung, Ordinate PWC<sub>170</sub> bei Prüfungsende (Darstellung in Analogie zu Abb. 1).

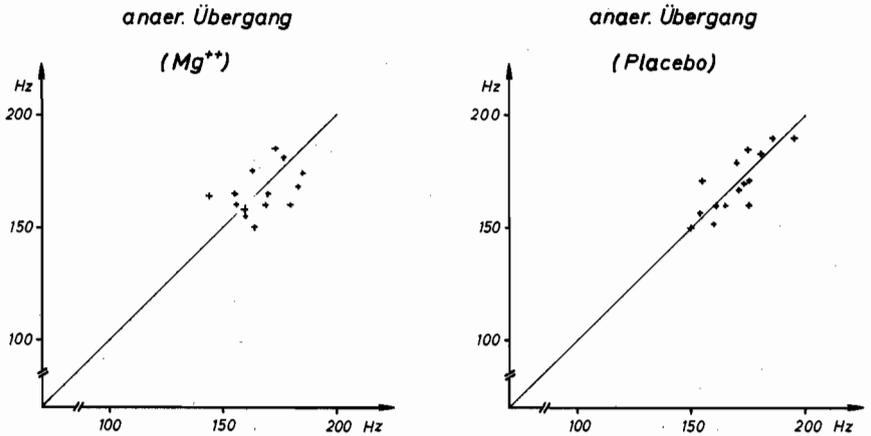


Abb. 5: Der aerob-anaerobe Übergang der Probanden aus der Verum-Gruppe, Abb. 5a, und der Plazebo-Gruppe, Abb. 5b, vor und nach der vierwöchigen Prüfungsdauer. Abszisse: Herzfrequenz beim aerob-anaeroben Übergang bei Prüfungsbeginn, Ordinate entsprechende Werte bei Prüfungsende (Darstellung in Analogie zu Abb. 1).

den L = aerobe Dauerleistungsfähigkeit  
 Damit können nicht nur nennenswerte Eich- oder Meßfehler ausgeschlossen werden, sondern es kann auch gezeigt werden, daß die hochdosierte Magnesiumsubstitution nicht zu einer Entkopplung der Leistungsfähigkeit von der Sauerstoffaufnahme führt.  
 Die aerobe Leistungsfähigkeit der magnesiumsubstituierten Probanden hat daher in statistisch abzusichernder Weise sowohl gegenüber der Plazebo-Gruppe als auch gegenüber dem Ausgangszustand zugenommen.  
 Es bestehen enge Beziehungen

zwischen Sauerstoffaufnahme, aerobe Energiebereitstellung der daran beteiligten enzymatischen Systeme sowie schließlich der Umsetzung der bereitgestellten chemischen in mechanische Energie. Die Tatsache, daß Magnesium an mehr als 3000 enzymatischen Reaktionen beteiligt ist, erklärt seine herausragende Bedeutung für die hier in Rede stehenden Wirkungskaskaden. Von Bedeutung ist ferner die Tatsache, daß Magnesiumdefizite zu einer gesteigerten neuromuskulären Erregbarkeit führen (vgl. Weidinger [1982]), welche sich in für den Sportler unökonomischen muskulären Aktivierungen niederschlagen könnte. Wir

erklären uns die auffallende Leistungsverbesserung in der mit Magnesium substituierten Gruppe dadurch, daß die hochdosierte Substitution mit dem außerordentlich gut zellgängigen Magnesium in Aspartatform zunächst dazu beigetragen hat, einen pademisch auftretenden, latenten Magnesiummangel zu bilanzieren. Das Vorhandensein eines solchen Magnesiummangels ist nicht durch einen im Normbereich befindlichen Serummagnesiumspiegel auszuschließen, da nur 1% des Körpermagnesiums im Serum gefunden werden und sehr wohl Magnesiummangelzustände vorhanden sein können, ohne daß dies in der Serummagnesiumkonzentration widerspiegeln würde. Darüber hinaus kommt es bei entsprechender Belastung zu trainingsbedingten Magnesiumverlusten, insbesondere durch den Schweiß. Was bisher ganz allgemein gezeigt werden konnte, nämlich daß zur Auffüllung entleerter Magnesiumspeicher sowie zur Bereitstellung optimaler zellulärer Magnesiumkonzentrationen für enzymatische Umsetzungsoptima hohe Substitutionsdosen in der Größenordnung von 29 mmol je Tag erforderlich sind, gilt aus den genannten Gründen ganz besonders für Sportler. Eine das unzureichende Nahrungsangebot ergänzende, die erhöhten Verluste ersetzende und das zelluläre Magnesiumkonzentrationsoptimum sicherstellende hochdosierte Substitution mit Magnesiumaspartat scheint deshalb zur Sicherstellung eines optimalen physiologischen Leistungsvermögens unverzichtbar. Dabei ist sichergestellt, daß es sich um eine langfristige, nicht im Sinne eines kurzfristigen Aufputzmittels wirkende Maßnahme handelt.

#### Literatur beim Verfasser

Für die Autoren: Prof. Dr. Dr. R. E. Wodick, Abteilung für angewandte Physiologie, Universität Ulm, Oberer Eselsberg, 7900 Ulm

**Zusammensetzung:** 1 Kautablette enthält: Magnesium-DL-hydrogenaspartat  $4 \text{ H}_2\text{O}$  1803 mg (entsprechend 5 mmol = 10 mval = 121,5 mg Magnesium). **Anwendungsgebiete:** Nachgewiesener Magnesiummangel. **Gegenanzeigen:** Bei schweren Nierenfunktionsstörungen und bei Zusammenbruch des Reizleitungssystems im Herzen (AV-Block). **Nebenwirkungen:** Bei hoher Dosierung kann es zu weichen Stühlen kommen. **Dosierungsanleitung:** Die Dosierung von Mg 5-LONGORAL® ist abhängig vom Grad des Magnesiummangels. **Darreichungsform und Packungsgrößen:** N 1 – OP 20 Kautabletten ApVk DM 12,96; N 2 – OP 50 Kautabletten ApVk DM 24,97; N 3 – 100 Kautabletten ApVk DM 40,30; AP 500 Kautabletten ApVk DM 157,68. Apothekenpflichtig!

**Mg 5-Sulfat Amp. Magnesiumsulfat 10%** zur i.m. u. langsamen i.v. Injektion. **Zusammensetzung:** 1 Ampulle mit 10 ml Injektionslösung enthält: 1 g Magnesiumsulfat  $7 \text{ H}_2\text{O}$  entsprechend 4,05 mmol oder 8,11 mval Magnesium. **Anwendungsgebiete:** Magnesiummangel. **Gegenanzeigen:** Magnesiumsulfat sollte bei Patienten mit AV-Block oder sonstigen kardialen Überleitungsstörungen nicht gegeben werden. **Nebenwirkungen:** Intoxikationserscheinungen treten bei Überdosierung auf. **Dosierungsanleitung:** Die Dosierung von Magnesiumsulfat richtet sich nach dem Serum-Magnesiumspiegel. **Packungsgröße und Darreichungsform:** 5 Ampullen zu 10 ml ApVk DM 10,93, 50 Ampullen zu 10 ml ApVk 71,38. Apothekenpflichtig. Zur ausführlichen Information stehen Ihnen für beide Präparate der Beipackzettel, die wissenschaftliche Basisbroschüre und Literatur zur Verfügung.

ARTESAN GmbH · Wendlandstraße 1 · D-3130 Lüchow  
In der Schweiz: KOGREERE AG, CH-8022 Zürich

MG 01/84