

乳酸菌製剤 (OM-X) が生体に与える影響

— 乳酸菌製剤 (OM-X) 摂取が運動選手の最大酸素摂取量に及ぼす影響 —

川上 雅之・大平猪一郎*・荒木 直彦・猪木原孝二・松原 孝

岩崎 英人**

倉敷芸術科学大学教養学部

*生命科学研究所

**山陽学園大学国際文化学部

(1997年9月30日 受理)

1. 序 論

今日スポーツ選手に多々みられるスポーツ性貧血 (kinetic anemia) は, スポーツ選手に多くの健康上の問題³⁾²²⁾²⁹⁾を投げかけている。スポーツ性貧血の原因は, 化学的及び物理的要因等種々の原因があげられているが, その多くは鉄分の不足からくる鉄欠乏性の貧血 (iron deficiency anemia) といわれる¹³⁾²²⁾²⁹⁾。スポーツ選手の多くは, 競技能力を向上させるために自らの身体をハードトレーニングに追い込む, その結果多くの生理的な身体的変化を伴う¹⁰⁾¹³⁾¹⁵⁾²²⁾²⁹⁾。ハードトレーニングを遂行するためには, ハードトレーニングに耐え得る身体を養成する必要がある。また激しい運動は, 生体内に蛋白質 (protein) を不足させると同時に生体内での蛋白合成及び血液生成にも影響を及ぼす。したがってスポーツ選手は, 運動時のエネルギー源である栄養素についても食生活の中で考慮しなければならない⁸⁾¹⁰⁾¹³⁾²¹⁾²²⁾²⁷⁾³⁰⁾³¹⁾。本来トレーニングは, 選手個々の身体的特性を勘案したトレーニングの内容と効率的な身体機能の向上を考慮したものでなければならない。陸上競技の長距離トレーニングは, 基本的には持久的トレーニング, インターバル及びレパテショントレーニング (interval & repition training), ビルドアップトレーニング (build-up training) 等に分けることができるが, いずれにおいてもトレーニングを繰り返すことによって酸素の摂取量 (以下 $\dot{V}O_2$ と称す) を増加させ, 筋収縮時の二酸化炭素耐性を高めるためのものである^{4)~16)23)25)26)33)34)}。しかし, トレーニングも組み合わせによっては, 選手にオーバーロードとなり身体に大きな負担となる場合がある。そこで選手は, トレーニングを効率的に遂行するための方法として, 体重を調整し体脂肪率 (percent body fat: 以下 %Fat と称す) を下げることで下肢に体重負担がかからないような, ボティコンディショニング (body conditioning) を行なうのである^{8)18)~20)}。ボティコンディショニングとは, 日常生活の食事を改善すること及び調整することによってスポーツに適した身体を作ることである。これは, スポーツ選手の食生活が低脂肪食を中心にした低熱量食に偏る原因となるものである⁸⁾¹⁰⁾¹³⁾¹⁵⁾²²⁾²⁴⁾²⁷⁾²⁹⁾。スポーツ選手の低熱量食は, 運動時のエネルギー源を減少させるのみなら

ず、基本的な生命代謝である生体内の蛋白合成を遅延させて組織細胞の新陳代謝にも影響を及ぼし、生命維持の根幹である身体構成にも各種の影響を与えている⁸⁾¹⁰⁾¹³⁾²²⁾³⁰⁾。この影響は、生命維持のために重要な役割を担う血球生成機能にも顕著な変化をおこしている¹⁾²²⁾。これらの悪循環が、スポーツ性貧血を増加させる原因でもある⁸⁾²²⁾³⁰⁾。さらに低熱量食は、栄養面のバランスから考えても栄養分の体内吸収を変則的にすると同時に、カルシウムの骨沈着等の代謝障害も伴う²²⁾³⁰⁾。この傾向は、陸上競技の長距離選手及びマラソンランナーに多く見られ、とくに女子の長距離ランナーにはますます増加する傾向がみられる⁸⁾²²⁾³⁰⁾。ではウエイトコントロールのために食事制限をするスポーツ選手は、トレーニングに耐える体力を維持するためのエネルギー補給及び栄養を如何に考えているのか。それは、エネルギー代謝及び生体代謝に不足するところの栄養素を補助薬品等によって補うというのが現状である³⁾⁸⁾¹³⁾²²⁾³⁰⁾。しかし補助薬品等による栄養素の補給は、一時的な補給はできても生体機能の改善に直接結びつくような根本的な改善にはならない。なぜなら、我々人間が備えているところの基本的な生命代謝のメカニズムは、生物本来の生体代謝の仕組みの中で営まれているものであり、人工的に化学薬品を不足する栄養素として補給しても、根本的な代謝機能の改善には結びつかないのである^{22)29)~32)}。

そこで筆者等は、多くのアミノ酸 (amino acid) 等を含み組織細胞の活性化作用²⁸⁾があるといわれる乳酸菌 (lactic acid bacteria) に着目したのである。乳酸菌は、本来我々の生体内に存在する菌の一種³⁰⁾³¹⁾であり、生体代謝をより効率的に促進する役割^{29)~32)}を担うものである。しかし現代人の多くは、食生活の変化に伴い生体内に存在する多くの腸管細菌 (bacterial) が摂取した食物と相互関係の中で活動が阻害される状態、あるいは抑制される状態にあり、腸管細菌が生体内で本来の役割を發揮できない環境下におかれている³⁰⁾³²⁾。そのような社会的変化の中で、現在多くの乳酸菌製剤が生菌のまま体内に取り込まれ、組織細胞を活性化させるというキャッチフレーズのもとで市販されている。しかし、経口摂取される乳酸菌製剤の多くは、胃酸等の強酸によって胃中で約80%から90%が体内に吸収される前に死滅²²⁾³²⁾してしまう。

筆者らは、共同研究者である大平が1976年マレーシアで発見したタンパク質分解酵素が他の同属、同種の菌の6.25倍という活性力をもっている植物性発酵食品に着目したのである⁶⁾。大平は、植物性発酵食品を生菌のまま体内に吸収させる方法を模索しながら数々の実験を重ねた結果、1979年その植物性発酵食品をカプセル化することに成功した。それが、Fig.1 に示す乳酸菌製剤 (以下 OM-X と称す) である。カプセル化された OM-X は、空腹時であれば12分から15分間で小腸に到達し体内に吸収される。したがって OM-X は、他の乳酸菌製剤と異なり摂取後胃酸等の強酸により死滅することなく小腸に到達し体内に吸収されるのである。また OM-X は、多くのアミノ酸及び乳酸菌を含むと同時に鉄、リン及びカリウム等のミネラル、さらには各種のビタミンを含んだ総合的な乳酸菌製剤である⁷⁾。これらの植物性発酵菌は、生体内に取り込まれ小腸から吸収され、各種の腸管細菌と相互に作用し、組織細胞の活性化作用に有効性を發揮するものと考えられる。とくに血球生成においては、OM-X に包含されてい

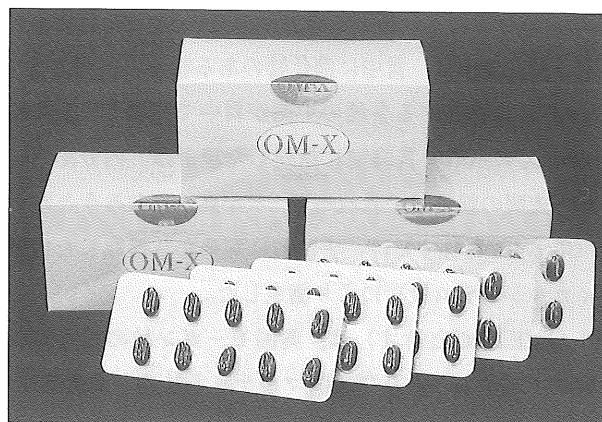


Fig.1 Lactic Acid Bacteria (OM-X) of OHHIRA

る鉄分、カリウム及びリン等のミネラル成分、各種ビタミンとアミノ酸が総合的に生体内で作用して造血機能を促し血液生成に変化を起こすと考えられる。またナトリウム及びカリウムは、筋肉の収縮代謝に影響を与え運動時の筋収縮に影響を与える物質である¹⁾²⁾⁸⁾¹⁷⁾。OM-Xの摂取は、今日の食生活等から生じる身体的変化に対して、スポーツ選手が潜在的に備えている生理的な運動機能を活性化させ、運動能力を向上させるであろうと考えられる。

今回は、長距離を専門とする男子の大学陸上選手を対象に、OM-Xを摂取させた後におこる最大酸素摂取量（以下 $\dot{V}O_{2max}$ と称す）の変化について究明する目的で実験した。

II. 実験方法

1. 被験者

被験者は、K大学の陸上競技部に所属する男子の長距離選手6名である。被験者の年齢は、 18.9 ± 0.8 才である。被験者の陸上競技歴は、競技を開始して3年から6年間の選手である。その理由は、今回の実験が競技能力及び経験の異なる選手の $\dot{V}O_{2max}$ に与える影響を調べるという目的から幅広い範囲で対象者を選んだ。

被験者の身体的特性については、Table 1 に示すとおりである。身体の計測は、タニタ社の体内脂肪計 (BODYFAT ANALYZER TBF-202) により測定した。

2. 方法

実験は、OM-Xを摂取する前と後の2回を摂取前及び摂取後の実験データとして比較対照

Table 1 The Physical Characteristics of Subjects

	Age(y)	H(cm)	B.W.(kg)	%Fat(%)
M	18.8	168.7	55.73	6.12
S.D	0.7	3.37	3.82	0.66

n=6

した。

乳酸菌製剤 OM-X は、被験者に1日当り3カプセル (1.5 g) を就寝前の空腹状態で摂取させた。空腹状態で摂取させた理由は、胃中に消化物のある状態で摂取させた場合、胃酸等の強酸により生菌である OM-X に存在する各種の生菌が胃中で死滅²⁸⁾する恐れがあるという考えのもとである。また OM-X の摂取を就寝前に指定した理由は、内分泌 (hormon) の代謝吸収という代謝サイクルから夜間の就寝時が吸収率³⁾¹⁷⁾²²⁾³²⁾が高いであろうと考えたからである。

血中ヘモグロビン (以下 Hb と称す) は、実験前に耳朶から採取した血液を富士ドライケム EDC5500 (富士メディカルシステム社) により測定した。

$\dot{V}O_2\text{max}$ 及び心電図 (以下 ECG と称す) は、英国モーガン社の総合呼吸代謝システム (ベンチ・マーク社エクササイズテスト) 及び米国マーケット社の運動負荷システム (CASE15) により測定した。呼気ガスの採取方法は、breath by breath により採取した。運動負荷は、Buruce のプロトコルを筆者 (川上) が改良したプロトコルにより実施した。運動強度は、3分間毎に強度を増加させる負荷漸進法を採用し、被験者をオールアウトまで走行させた時点の値を被験者の $\dot{V}O_2\text{max}$ とした。

III. 結 果

1. 摂取前

Table 2 は、OM-X を摂取させる前の最大運動負荷時 (以下 Max と称す) の生体反応について示したものである。Max の心拍数 (以下 HR と称す) は、安静時の $62.3 \pm 9.1 \text{ beats/min}$ に対して約2.91倍の値を示した。 $\dot{V}O_2$ は、安静時の $542 \pm 179.4 \text{ ml/min}$ に対して約5.0倍であった。二酸化炭素の産出量 (以下 $\dot{V}CO_2$ と称す) は、安静時の $434 \pm 110.4 \text{ ml/min}$ に対して約8.09倍という値を示した。換気量 (以下 $\dot{V}E$ と称す) は、安静時の $15.03 \pm 3.67 \text{ l/min}$ に対して約6.62倍であった。心拍出量 (以下 Q と称す) は、安静時の $6.7 \pm 1.48 \text{ l/min}$ に対して約3.03倍で

Table 2 The influence during maximal exercise befoer taking OM-X

	M	S.D.
Heart rate (beats / min.)	181.3	11.25
Exe.Time (sec.)	637.3	77.17
Expir.flow (L / min.)	99.49	24.93
Oxygen uptake (ml / min.)	2685.67	597.52
CO ₂ production (ml / min.)	3511.5	921.16
Cardiac output (L / min.)	20.3	3.05
SaO ₂ (%)	95	1.91
Lactate (mmol / L)	9.17	4.06

n=6

あった。血中乳酸値 (以下 LA と称す) は、安静時の $1.13 \pm 0.26 \text{ mmol/l}$ に対して約 8.12 倍の値を示した。摂取前の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、 $47.85 \pm 7.36 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ であった。体重当りの $\dot{V}O_2\text{max}$ は、被験者の競技能力の相違から個体差が非常に大きいものであった。Table 3 は、運動中における $\dot{V}O_2$ の値と $\dot{V}CO_2$ の値が交差する点の生体反応について示したものである。Fig.2 は、運動中における各ステージ毎の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ の動向について示したものである。 $\dot{V}O_2$ 及び CO_2 が交差する点は、有酸素運動領域から無酸素運動領域に移行する無氣的作業閾値 (anaerobic performance threshold: 以下 AT と称す) を示すものである³⁾²²⁾²⁹⁾。AT 時の生体代謝は、Max に対して HR が約 97.6%, $\dot{V}E$ が約 95.7%, $\dot{V}O_2$ が約 74.7%, $\dot{V}CO_2$ が約 61.4%, Q が約 82.0%, LA が約 43.1% という比率を示した。AT における LA は、 3 mmol/l 前後の値であった。

2. 摂取後

Table 3 The influence on the AT before taking OM-X

	M	S.D.
Heart rate (beats / min.)	177	14.58
Exe.Time (sec.)	570	30
Expir.flow (L / min.)	63.66	11.45
Oxygen uptake (ml / min.)	2006.17	367.89
CO ₂ production (ml / min.)	2156.5	384.07
Cardiac output (L / min.)	16.65	2.12
SaO ₂ (%)	94.57	2.74
Lactate (mmol / L)	3.95	1.52

n=6

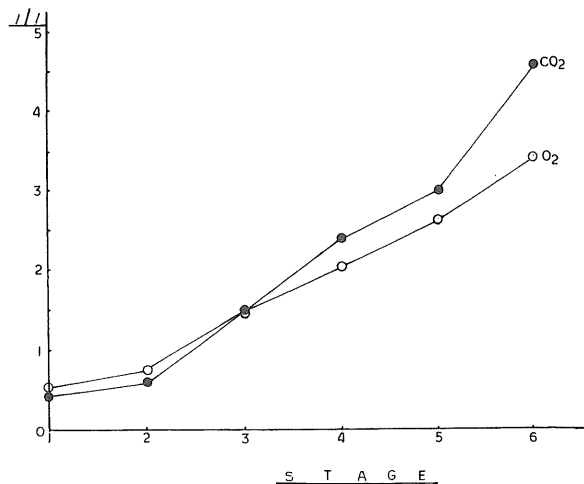


Fig.2 The relation between O₂ and CO₂ during maximal exercise before taking OM-X

Table 4 The influence during maximal exercise after taking OM-X

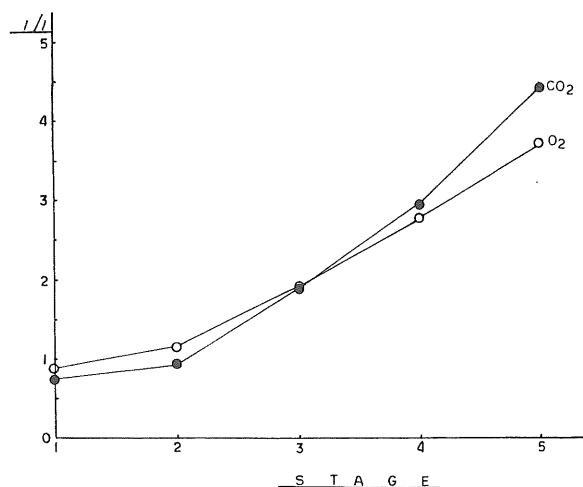
	M	S.D.
Heart rate (beats / min.)	183.33	5.93
Exe.Time (sec.)	677.33	81.95
Expir.flow (L / min.)	118.32	20.41
Oxygen uptake (ml / min.)	3511.17	600.39
CO ₂ production (ml / min.)	4105	975.21
Cardiac output(L / min.)	24.5	2.89
SaO ₂ (%)	95.25	0.97
Lactate (mmol / L)	9.84	3.14

n=6

Table 5 The influence on the AT after taking OM-X

	M	S.D.
Heart rate (beats / min.)	181.17	7.65
Exe.Time (sec.)	573	37
Expir.flow (L / min.)	81.71	11.33
Oxygen uptake (ml / min.)	2760.67	191.55
CO ₂ production (ml / min.)	2959	267.32
Cardiac output (L / min.)	20.81	1.01
SaO ₂ (%)	95.32	1.19
Lactate (mmol / L)	5.18	0.97

n=6

Fig.3 The relation between O₂ and CO₂ during maximal exercise after taking OM-X

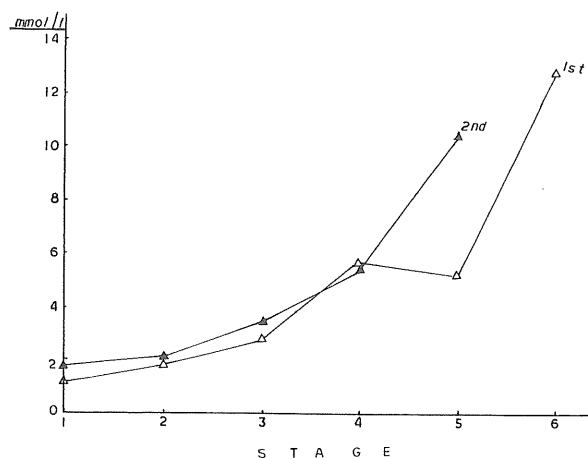


Fig.4 The relation to lactate during maximal exercise before and after taking OM-X

Table 4 は、OM-X の摂取を開始して 2～3 週間後における Max の生体反応について示したものである。Max の HR は、安静時の 59.0 ± 9.0 beats/min. に対して約 3.11 倍の値を示した。 $\dot{V}O_2$ は、安静時の 889.83 ± 272.03 ml/min. に対して約 3.95 倍であった。 $\dot{V}CO_2$ は、安静時の 767.5 ± 235.52 ml/min. に対して約 5.35 倍という値を示した。 $\dot{V}E$ は、安静時の 25.64 ± 7.33 l/min. に対して約 4.61 倍であった。Q は、安静時の 9.44 ± 1.93 l/min. に対して約 2.6 倍であった。LA は、安静時の 1.77 ± 0.38 mmol/l に対して約 5.56 倍の値を示した。Fig.4 は、OM-X の摂取前と摂取後における運動中の LA について示したものである。この時点における $\dot{V}O_{2max}$ は、 62.07 ± 8.77 ml/kg.min. であった。ここでも、被験者の競技能力の相違から平均値に対する標準偏差が大きく認められた。Table 5 は、AT における生体反応について示したものである。Fig.3 は、運動中における各ステージの $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ の動向について示したものである。AT は、摂取前に比較して摂取後の方が高いポイントで交差することが確認された。この時点における生体代謝は、Max に対して HR が約 98.8%， $\dot{V}E$ が約 69.1%， $\dot{V}O_2$ が約 78.6%， $\dot{V}CO_2$ が約 72.1%，Q が約 84.9%，LA が約 52.6% という比率であった。AT における LA は、4 mmol/l 前後の値を示した。これは、摂取前に比較して摂取後が筋収縮運動の限界点を高くしていることを意味する結果であった。

IV. 考 察

乳酸菌製剤は、腸内細菌を活性化させる作用があるとして、現代の食生活から生じる各種の弊害に影響力がある健康食品として最近多くの注目を集めている。とくに乳酸菌は、腸管内において栄養素の分解及び吸収を促進する腸管細菌に影響を与え、組織代謝を活性化させる³⁰⁾³²⁾作用があるといわれている。

今回の実験は、乳酸菌製剤 OM-X がスポーツ選手の運動能力の指標といわれている $\dot{V}O_{2max}$ に与える影響について調べるためのものである。つまり OM-X に含有される成分が、生体の呼吸循環代謝及び筋収縮代謝に与える影響について究明しようとしたものである。OM-X の

摂取が $\dot{V}O_{2\max}$ に与える影響について解明するということは、酸素及び二酸化炭素を運搬するところの赤血球の Hb 変化について確認することであり、運動中の筋収縮時間に影響を与える血中乳酸分解能力及び二酸化炭素耐性について考察することである。この種の研究は、スポーツ科学 (sports science) の分野においてステロイドホルモン等の性ホルモン剤を投与することにより筋肉の増強をはかる方法、あるいは血液ドーピング等人工的に血液成分に変化を加えることによって $\dot{V}O_2$ を増加させる方法、神経の興奮に作用する薬剤を摂取させてより高い運動能力を発揮させる方法等、人工的に標的器官に作用する物質及び薬剤を投与しながら生体機能の改善を期待する研究が中心に行われてきた⁸⁾²²⁾。これは、スポーツ選手の運動機能を向上させるためのドーピングといわれるものである²²⁾。これらのドーピングは、少なからずとも生体に悪影響を与える²²⁾。今日のスポーツ選手は、科学的トレーニングの進歩に伴い、効率的なトレーニング方法及び自己に適したトレーニングを遂行しているものの、自己の能力をより以上に向上させるために生体の限界までトレーニング強度を高めている (over load)²⁾⁸⁾¹⁵⁾²⁶⁾³⁴⁾。そこでスポーツ選手が考えることは、ハードトレーニングに耐える生体を養成し、生体機能の維持、増進を図る方法である。これは、呼吸循環代謝及び筋収縮代謝における生体機能の改善を意味するものである²⁾⁸⁾¹⁵⁾³⁴⁾。また円滑にトレーニングを遂行するためには、ボディコンデショニングをすることによって、身体への負担を軽減してスムーズにトレーニングができる身体を作る必要も生じる。ボディコンデショニングとは、各種スポーツに適した身体を作ることであり、食事を制限することからウエイトコントロールをはかることである。ウエイトコントロールは、ボディウエイト (body weight) を下げることで、運動体に不必要な存在である %Fat を引き下げ、身体が円滑に作動するようにすることである。これは、運動体として活動する下肢に自己のウエイトがかからないようにし、消費エネルギーのロス及び重量から生じる故障を軽減するためのスポーツ選手のトレーニングボディに対する理論²⁾⁸⁾¹⁵⁾である。しかしスポーツ選手が食事の制限をすることは、生体維持のために必要な栄養素を制限することであり、活動体としてのエネルギー代謝及び基礎体力を低下させるもので、生体機能の維持という点から非常に不合理な問題が生じる¹²⁾²²⁾²⁹⁾³²⁾。スポーツ選手の食事制限は、とくに運動時の筋収縮代謝に必要なエネルギー源としての栄養素、そして生体の組織細胞を維持するために必要な栄養素、体内の蛋白合成及び血液生成のための栄養素、さらには骨形成に必要なカルシウム代謝に関与する栄養素等を不足させるため、スポーツ性貧血を招来し運動時の筋収縮代謝、骨形成に影響を及ぼす²²⁾²⁹⁾。このような状況の中でハードトレーニングを繰り返すスポーツ選手は、経口摂取したエネルギー源の食物をいかに効率よく体内に吸収させるかということを考える必要がある。そして、体内に取り込んだ栄養素を効率的に分解し、栄養源として合成することである。経口摂取した食物は、食道を通り胃で消化され90%以上が小腸において栄養素として体内に吸収される²²⁾²⁹⁾³²⁾。体内に吸収された栄養素は、小腸から門脈を通して肝臓に運ばれ、栄養源として合成、保存、そして身体各部の標的器官に供給される²²⁾。栄養源の合成は、生体内の各種アミノ酸及び各種乳酸菌、また体内に存在する各種の腸管細菌が作用して化学合成され

る³⁰⁾³²⁾。そこで考えなければならないことは、摂取した栄養素の効率的な吸収ということである。つまり、小腸で栄養素の吸収活動に関与する腸内細菌の活性化と腸内細菌の活動を補助する方法を考える必要があるということである。腸内細菌の活動を補助する方法とは、腸内細菌として腸管に存在する細菌が活動するために必要な栄養素の補給ということである。また、腸内細菌の増殖及び活動を阻害あるいは阻止する物質を体内に取り込まないことである。その腸内細菌を活性化させるための栄養素³⁰⁾³²⁾になるものが、アミノ酸等を含む各種乳酸菌の補給であろうと考えるのである。なぜなら、現代人における食生活の変化は、植物性食品から動物性食品へと食材及び食嗜好が変化し、さらには食品添加物等の混入により本来の腸内細菌が活発に活動するための場を制限、抑制する状況を引き起こしている³⁰⁾³²⁾。この食生活の変化は、我々人間が基本的に備えているところの生体代謝の基本的なサイクルを変化させているものであり、生物が本来備えているところの生命代謝の基本的な仕組みを変えている³⁰⁾³²⁾。これらの生命代謝における変化が、今日問題にされるところの生活習慣病あるいは悪性腫瘍及び悪性新生物の発現等、多くの代謝障害から生じるとされる現代疾患の出現²⁰⁾²⁷⁾²⁹⁾である。これには、本来腸管あるいは生体内に存在する各種の細菌を活性化させ、生体維持のためのエネルギー源である食物を効率的に栄養素として吸収させる腸内細菌の活動を促進することが必要といえる。同時に、腸管内に存在する善玉細菌を増殖させる方法を考えなければならないことである。つまり、腸内細菌である細菌が活動できるための栄養素の補給と活動の場を与えるということである³⁰⁾³²⁾。

本実験に試用した乳酸菌製剤 OM-X は、1 カプセル (500mg) の中に20種類のアミノ酸 (内8種は必須アミノ酸)、9種類のビタミン、5種類のミネラル及び12種類の乳酸菌を含んだ植物性発酵食品である。中でも鉄分、カリウム及びナトリウムにおける含有割合は、生体代謝に関与するためのミネラルから考えて非常に好都合な比率で存在しており、組織細胞の活性化及び筋収縮運動には有効に作用するものと思われる^{29)~32)}。なぜなら、我々人間の生命代謝の基本的な営みは、呼吸器から取り込まれる酸素と消化器から取り込まれる栄養素を活用して、全身の組織細胞を維持し細胞の活性化をはかることである²²⁾²⁹⁾³²⁾。組織細胞活性化のための基本的な生体の仕組みは、循環器から全身に供給される血液の成分にあるといえる²²⁾²⁹⁾。血液は、身体各所の標的器官及び組織細胞に必要とされる酸素、栄養素及び各種の物質を供給し、身体の組織細胞及び器官を維持しているのである²²⁾。とくに血液合成に必要な成分は、鉄分等の適当なミネラルと蛋白合成を促進する各種アミノ酸とビタミンといえる²⁹⁾³²⁾。今回の実験では、 $\dot{V}E$ 、心臓から1回に拍出される血液量 ($\dot{S}\dot{V}$) 及び1分間当たり拍出される Q の値が摂取前に比較して摂取後の方が高い値 ($P < 0.05$) を示していることと、また酸素の運搬役である赤血球の Hb 量が摂取前と摂取後において約8.4%の増量が確認されている ($P < 0.05$)。これらの生体の変化は、血球生成の変化であり赤血球の早期合成がはかられている様子を伺う結果である。これは、従来の赤血球生成の論理³⁾⁸⁾¹³⁾³²⁾³⁴⁾から考えて非常に短期間、かつ早期に Hb が増量されている結果であり、非常に不思議な現象といえる。本来赤血球の寿命は、約100日から120日間

といわれており、通常1日に約50mlの血液に含まれる赤血球が破壊されると同時に新生され、血液成分の恒常性 (homeostasis) を維持している²⁴⁾²⁹⁾³¹⁾³²⁾³⁴⁾。赤血球の生成は、骨髄の幹細胞が腎臓に存在する一種のホルモンであるエリトロポエチンの作用を受けて、前赤芽球へと分化、成長して血球に成熟するのである⁸⁾²²⁾³²⁾。赤血球のHb合成に関与する中心的な成分は、鉄分と蛋白質である³⁰⁾。体内に吸収された鉄分は、トランスフェリンという蛋白質と結合して肝臓に運ばれ、フェリンという物質で貯蔵されるか、あるいは骨髄、その他の組織に運ばれてHb、ミオグロビン等のヘム蛋白を合成する材料になる⁸⁾³⁰⁾。スポーツ性貧血は、鉄分の不足及び蛋白合成の遅延が血球生成細胞の活性化に影響を与えているものであり、肝細胞の活性化及び肝臓機能の促進をはかることによって血球生成に必要な栄養素の体内吸収率を高め、蛋白合成を促進して組織細胞の新陳代謝を促すことで解決できると思われる²⁸⁾³⁰⁾。とくに体内に吸収された鉄分の大多数は、体外に排出されることはなく、肝臓及び脾臓の細網内皮系に貯蔵され再利用されるので、ヘム蛋白の合成が促進されれば、貯蔵中の鉄分も同時に活用されることから、血球生成も早いサイクルで合成されるといえよう。以上のことから、今回の実験結果は、従来の赤血球産生及び破壊の代謝理論²¹⁾²²⁾³⁰⁾とは異なる現象であるが、血液の血球生成の仕組み及び造血場所が従来の生成サイクル及び造血器官以外の場所で、変異的にヘム蛋白合成が促進されているとしたら早期に赤血球のHb合成がなされても不思議ではない。成人の赤血球生成は、大多数が赤色骨髄により合成されるが、今回の実験結果のように短期間でHb量が増加するとしたならば、そしてヘム蛋白合成が促進される環境にあれば、赤色骨髄以外の肝臓及び脾臓の臓器においても血液の早期合成がなされると考えられる²⁸⁾³⁰⁾。なぜなら我々は、胎児期及び乳幼児期に肝臓及び脾臓でも血球生成がなされる実積をもっている²²⁾²⁹⁾。したがって今回の実験結果は、成人においても血球合成に有効に作用する環境が生体内に背景として存在すれば、骨髄以外の器官においても造血が促進されると判断できる^{22)29)~32)}。それは、OM-Xに含有されている各種成分と生体に存在する腸内細菌が相互に作用して赤血球の合成を促進していると考えられる³⁰⁾。つまり、OM-Xの成分である鉄分、リン及びカリウム等のミネラルと各種のビタミンが腸管細菌であるバクテリアに活動促進効果を及ぼし、赤血球のHb生成の基礎になるヘム蛋白合成を促進し、各種アミノ酸及び乳酸菌が体内のバクテリアの活性化をはかり、血球合成の促進がなされているものといえる⁸⁾²²⁾。その合成機序については、OM-Xの成分と体内に存在する各種バクテリアが相互に作用して栄養素の腸管吸収が促進され、門脈を経て肝臓に送られ血球合成が促進されることで赤血球の早期産生がなされているものと判断できる。Hb量の増加は、 $\dot{V}O_2\max$ に与える因子としては最大の存在であり、Hb量の増加が有酸素運動としての運動能力を向上させる⁸⁾¹⁵⁾。また $\dot{V}O_2\max$ の増加は、酸素の供給能力を向上させると同時に、血中乳酸分解機能も促進するため筋収縮時の二酸化炭素耐性も高まる⁶⁾¹³⁾。筋肉の二酸化炭素耐性が高まることは、高い運動強度に対しても筋収縮が継続可能なことを意味するもので、より高い運動能力を持続することが可能なわけである^{8)13)~15)}。筋収縮を助長する物質は、酸素の供給と筋収縮を調整するカリウム及びナトリウム、リン等のミネラルの適当な配分であ

るといえる³⁰⁾。そのカリウムにおいても、本実験に使用した OM-X の成分には899mg/100 g が含まれており、筋収縮を助長させるには好都合に作用しているものと思われる³⁰⁾。またリン(178 mg/100 g) 及びナトリウム (58.6mg/100 g) においても、非常に好都合な割合で含まれており、筋肉に機械的仕事を発揮させるアデノシン三リン酸 (ATP: adenosine triphosphate) の合成に有益に関与しているものと思われる⁸⁾²²⁾³⁰⁾。それは、運動中の AT が摂取前と摂取後において約600ml/min. も高いポイントまで引き上げられていることから考えて、有酸素運動領域の幅が拡張され運動能力が向上していることを裏付ける結果といえる⁸⁾。これは、骨格筋の筋収縮運動の限界点を決定する二酸化炭素耐性にも影響を与えていることを示す結果である。また AT における LA の産出量は、摂取前に比較して摂取後の方が高い値を示しているにもかかわらず、 $\dot{V}O_2\max$ も大きな数値を示していることから考えて、筋収縮運動時の二酸化炭素耐性は確実に高くなっているものといえる⁸⁾。これらの運動時における生体機能の変化は、血液成分の赤血球中の Hb 量の変化によるものであり、 $\dot{V}O_2\max$ の増大及び運動中に生じる LA の分解を促進する作用に OM-X の成分が大きく関与しているものと考えられる。OM-X の成分は、アミノ酸、乳酸菌、ミネラル及びビタミンであり、それらがトータルに腸管細菌と作用して腸管内において各種細菌と適合し、細胞を構成する蛋白合成を促進し、生体内で造血作用に有意に働いているのである。その結果、赤血球の Hb 合成を促進され、血球生成が早期にはかられるのである。また、OM-X の成分には、ビタミン B₁₂ (0.07 μ g/100 g)、葉酸 (4 μ g/100 g) 及びビタミン E 等も含有されており、これらの成分も同時に早期造血に影響²⁸⁾を与えているものと考えられる。

以上のことから乳酸菌製剤 OM-X の摂取は、スポーツ選手に運動能力の指針といえる $\dot{V}O_2\max$ を増加させる⁸⁾。これは、乳酸菌及びアミノ酸、ミネラル分を含んだ OM-X の成分が赤血球の生成作用に関与し、早期造血がはかられると思われる²⁸⁾。この機序は、腸管細菌のバクテリアの活性化が大きな鍵を握っているものと考えられる³⁰⁾。

今回の実験は、体重の異なる者に OM-X1.5 g を一様に与えた結果であるが、今後の課題としては OM-X の摂取量と体型の関係、性差による相違、あるいは摂取期間と食生活の関係等、乳酸菌製剤 OM-X の摂取が生体に果たす役割及び機序について徐々に解明することを考えている。これは、現代の食生活及び生活習慣から生じる生体代謝の変化を究明することであり、生命代謝の基本的な営みを考察するものと考えている。

V. 要 約

今回の実験は、乳酸菌製剤である OM-X の摂取が運動選手の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) に与える影響について調べる目的で実験したものである。最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) は、OM-X 摂取後に大きな増加の認められることが判明した。また、運動負荷中の生体機能についても、各種の変化が認められたので報告する。

主な結果は、次に示すとおりである。

1. 血中ヘモグロビン (Hb) の量は、摂取前と摂取後において約8.4% (g/dℓ) の増量が認められた。(p<0.05)
2. 最大運動下 (Max) に至る酸素摂取量と二酸化炭素の産出量が交差するポイント (AT) は、摂取前に比較して摂取後の方が約600ml/min, 高いポイントでクロスすることが確認された。(p<0.05)
3. 最大運動下 (Max) における血中乳酸値 (LA) は、摂取前及び摂取後に大きな変化は認められなかった。
4. 体重当りの最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は、摂取前に比較して摂取後の方が約29.7%も増加することが確認された。(p<0.05)
5. 以上のことから、乳酸菌製剤である OM-X の摂取は、陸上競技長距離選手の最大酸素摂取量に大きな影響を及ぼすことが判明した。これは、OM-X に存在する各種成分が総合的に生体内の腸内細菌に作用して、赤血球のヘモグロビン (Hb) 合成を促進しているものといえる。また Hb 量の早期増加は、運動中の血中乳酸分解能力を促進し、筋収縮時の二酸化炭素耐性を高め、筋収縮運動をより高い運動強度で継続することが可能といえる。

参考文献

- 1) Ahlberg B., et al.: Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol. Scand.* 70, 129-142, 1967
- 2) 浅見俊雄他: スポーツトレーニング, 40-195, 朝倉書店, 1985
- 3) 石河利寛: スポーツとからだ, 103-140, 岩波書店, 1991
- 4) 岩崎英人・川上雅之他: 心拍数から考える組み合わせトレーニングと運動強度, 山陽論叢第1巻, 37-47, 1994
- 5) 榎本豊・川上雅之他: $\dot{V}O_{2max}$ から推定するロングインターバル・トレーニングの身体的影響, 岡山理科大学紀要, 25A, 349-360, 1990
- 6) 大平猪一朗他: 東南アジア地域の伝統的発酵食品より分離した乳酸菌のタンパク分解性と芳香生産性, 食品の研究, 39-4, PP115-121, 1990
- 7) 大平猪一朗: 東南アジア地域の伝統的発酵食品における乳酸菌の分布とその生化学的性質, 食品の研究, 41-3, PP87-98, 1992
- 8) Astrand P.O., et al.: *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill, 295-518, 1970
- 9) 川上雅之他: 長距離走における走行速度と運動強度の関係, 岡山理科大学紀要, 26A, 365-378, 1991
- 10) 川上雅之他: 保体学概論, 180-217, 小林出版, 1992
- 11) 川上雅之他: ショート・インターバルトレーニングと心拍数の関係, 岡山理科大学紀要, 27A, 311-324, 1991
- 12) 川上雅之他: 心拍数から考える山間部走とトレーニング, 岡山理科大学紀要, 28A, 272-292, 1993
- 13) 川上雅之他: ヘルスサイエンス, 25-124, 不味堂, 1994
- 14) 川上雅之他: 走行速度と運動強度に関する研究-傾斜角度と走行速度の関係-, 倉敷芸術科学大学紀要, 創刊号, 153-165, 1996
- 15) 川上雅之他: トレーニングサイエンス, 13-21, 90-101, 不味堂, 1996
- 16) Karvonen M., et al.: The effects of training on heart rate *Ann. Med. Exp. Fenn.* 35, 307-315, 1957
- 17) Campbell P.N.: The Biosynthesis of proteins, *Progr. Biophys. mol. Biol.* 15, 3, 1965
- 18) Cooper K.H.: The new aerobics. M. Evans and Comp., 25-180, 1970

- 19) Costill D. et al., : Functional utilization of the aerobic capacity during distance running, *Med. Sport*, 5, 248-252, 1973
- 20) Costill D. et al., : Determinants of marathon running success, *Int. Z. Ang. Physiology*, 29, 249-251, 1973
- 21) Costill D. et al., : Metabolic response during distance run, *J. Appl. Physiol.* 28, 252-255, 1970
- 22) 黒田善雄他：最新スポーツ医学, 149-153, 704-714, 文光堂, 1990
- 23) Saltin B. & Astrand P.O. : Maximal Oxygen Uptake in Athletes, *J. Appl. Physiol.*, 23, 353, 1967
- 24) Jacob F., Monod J., : Genetic Regulatory Mechanism in the Synthesis of proteins, *L. Mol. Biol.*, 3, 318, 1961
- 25) 高松薫他：持久走における心拍数と酸素摂取水準との関係に及ぼす運動経過時間の影響, *体育学研究*, 28-2, 153-161, 1983
- 26) 野田晴彦：マラソントレーニングにみるトレーニングの限界, *スポーツ医学*, 7-5, 573-577, 1990
- 27) Novelli G.D., : Amino Acid activation for Protein Syntheses, *Ann. Rev. Biochem.*, 36-2, 449, 1967
- 28) MacDougall J.D. et al., : Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization, *J. Appl. Physiol.* 43, 700, 1977
- 29) 増原光彦：運動生理学読本, 21-38, 不昧堂, 1997
- 30) 三浦義彰訳：基礎生化学, 54-310, 東京化学同人, 1970
- 31) 湯浅精二：生物科学概論, 94-120, 裳華房, 1986
- 32) 山路啓司：心拍数の科学, 17-30, 大修館, 1981
- 33) 山路啓司：持久走トレーニングの最大酸素摂取量への影響, *体育学研究*, 32-3, 167-175, 1987
- 34) 山路啓司：心臓とスポーツ, 47-183, 共立出版, 1982

The Influences on the $\dot{V}O_2$ max of Athlete with taking Lactic Acid Bacteria (OM-X)

Masayuki KAWAKAMI, Ichiro OHHIRA*・Naohiko ARAKI,
Koji INOKIHARA, Takashi MATSUBARA and Hideto IWASAKI**

College of Liberal Arts and Science

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712, Japan

**Research Institution of Okayama Life Science*

1-1-2 Gakunan-cho Okayama, 700, Japan

***Sanyo Gakuen University*

1-14-1 Hirai Okayama, 703, Japan

(Received September 30, 1997)

The purpose of this study is to influences on the $\dot{V}O_2$ max of athlete with taking lactic acid bacteria (OM-X). The subjects in this study is the long-distance runner of 6 males. The influence of physical function, analyzed results of respiration during maximal exercise of treadmill.

The following results were obtained :

- 1) The numerical value of Hb (g/dl) increases about 8.4% (g/dl) after taking the lactic acid bacteria. ($p < 0.05$)
- 2) After taking the lactic acid bacteria, the AT point under $\dot{V}O_2$ max exercise test indicates higher point than befoer. ($p < 0.05$)
- 3) The numerical value of LA (mmol/l) does not indicate significant differences between befoer taking the lactic acid bacteria and after.
- 4) The numerical value of $\dot{V}O_2$ max increases about 29.7% (ml/kg.min.) by the lactic acid bacteria. ($p < 0.05$)
- 5) Therefore, a significant consideration about the influences of lactic acid bacteria on $\dot{V}O_2$ max in athletes should be the promoted Hb synthesis in red corpuscles.