

## マグネシウム:エネルギーへミネラルの結びつき

1997/01 Vol.16, No.1

マグネシウムはエネルギー代謝において多くの役割を担っている。マグネシウムがどれほど重要かを理解するためには、この必須ミネラルが特に影響を与える部分を強調した、身体のエネルギーシステムの縮小された全体像が必要だ。どの自然な身体活動も体のエネルギーへの要求を増加させ、特に最大の要求は骨格筋、心筋、平滑筋から来る。筋収縮のための全てのエネルギーは ATP の加水分解から派生する。代謝率は有酸素活動中に20倍も高くなり、集中有酸素活動中では50倍も高くなる。マグネシウムは ATP の生産と加水分解の代謝サイクルと深く関わっている。

身体活動と運動に必要とされる ATP を供給する、3つの重複し相互関係のある支援エネルギーシステムがある:(1)直接の、(2)非酸化作用の(解糖作用の)、(3)酸化作用のシステムだ。運動の種類によってどのエネルギーシステムが最も有効であるか、表1に示されるように決定される。

瞬発的で、集中度の高い運動は有酸素性のもので、それらは上記の1番目に挙げられているエネルギーシステム「直接エネルギーシステム」に頼っている。それは以下を含む:

[1] 筋細胞の細胞質内に存在する ATP

[2] ADP+無機リン酸塩(ミオキナーゼ反応)からの ATP

[3] リン酸化クレアチンからの ATP (CPK 反応) 筋肉に存在する ATP は、わずか一秒以下の筋収縮しか支えられないため、直接エネルギーシステムの2番目と3番目に挙げられているものが、ほとんどの「瞬発的で高度の集中度を要する運動」に必要な ATP を作り出す。

ADP からの ATP の形成と直接エネルギーシステム内の無機リン酸塩は、酵素とミオキナーゼを必要とする。また、この酵素はその活動のためにマグネシウムを必要とする。直接エネルギーシステムの第3の構成要素はリン酸化クレアチンと関わり合っている。リン酸化クレアチンは、クレアチン\*ホスホトランスフェラーゼ (CPK) を介してそのリン酸塩を ATP から ADP へ与える高エネルギーリン酸要素である。(以下参照)

\*リン酸化酵素の総称

クレアチン・ホスホトランスフェラーゼ (CPK) は直接エネルギーシステム内の ATP の重要な供給の形成のために鍵となる酵素である。CPK はマグネシウムと水素イオ

ンにより規制されている。完全な酵素／基質／マグネシウムの複合体が反応進行のために必要となる。

先に挙げた2番目のエネルギーシステム、非酸化作用(解糖作用)エネルギーシステムは変異嫌気性生物の運動(好気性と嫌気性間の交配種)のために ATP の主要な源となる。このシステム内で、炭水化物は解糖作用反応のために燃料として働く。この反応はグルコース(ブドウ糖  $C_6H_{10}O_6$ )をピルビン酸塩に変換し、結果として ATP を生産する。

表 2 に表されるように、マグネシウムはエノラーゼが 2-ホスホグリセリン酸塩をホスホエノールピルビン酸塩(これは高エネルギーリン酸塩結合を含有する)に変換させるのを可能にする唯一の金属である。これがピルビン酸塩形成前の最後のステップである。加えて、マグネシウムは、ATP を生産する、ホスホフェノールピルビン酸塩からピルビン酸塩へのピルビン酸キナーゼ変換におき重要な要因となる。

有酸素運動はエネルギー源として酸化エネルギーシステムに主に頼っている。このエネルギーシステムからの ATP はミトコンドリア電子鎖とクエン酸回路から来ているものである。アセチルコエンザイム A(アセチル  $CoA$ )がクエン酸回路のための主要な燃料である。解糖作用の間、ブドウ糖(グルコース)はピルビン酸塩に変換される。酸素が存在すれば、ピルビン酸塩はさらにアセチル  $CoA$  に変換される。アセチル  $CoA$  の形成は、サイトソル(細胞質ソル)内の無酸素解糖作用をミトコンドリア内の有酸素代謝に結びつけるのだ。

クエン酸回路(クレブス回路)はミトコンドリア基質内で起こり、燃料分子酸化のための最終的共通路となる。クエン酸回路内で、アセチル  $CoA$  は完全に二酸化炭素を形成するために酸化される。クエン酸回路の最初の4反応は、その活動にマグネシウムが必要とされるイソクエン酸デヒドラターゼ(脱水酵素)により触媒され、またこの回路の全体比率に対して酵素的鍵となる。ミトコンドリア電子移動鎖内で、内部ミトコンドリア細胞質を通る陽子の移動が陽子勾配を作り出す。この陽子勾配により発生したエネルギーは ATP 総合体を活動させるのに十分なものとなる。電子移動鎖から総合 ATP へのエネルギーを利用する酵素複合体 ATP アーゼは、機能するためにマグネシウムを必要とする。

筋収縮のための全エネルギーは ATP の加水分解より来る。酵素 ATP アーゼが ATP の加水分解を活動させ、ATP アーゼ反応として知られるものは全て、ATP の高エネルギーリン酸塩結合を分解するためにマグネシウムを必要とする。また骨格筋においては、ミオシン ATP アーゼが ATP を加水分解できるために、マグネシウムは ATP に付着しなければならない。そのため、適量のマグネシウムが骨格筋収縮のために存在する必要がある。

**表 1**

ATP 身体運動表

エネルギーシステム	運動のタイプ	代表的運動
直接	嫌気性	スプリント 重量挙げ
非酸化作用 (解糖作用)	ほとんどの 運動	
酸化作用	変異嫌気 性	テニス、バレー(ダンス) サーキットトレーニング
	ほとんどの 運動	
	好気性	ジョギング、サイクリング、 ハイキング、階段昇降

ほとんどの運動は間隔をおく性質を持ち、直接エネルギーシステムと非酸化作用エネルギーシステムに大きく頼っている。しかしながら、短時間運動においてさえも、いくらかの酸化作用エネルギーは関連している。

**表 2**

ATP の生産

マグネシウムとマグネシウムキレートは、ATP の糖分解生産において以下の酵素の鍵となる構成物である。

- ・グルコキナーゼ(ヘキソキナーゼ)
- ・ホスホグリコース イソメラーゼ
- ・アルドラーゼ
- ・グルコース-6-リン酸塩
- ・ホスホフラクトキナーゼ
- ・ホスホトリオーゼ イソメラーゼ

- ・ホスホグリセリン酸キナーゼ
- ・ホスホグリセロミューターゼ
- ・エノラーゼ

表3は身体運動に燃料を与えるために使われるエネルギーシステムを示している。マグネシウムは、どのシステムにおいても多くの構成物質の中で鍵となっていることが触れられてきている。マグネシウムは、スポーツ、エネルギー、フィットネスに目的を置くどんな栄養処方計画においても主要な構成成分となるものなのだ。\*

\* 文献:

1. Champe P, and Harvey R, Lippincott's Illustrated Reviews, Biochemistry 2nd Edition, 1994:61-126. (チャンプ・P /ハービー・R 著「リピンコットの図解概説、生化学第2版」)

2. Brilla L, Lombardi VP, "Magnesium and Sport Performance," Sports Nutrition Minerals and Electrolytes (Kies and Driskell Editors), CRC Press Boca Raton, 1995:139-177. (ブリラ・L /ロンバーディ・V P 著「マグネシウムとスポーツ効率」スポーツ栄養・ミネラルと電解質(キース、ドリスケル共編)CRC 出版ボカレイトン)

3. Garfinkel L, Garfinkel D, "Magnesium Regulation of the Glycolytic Pathway and the Enzymes Involved," Magnesium 4(2-3):1985:60-72. (ガーファンケル・L /ガーファンケル・D 著「解糖作用経路と関係酵素のマグネシウム規制」マグネシウム 4(2-3))

**表 3**

マグネシウム:これらのエネルギー生産システムにおける全構成物における主要成分

## 直接エネルギーシステム

- ・s c l e 筋形質  
(筋細胞の細胞質内に存在)
- ・ミオキナーゼ反応
- ・C P K 反応

## 酸化作用エネルギーシステム

- ・ミトコンドリア電子鎖
- ・クエン酸(クレブス)回路

## 非酸化作用エネルギーシステム(解糖作用)

- ・糖分解

### エネルギー考慮

前述の研究は身体の主要エネルギー形態 A T P へ対するマグネシウムの重要性が疑いのないものであることを証明している。マグネシウムにより影響を受ける生化学経路とエネルギーシステムは両方とも膨大な量で驚くべきほどである。多大な量の研究が、マグネシウムが身体エネルギーに好影響を及ぼすいろいろな形を証明している。身体のエネルギーシステムに関係する要因は他にもいろいろある。燃料となる炭水化物、ある種のアミノ酸、また脂質は必須のものであるし、他のミネラルやビタミン類、また他の付属栄養素も同様だ。しかしながら、エネルギー形成におけるマグネシウムは食餌において欠乏しがちな1要因であるために、エネルギー生産におき制限可能要因として働くようだ。これまでの研究はアルビオンの特許アミノ酸キレートマグネシウムがエネルギー生産を増大するために効果的な方法である事を示している。アスパラギン酸塩とグリシン酸塩のどちらのアルビオンキレートマグネシウムがこの中でより効果的であるか、というような疑問が在るかもしれない。直接的比較は行われていない。最も重要なことは身体のマグネシウム含有を増加させることであり、アミノ酸リガンドは関係しないと考える研究者が多いようである。アスパラギン酸塩のみの口による内服は、エネルギー生産に何の利益も持たないことが示されていることに気をつけたい。(モーガン/サドラー:国際Jスポーツ医学4、119、1183)アルビオンによるキレートのグリシン酸マグネシウムとアスパラギン酸マグネシウム両方とも著しく身体のマグネシウム含有量を増加させるため、理論的には最も身体含有量を増やす方が、おそらくエネルギー生産において最大の影響を持つことになるだろう。

あなたのミネラルがアルビオンキレートでないなら、それはただの塩にすぎない!

### アルビオンのアミノ酸キレートマグネシウムと関わる運動効果の向上

エネルギー生産におけるマグネシウムの重要性には疑問の余地が無い。マグネシウムは身体のエネルギー生産において全面的に関連してきた。炭水化物、脂肪、またはタンパク質は、筋収縮エネルギー—ATP—をマグネシウムの存在無しに生産することが出来ない。アルビオンの特許アミノ酸キレートマグネシウムは、長年にわたる多数の研究において、その多様な生理学的利点を評価されてきた。このアミノ酸キレートマグネシウムは、他のマグネシウム塩類に比べ、189%から543%優れた吸収力を持つことが示されている。この優れた吸収力にもかかわらず、アルビオンマグネシウムキレートは、他のマグネシウム形体よりも許容しやすく、また血小板機能と主だった月経困難症に良い効果があることも示されている。エネルギーに関する限り最も重要なことに、アルビオンの特許アミノ酸キレートマグネシウムは体組織のマグネシウムレベルを増加させるのである。アルビオンのアミノ酸キレートマグネシウムは、これから述べる5つの研究内に説明されるように、エネルギーや身体活動により影響をもたらすことが証明されている。

- (1) 無数の研究が、酵素の供給能力と筋肉内の基質代謝の容量は、人と動物の有酸素持続運動間における速度制限要因になりうることを示唆している。さらに、運動している筋肉に関係するこれらの要因が存在する化学物形体は、理想的な筋肉組織による物質摂取や持続能力の決定にも重要となる。ネズミにおける耐久時間でキレートミネラルがどのような効果を発揮するかを知るために、大人のまだ交尾をしたことのない同種のLA/Nメスネズミ(年齢6ヶ月)のグループにアスパラギン酸マグネシウム(Mg-ASPch)、またはアスパラギン酸カリウム(K-ASPch\*)、もしくはこの2つに相応する混合物塩のキレート状形体を0, 6.25, 12.5, または100mg/kg BW というように投与量を増加させながら3日間にわたり管を通して投与し、続いて最後の管を通しての栄養補給が終わってからきっかり2時間後に消耗するまで泳がせた(30度C; 深度12インチ)。ミネラル投与に先立って、ブリキ管内の一般的条件下における全ての混合物の安定性が、pHs 2-8に対する30分以下の露出、続いてその混合物のシリカゲル・クロマトグラフィーを通して実証された。アルビオンミネラルの安定性はこれらの条件下で95%以上であることが確認された。(エリスによると、塩形状のものはほとんど完全に分離されてしまった。)ネズミは結果における訓練効果の可能性を最小限にとどめるため、1週間に1度だけしか泳げないように制限された。Mg-ASPch と Mg-ASPs は、水泳耐久時間の増加において著しい投薬に関連する増加(2倍以下の増加)に結びつき、一方K-ASPch と K-ASPs は単に緩やかな増加と関

連したのみであった(水泳耐久時間 Mg-ASPch>Mg-ASPs>K-ASPch>K-ASPs)。これらの結果は、事前のキレート化ミネラルの投与が耐久運動を向上させる可能性があること、それゆえに耐久運動のための人間工学的補助として有益となる可能性があることを示している。( \* 注意: 著者はアルビオンの生産するアスパラギン酸カリウムをキレートとして紹介しているが、カリウムはキレート化することができないものである。アルビオンのカリウムは複合体のみである。)

- (2) デレクセル大学で続いて行われ、出版のために提出された研究では、アルビオンの特許プロセスによってマグネシウムがアスパラギン酸にキレート化される際に、この特許キレートは、普通にマーケットで販売されているアスパラギン酸マグネシウム塩で得られたものより151%も肉体耐久力を増加させた。
- (3) ハービー・アシュメッドにより行われた、より初期の未出版研究では、エネルギー(仕事や運動を行う能力)増加におけるアルビオンのキレート化マグネシウムの効果が、エリスの研究と似た研究の中で示されている。アシュメッドの研究では、3つのグループのネズミを使った。1つ目のグループは偽サプリメントを与えられ、2つ目のグループは無機質マグネシウムのサプリメントを与えられ、3つ目のグループはアルビオンのアミノ酸キレートマグネシウムを与えられた。このマグネシウムによる栄養補給は1週間続けられ、最終日には、このネズミたちは体力を消耗しきるまで泳がされた。偽サプリメントグループは10.1分持続し、無機質マグネシウムグループは13.8分持続し、一方アルビオンのキレートマグネシウムグループは、48.3分泳いだのである。これらのデータはアルビオンのキレートマグネシウムがこのネズミたちのエネルギーを増加させるのに、3.4から4.3倍も有効であることを示している。
- (4) 「モトクロス・レースは全てのスポーツ競技の中で最も肉体的に要求されるものの一つである。常に激しい振動を手を受けながら、様々な地形をコントロールするハンドルを固く握り締める必要性は、アーム・パンプとして知られる状態を生み出す。アーム・パンプの症状は、痛み、知覚異常、知覚喪失などに特徴づけられる。この研究の目的は、アーム・パンプにおける「エンデュラ」の効果を向上させるためのものである。エンデュラの主要な成分はアルビオンによるグリシンマグネシウムキレートだ。モトクロス競技者が2つのグループに分けられ、エン

デュラと偽サプリメントを与えられた。1回目のレースで、全ての競技者が2レースし、アーム・パンプが起こったかどうか報告した。翌週の間、競技者はエンデュラもしくは偽サプリメントどちらかを摂った。一週間後に行われた2回目のレースで、この競技者たちはまた2レースを行い、更にエンデュラもしくは偽サプリメントをレース間に摂った。後、再度アーム・パンプが起こったかどうかとその時間が報告された。エンデュラ(グリシンマグネシウムキレート)を摂ったグループは63%アーム・パンプが減少し、50%のエンデュラグループは全く症状が出なかった。研究者らは、グリシンマグネシウムがどのようにアーム・パンプを避けるために働くのか、いくつかのメカニズムについて述べているが、彼らも正確なメカニズムを明らかにするためには更なる研究が必要だと感じている。」

- (5) 1996年に800メートル自由形でオリンピック・ゴールドメダリストとなったブルック・ベネットの成功の一部はアルビオンのアミノ酸キレートマグネシウムだと言われている。

## 終わりに

人間と異なることを達成させる今日の努力において、肉体の機能を向上させるための自然な方法として、たくさんの成分が奨励されている。ハーブ製品がこの分野でしばしば大々的に推薦されている。ハーブは自然の製品ではあるが、その効能は多くの場合、(病気を治す)薬としての性質を持つものである。ある状況下ではこれでもいい。しかしながら、肉体機能を最大限化させるためなら、身体の正常な生化学の範囲内で働く成分を使うほうがよりいいのではないだろうか。アルビオンのアミノ酸キレートマグネシウムは、体のマグネシウム水準を増加させ、その結果、エネルギーと筋肉機能について考慮する、多くの分野にとってのマグネシウム効果を向上させることが示されてきた。アルビオンのキレートマグネシウムによるエネルギーと筋肉機能への効能は科学的に記録されている。次にあなたが肉体機能を向上させるためにサプリメントを摂ろうか考える際に、効能が証明されているアルビオンのアミノ酸キレートマグネシウムが重要な候補になるのではないだろうか？