 原 著

 順天堂医学 37 (4)
 P. 613~625 (1992)

種々な長距離走トレーニングに対する血液・

生化学検査値からみた個人負荷量の推定

—筋組織傷害および脂質過酸化反応について—

 The estimation of individual demand for various distance training
 from the viewpoint of blood and biochemical analysis

—with reference to muscle tissue damage and lipid peroxidation—

高 岡 郁 夫*

IKUO TAKAOKA, M.H.P.E

長距離走者が日常行っているトレーニングが、血管内溶血・筋肉組織傷害および脂質過酸化反応に及ぼす影響およびその相互関連を検討するために、8人の陸上競技長距離走者が被験者として本研究に参加した。用いられたトレーニングは(1) 15kmのロードでの持続走(2) 6分間のジョグををさんで 5,000m を3回走るインターバル走、および(3) 起伏のあるゴルフ場を14km走るクロスカントリー走であった。トレーニングの持続時間はすべて約60分間とした。早朝安静時のコントロール、各トレーニング終了数分後および翌朝に採血した。

血清 HPG 濃度はコントロール値に比べ、持続走およびインターバル走でそれぞれ有意に減少した。血清 MDA 濃度はすべてのトレーニング後有意に増加した。CK および CK-MB 活性は持続走を除くトレーニング後、有意に増加した。MDA・CK・CK-MB は各自の相対的なトレーニング強度と有意に相関した。さらに個人の相対的なトレーニング強度と有意に相関した。さらに個人の変化について、MDA と CK とは互いに有意に相関した。CK 活性が運動後遅れてピーク値を示すことなどを考慮すれば、トレーニングに対する個人別の負荷の客観的指標としての MDA 濃度の有用性が示唆された。

索引用語：脂質過酸化，筋組織傷害，溶血，トレーニング

 Key words : lipid peroxidation, muscle tissue damage, hemolysis,
 training

緒 言

持久的競技者の多くは、持続的に低い血色素濃度(Hb)・ヘマトクリット値(Hct)・赤血球数(RBC)・血清鉄濃度(Fe)を持つことが知られて

いる^{1)~4)}。この現象は＜運動性貧血＞と呼ばれ、激しい持久的トレーニングによる物理的および化学的溶血の促進がその原因として考えられて来た^{4)~8)}。事実マラソン走やトライアスロンのごとき長時間激運動後、競技者の血管内に溶血の起こることが観察されている⁹⁾¹⁰⁾。同様に長時間激運動により組織から血液中への顕著な酵素の逸脱が観察されている。特にクレアチンキナーゼ(CK)、およびそのアイソザイム(CK-MB)活性が骨格筋、および心筋組織傷害の指標として広く研究

---

* 順天堂大学体育学部運動生理学研究室
 Department of Exercise Physiology, Juntendo
 University School of Physical Education,
 Chiba, Japan
 [Jan. 17, 1990 原稿受領] (Jan. 31, 1991 掲載決定)

されている^{11)~13)}。これらの研究のほとんどはマラソン走などの長時間激運動により、CK および CK アイソザイム活性が有意に上昇し、これが運動による筋組織傷害によるものと結論づけている。

一方、近年運動による細胞膜の破壊が活性酸素依存性脂質過酸化反応によるとする報告がある^{14)~16)}。Kanter ら (1988)¹⁷⁾は80kmレース後のCK、およびLDH活性の変化とマロンジアルデハイド(MDA)濃度(脂質過酸化反応の指標)との関係を検討した結果CK・CK-MBとMDAとがよく相関し、運動による筋組織傷害に脂質過酸化反応が密接に関連していることを示唆した。

しかしながら、持久的競技者に対する血管内溶血・筋組織傷害および脂質過酸化反応による影響は、1回のみの負荷によってだけもたらされるのではなく、日常行っている持久的トレーニングの積み重ねの結果も考慮する必要があると考えられる。しかしながら、実際の日常トレーニングに関する溶血・筋組織傷害、および脂質過酸化反応についての資料、およびこれらの相互関係を検討した報告は少ない。そこで長距離選手が日常一般的に行っている長距離走トレーニングが、溶血を始めとした鉄代謝・筋組織傷害および脂質過酸化反応に及ぼす影響を検討することを目的とし、実験を試みた。

以下、日常トレーニングに際して運動直後およ

び回復翌日の分析結果を求め、反応の相互関係・トレーニング強度との関連など合わせて考察した結果を報告する。

対象と方法

1. 対象

対象は8名の大学陸上競技部長距離ランナー(年齢 20.5 ± 1.0 歳、平均値±標準偏差)であった。

実験に先立ち各被験者は本研究の内容および起こりうる利益と危険とを知らされた後に承諾書に署名し提出した。身長・体重および5,000mの最高記録はそれぞれ 170 ± 5 cm、 58 ± 4 kgおよび15分10秒±14秒であった。実験期間前および期間中の罹患はなく、投・服薬は行われていない。

2. トレーニング負荷

本研究では日常の練習量を上回らないことを条件に次の3種類を全員に負荷した。

A. 持続走：ロードでの15kmの距離走 B. インターバル走：400mの全天候トラックにおいて5,000mを6分間のジョギングをはさんで3回繰り返すインターバル走 C. クロスカントリー走：起伏のあるゴルフ場(東大検見川グラウンド)で2,000mの周回コースを7回走るクロスカントリー走。

3種類のトレーニングの運動時間はいずれも60分間を目安に終了させた。この時の平均速度およ

表-1 Mean speed and relative intensity of continuous, interval and cross-country running.

Subject	5,000m best time	Continuous run		Interval run		Cross-country run	
	min sec	Mean speed m / min	%intensity* %	Mean speed m / min	%intensity* %	Mean speed m / min	%intensity* %
HO	14' 52"	286	85.1	309	92.0	240	71.4
HS	15' 16"	280	85.4	298	90.9	246	75.0
YI	15' 03"	286	86.1	300	90.4	238	71.7
MI	15' 07"	280	84.6	314	94.9	239	72.2
TY	15' 32"	280	87.0	308	95.7	225	74.2
TS	15' 27"	280	86.4	314	96.9	246	69.4
TM	15' 08"	280	84.8	301	91.2	239	74.5
KK	15' 09"	280	84.8	312	94.5	239	72.4
$\bar{X}$	15' 10"	282	85.5	307	93.0	239	72.6
SD	14"	3	0.8	6	2.3	6	1.8

* %intensity = mean speed of training / mean speed of 5,000 m best time $\times 100$

び被験者個々人の5,000m走の最高記録に対する割合を表-1に示した。

3. 実験手順

長距離選手の1週間のトレーニングの中で、休息日(第1日)と軽いジョグ練習日(第2日)の後、第3日目の早朝、空腹時に採血と採尿を実施し、コントロール値とした。そして同日に持続走を第4日目にインターバル走を、そして第6日目にクロスカントリー走を行い、トレーニング終了数分後、および翌朝に、採血・採尿を繰り返した。なおインターバル走翌日(第5日)は軽いジョグのみを行わせた。

実験期間は平成2年10月24日から28日である。

4. 血液・尿試料の採取

各トレーニング実施日の早朝(6:30)・トレーニング終了後(18:00~18:30)、および翌朝(6:30)に真空採血管を用いて正中静脈より15ml採血した。採取血液の一部は全血で血液一般検査を行い、残りの血液は遠心分離後、血清化学分析を行った。測定は血液検査が採取直後、化学分析はすべて分離後24時間以内に実施した。採尿は採血と同時期に行い定性分析のみ実施した。

5. 分析項目および方法

A. 血液検査：赤血球数(RBC)・白血球数(WBC)・ヘマトクリット値(Hct)・ヘモグロビン濃度(Hb)および平均血球容積(MCV)は、自動血球計数装置および同稀釈装置(Sysmex CC-150およびAD-240; 東亜医用電子社製)を用いて測定した。

B. 血中乳酸濃度：酵素法によるテストキット(TDX 乳酸ダイナパック; ダイナボット)および全自動蛍光偏光測定装置(TDX Analyzer; ダイナボット)で測定した¹⁸⁾。

C. 血清鉄濃度：フェロジン法に基づいたテストキット(TDX REX Iron/TIBC; ダイナボット)を用いて分析した¹⁸⁾。

血清フェリチン濃度はラジオイムノアッセイ²⁾抗体法²⁵⁾、ハプトグロビン濃度(HPG)はネフェロメトリー法⁹⁾によった。

D. 血清クレアチンキナーゼ活性(CK: EC 2

7 3 2)はクレアチンリン酸基質・テトラゾリウム塩法に基づくテストキット(CPK-II-テストワコー; 和光純薬)を用いて分析した¹⁹⁾。また、血清乳酸脱水素酵素活性(LDH: EC 1 1 1 27)は乳酸基質・テトラゾリウム塩法に基づくテストキット(ラクテートデヒドロゲナーゼC II-テストワコー; 和光純薬)を用いて測定した²⁰⁾。

CK-MBの測定は電気泳動後に蛍光染色法によって分画定量された²⁷⁾。

E. 血清MDA濃度：チオバルビツール酸(TBA)反応を用いた八木蛍光法によるテストキット(過酸化脂質テストワコー; 和光純薬)によって²¹⁾分析した。

F. 尿検査：試験紙(Uro-Labstix; エームス)による。項目はpH・蛋白・ケトン体・ぶどう糖・潜血・ウロビリノーゲンの6項目である。

G. 主観的調査：採血および採尿時に自覚的疲労調査、および身体各部位の痛み・重さおよびだるさの主観的調査を質問紙法によって行った。

6. 統計処理

対応のあるStudentのt-テストによりトレーニング前後値、および翌朝値間の平均値の差の検定を試みた。統計的有意水準は $P < 0.05$ とした。またトレーニング強度と分析結果との間でPearsonの相関係数を求めた。

結 果

1. トレーニング後値および翌朝値の変化

得られた結果の平均値および標準偏差から集団としてのトレーニング運動に対する変化を検討した。

A. 血液検査

コントロール・運動後および翌日早朝の血液検査結果を表-2にまとめた。

RBCはトレーニング後増加し、翌朝(運動後約12時間経過)減少する傾向にあったが、コントロール値と比較して有意な増加を示したのはクロスカントリー走のみであった。WBCはトレーニング後いずれも有意な増加が観察され、またインター

表-2 Mean values with standard deviation of blood cell counts, hematocrit, hemoglobin concentration and mean corpuscular volume in distance runners at control, post exercise and next morning (post 12hr).

	Control	Continuous run (15km)		Interval run (5,000m × 3)		Cross-country run (14km)	
		Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning
RBC ($10^4/mm^3$)	490 ± 25	521 ± 32	511 ± 37	499 ± 38	494 ± 29	511* ± 31	475 ^a ± 12
WBC ($/mm^3$)	6138 ± 1658	8775* ± 2377	7088 ± 1674	8075** ± 2378	8333*** ± 2456	9600*** ± 2468	6163 ^b ± 1731
Hct (%)	43.4 ± 2.2	46.4 ± 2.1	45.5 ± 2.3	44.3 ± 2.5	44.3 ± 2.4	45.6* ± 2.7	43.0 ^a ± 1.6
Hb (g/dl)	14.9 ± 0.8	15.7* ± 0.5	15.1 ± 0.7	15.0# ± 0.5	14.8 ± 0.7	15.4* ± 0.7	14.6 ^a ± 0.5
MCV (μ^3)	90 ± 3	91 ± 3	89 ± 3	89 ± 2	90 ± 2	89 ± 2	91 ± 4
Control vs Post ex. & Next morning					* P<0.05	** P<0.01	*** P<0.001
Post ex. vs Next morning					a P<0.05	b P<0.01	c P<0.001
Continuous vs Interval & Cross-country					# P<0.05	## P<0.01	### P<0.001

表-3 Mean values with standard deviation of serum lactate and malondialdehyde (MDA) in distance runners at control, post exercise and next morning (post 12hr).

	Control	Continuous run (15km)		Interval run (5,000m × 3)		Cross-country run (14km)	
		Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning
Lactate (mM)	2.1 ± 0.3	5.9** ± 2.2	1.9 ^c ± 0.5	6.9*** ± 1.9	1.5** ^c ± 0.3	5.4*** ± 1.4	1.9* ± 0.4
MDA (nmol/ml)	1.7 ± 0.3	2.2** ± 0.3	1.5 ^c ± 0.3	4.6*** ^{###} ± 1.8	3.9** ± 1.4	4.5** ^{##} ± 1.2	2.9 ^c ± 1.4
Control vs Post ex. & Next morning					* P<0.05	** P<0.01	*** P<0.001
Post ex. vs Next morning					a P<0.05	b P<0.01	c P<0.001
Continuous vs Interval & Cross-country					# P<0.05	## P<0.01	### P<0.001

バル走の翌朝は他のトレーニングと異なり、運動後値よりもさらに増加していた。

コントロールの Hb 濃度は $14.9 \pm 0.8g/dl$ でいわゆる正常範囲を下回った者は 1 名 ($13.6g/dl$) であった。持続走およびクロスカントリー走後の Hb 濃度はコントロール値に比べ有意に増加した。これに対して、インターバル走後の Hb 濃度はコントロール値と有意差が観察されず、3 種のトレーニング中最も低い値を示した。また翌朝の Hb 濃度は全体に減少の傾向を示したものの、トレーニング後値から増加あるいは不変の者もあり、有意な減少が見られたのはクロスカントリー走翌朝のみであった。

B. 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度はコントロール値に比べて持続走・インターバル走、およびクロスカントリー走後においていずれも有意に増加した。またインターバル走後が最も高い乳酸濃度を示し、クロスカントリー走後値との間に有意差が見られた。また翌朝の乳酸濃度はいずれも回復し、ほぼコントロールレベルに戻っていた (表-3)。

C. 血清鉄・フェリチン・ハプトグロビン

鉄代謝に関わる血清鉄・フェリチンおよび HP G 濃度を表-4 に示した。

トレーニング後の血清鉄濃度は、コントロール値と比べ上昇傾向にあるが有意差は認めない。

表-4 Mean values with standard deviation of serum iron, ferritin and haptoglobin (HPG) concentration in distance runners at control, post exercise and next morning (post 12hr).

	Control	Continuous run (15km)		Interval run (5,000m × 3)		Cross-country run (14km)	
		Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning
Fe ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	79.0 ±28.9	105.2 ±24.3	87.1 ±23.0	101.5 ±8.9	66.8 ^c ±9.2	110.0 ±33.9	71.6 ^a ±24.8
Ferritin (ng/ml)	46.6 ±15.4	50.9 ±18.0	49.7 ±16.8	52.4* ±16.9	49.7* ±17.1	51.9* ±18.8	44.1 ^c ±14.6
HPG (mg/dl)	76.3 ±59.2	65.5* ±53.5	69.8 ±55.0	57.3* ±48.3	57.5* ±42.2	57.4 ±40.7	65.4 ±44.2
Control vs Post ex. & Next morning					* P<0.05	* * P<0.01	* * * P<0.001
Post exercise. vs Next morning					a P<0.05	b P<0.01	c P<0.001
Continuous vs Interval & Cross-country					# P<0.05	# # P<0.01	# # # P<0.001

表-5 Mean values with standard deviation of serum lactate dehydrogenase, creatine kinase and creatine kinase-isozyme activity in distance runners at control, post exercise and next morning (post 12hr).

	Control	Continuous run (15km)		Interval run (5,000m × 3)		Cross-country run (14km)	
		Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning	Post ex.	Next morning
LDH (WU)	461 ±101	524* ±94	454 ^a ±89	609***## ±114	561* ±122	507* ±121	511* ±94
CK (U/l)	211 ±107	187 ±113	190 ±97	413** ## ±198	448** ±202	459** ## ±225	357* ±168
CK-MB (%)	4.7 ±3.1	5.0 ±2.6	8.8 ^a ±5.3	12.1* # ±8.2	14.7** ±8.6	8.7** # ±4.9	6.4* ±3.6
Control vs Post ex. & Next morning					* P<0.05	* * P<0.01	* * * P<0.001
Post exercise. vs Next morning					a P<0.05	b P<0.01	c P<0.001
Continuous vs Interval & Cross-country					# P<0.05	# # P<0.01	# # # P<0.001

また各トレーニング間で比較しても有意差はなかった。一方、インターバルおよびクロスカントリー走の翌朝値は、運動後値に比べ有意な減少を認めた。

血清フェリチン濃度は、コントロール値と比べてインターバル走およびクロスカントリー走後では有意な増加を示した。またインターバル走後値は、コントロール値に比べ依然として有意に高い水準のままであった。

血清 HPG 濃度は個人差が大きく、コントロール値において10~202mg/dlの範囲にあった。また、すでにコントロール値が正常範囲 (58~202 mg/dl) を下回った被験者が8名中5名に及んだ。トレーニング後 HPG 濃度は、コントロール

値に比較して持続走およびインターバル走後、有意に減少した。特にインターバル走後では全員減少し、その中6名が正常範囲を下回る低い HPG 濃度を示し、翌朝値においても依然として有意に減少したままであった。

D. 血清酵素活性

血清酵素活性の測定結果を表-5に示した。血清 LDH 活性はトレーニング後、いずれもコントロール値よりも有意に増加した。最も高い活性値を示したのはインターバル走後で、以下、持続走・クロスカントリー走の順である。トレーニング翌朝の LDH 活性は持続走後がほぼコントロールレベルに回復したのに対して、インターバル走およびクロスカントリー走後は、依然としてコント

ロール値に比べ有意に高い値を示した。血清 CK 活性は、コントロール値と比較して持続走後と翌朝値では有意差はないが、インターバル走およびクロスカントリー走後にはそれぞれ96%および119%と有意な増加 ($P<0.01$) を示した。また両トレーニングとも翌朝の CK 活性値は高いままであった。本研究に参加した長距離走者の血清 CK 活性はコントロール値でも $211 \pm 107 \text{ U/l}$ ($100 \sim 425 \text{ U/l}$) であり、いずれも成人の正常範囲 ($5 \sim 50 \text{ U/l}$) を大きく上回るものであった。

血清 CK-MB 値 (%) は総活性同様、持続走後では有意な変化を示さなかったが翌朝値で有意に増加した。インターバル走およびクロスカントリー走後の CK-MB 値は、いずれも持続走に比べ有意に高かった。インターバル走後の翌朝値は後値よりもさらに増加し、コントロール値およびインターバル走後値のいずれとも有意差が認められた。

E. 血清 MDA 濃度

血清 MDA 濃度はトレーニング後コントロール値に比べてすべて有意な増加を示した。最も高い増加を示したのはインターバル走後 (182%) であり、以下クロスカントリー走 (159%)・持続走 (129%) の順であった (表-3)。一方、回復翌朝値は3トレーニングとも運動後値に比べ有意な減少を示したが、インターバル走およびクロスカントリー走翌朝値は、なおコントロール値に比べると有意に高い MDA 値であった。

F. 尿検査

3種のトレーニング後全員が尿蛋白陽性であった。すなわち持続走後では、 ± 4 名 + 2 名 # 2 名であり、インターバル走後では ± 1 名 + 1 名 # 3 名 # 3 名であった。またクロスカントリー走後では、 ± 4 名 + 4 名であった。トレーニング翌朝の尿蛋白において、持続走およびクロスカントリー走後7名が $\pm$ であった。またインターバル走後は全員が $\pm$ であった。尿潜血は持続走後に1名、およびインターバル走後に別な1名が陽性であった。尿 pH はトレーニング翌朝に若干酸性化を示した。またケトン体・糖・ウロビリノーゲン陽性は認めていない。

G. 主観的調査

自覚的疲労調査のⅠ：身体的症状 Ⅱ：精神的症状およびⅢ：神経感覚的症状において、訴えの最も多かったのはインターバル走後であった。また第Ⅰ因子については翌朝に訴えが増加した。

大腿 (前部 後部 内側 外側 全体)・膝・下腿・前脛部・足首・脚全体・殿部・腰部・背部・肩・首および頭について、〈痛い〉〈重い〉および〈だるい〉を3段階の評定尺度による主観的評価を行った。その結果〈痛い〉についての訴えの頻度および評定尺度がより高いのは、インターバル走であり、以下クロスカントリー走および持続走の順であった。インターバル走後では〈痛い〉と訴えた者が最も多く、以下〈重い〉〈だるい〉の順であった。

2. 個人の相対的トレーニング強度と血液・生化学的応答との関係

トレーニングの相対的強度は、各被験者の5,000 mの個人最高記録の平均速度に対する、それぞれのトレーニングを実際に走った平均速度の割合を算出して求めた (表-1)。そして各人の相対的なトレーニング強度と血液・生化学的応答との関連を検討した。しかしクロスカントリー走は地形に変化があり、必ずしも平均速度が負荷強度を表わさない。従って、トレーニング強度の検討は平地で行った持続走とインターバル走とで行った。

トレーニング強度に対して有意な相関関係を示したのは Hb ($r=0.7195$ $P<0.01$)・CK ($r=0.7141$ $P<0.01$)・CK-MB ($r=0.6414$ $P<0.01$)・LDH ($r=0.5740$ $P<0.05$) および MDA ($r=0.5955$ $P<0.05$) であった。HPG はトレーニング強度と有意な相関関係は認められなかった ($r=-0.2589$)。図-1は Hb・HPG・CK および MDA とトレーニング強度との関係を示している。

翌朝値についても、前日のトレーニング強度と CK・CK-MB・LDH および MDA との間でさらに高い相関係数を観察した (図-2)。

3. トレーニング強度に対する血液・生化学検査値の個人変動

トレーニングに対する個人の負荷量を推測する

図-1 Relationships between relative intensity of training and post exercise Hb, HPG, CK and MDA values.

図-2 Relationships between relative intensity of training and next morning HPG, CK, CK-MB and MDA values.

図-3 Relationships between relative intensity of training and $\Delta\%$ of serum CK activity and MDA concentration in pre and post training (continuous & interval running).

図-4 Relationships between $\Delta\%$ of serum CK activity and MDA concentration in pre and post training (continuous & interval running).

血清 MDA 濃度および CK 活性の運動による変化分 ($\Delta\%$) と、各人の相対強度との間に有意な相関関係が認められた (図-3)。またこの両者の間にも有意な相関関係が見られた ($r = 0.8529$, $P < 0.01$) (図-4)。

考 察

本研究の対象となった被験者は5,000mの記録からみて、高度に鍛練された長距離ランナーである。彼らは1週間に1日の休息日を除いて毎日規則的にトレーニングを行っていた。また彼らは鉄剤等の投与を受けておらず、血液検査におけるコントロール値からみて1名 ($Hb: 13.8g/dl$) を除き、いずれも正常範囲内にあった。そして彼らは全員の大学の寮あるいは陸上競技部の合宿所に住んでおり、食事の大部分は学内の学生食堂で摂食していた。従って、彼らの生活習慣・食習慣はほぼ同様と考えることができる。

本研究で用いられたトレーニングは、持続走・インターバル走およびクロスカントリー走であり、これらは陸上競技長距離選手にとって一般的なトレーニングであった。各トレーニングの比較のため運動時間は約60分としたが、通常のトレーニング時間と大きく異なるものではなかった。3種類のトレーニングを平均速度から見れば、インターバル走が最も高い強度であった (表-1)。

血中乳酸濃度は、運動強度の増加に伴って指数関数的に増加する。本研究において運動時間はほぼ同じであったので、血中乳酸濃度の変化によって3つのトレーニングの強度を評価すると、インターバル走・持続走およびクロスカントリー走の順で高く、これは平均値として見れば各トレーニングの強度と密接に関連していることを示している。しかし、各個人の相対的トレーニング強度と血中乳酸濃度との間には有意な相関は見られなかった。このことはこれらのトレーニング強度が比較的高く、狭い範囲 (85~97%) であったためと考えられる。一方、血中乳酸の消却は速やかであり、いずれのトレーニングにおいても翌日まで

ために、血液・生化学検査値の運動前値と後値との変化を検討した。

運動の影響が残らなかった。著者ら²²⁾は150kmの自転車ロードレース前後、および翌日の血中乳酸濃度に同様な結果を観察している。

持久的競技者、特に長距離選手の低い Hb 濃度によって示される『運動性貧血』(Sports anemia)は多くの研究者によって報告されている^{1)~3)}。この運動性貧血をもたらす理由は(1)トレーニングによる血漿量の増加(血液希釈により粘性を低下させ、酸素輸送の効率を改善させる適応現象)(2)Hb 合成の減少または骨髓での赤血球生成の減少、あるいはその両方、そして(3)赤血球破壊(血管内溶血)の増加などが考えられている⁴⁾。なかでも血管内溶血が最近研究者の興味の対象となっている⁵⁾。身体運動による溶血についての説明としては(1)足の血管などに対する機械的刺激⁸⁾²³⁾(2)腎内圧の上昇による赤血球の傷害⁹⁾、および(3)リゾレシチンなどの溶血因子・代謝性アシドーシスなどの化学的刺激による赤血球浸透圧脆弱性の昂進などがあげられている²⁴⁾。これらの溶血により、発汗中²⁵⁾・尿中²⁶⁾および糞便中²⁷⁾に Hb あるいは鉄が失われ、運動性貧血を招来すると考えられている。血管内で溶血が起こり Hb が血漿中に入ると、速やかにハプトグロビン (HPG) と結合し、hapto-Hb complex を生成する。従って、HPG は血管内溶血の良い指標となる。Egan ら(1987)¹⁰⁾は8人の男性ランナーを対象にマラソンレース前後、および6時間後の血清 HPG 濃度を測定した。その結果、マラソンレースは HPG の有意な減少をもたらし、一過性の溶血が起こることを観察した。O'Toole ら(1988)⁹⁾は、2つの異なる距離のトライアスロンの前後で血清 HPG 濃度を測定し、かかるレース中に赤血球の破壊が起こることを認め、溶血の程度はそのレース距離に関連すると結論している。本研究においても、持続走およびインターバル走後に有意な HPG の減少を観察した。従って、日常のかかるトレーニングによりある程度の溶血が招来することは疑いがない。しかしその減少は14~25%の範囲であり、O'Toole らの研究の32%の減少には及ばない。本研究においては、運動時間を一定にトレーニング

強度を変えた。しかし、強度と HPG 濃度との間には有意な相関関係は見られなかった。これは被験者間の大きな個人差に由来するかも知れない。しかし、個々人のデータについての HPG および Hb 濃度のトレーニングに対する変化をみると、各個人についてはその傾向ははっきりとしているので、個人の負荷を伺い知るためには、HPG および Hb の測定は有用であると思われる。

本研究の8名の被験者の中、5名までがコントロール値で正常範囲を逸脱する低い HPG 濃度を示した。Dufaux ら(1981)²⁸⁾は西ドイツのナショナルチームに所属する中、長距離ランナー・ボート選手・プロの自転車選手、およびトレーニングを積んでいないコントロールを比較した。その結果、中・長距離選手はコントロールに比べて有意に低い血清 HPG、フェリチンおよび鉄濃度であったのに対して、ボート選手および自転車選手はコントロールと変わらなかった。低い HPG 濃度は規則的にトレーニングしているランナーにおいてはよく観察されることであり、ランニングによる溶血がその原因であるとしている。運動後の血清鉄濃度は有意ではないが、コントロール値よりも高い値を示した(表-4)。血清鉄は日内変動が大きく、一般に朝高く・夕方低い。本研究における運動後は夕方であり、この値の増加は日内変動による低下を上回る血液濃縮、あるいは溶血による血中への鉄の放出による可能性が考えられる。

血清フェリチン濃度は骨髓鉄と相関があり、身体の鉄貯蔵を反映し、特に低いフェリチン濃度を示す時はほとんどいつも鉄不足の結果と考えられる²⁹⁾。本研究のフェリチンレベルは Dufaux らの結果とほぼ同様であった。低い血清鉄・フェリチンおよび HPG 濃度は、被験者が潜在的には運動性貧血であることを伺わせる。従って、日常のトレーニングの強度あるいは時間が溶血に及ぼす影響を知るとは、選手の健康管理および競技力向上のために重要である。トレーニングプログラムがかかる客観的指標に基づき作成されることが大切である。

近年、運動と活性酸素による細胞膜の傷害との

関係が注目されている³⁰⁾。Kanter ら (1988)¹⁷⁾は80 km レース前後の血清 MDA 濃度, CK および LDH 活性を測定し, レース後3者の値が安静値よりも有意に高く, また, 運動後の血清 MDA 濃度と酵素活性との間には高い相関関係があり, 運動による筋組織傷害と脂質過酸化反応とが密接な関連があると結論している。

マラソン・100km レースなどの長時間激運動後, 血清中の酵素特に CK・LDH および CK-MB 活性の顕著な増加が観察されている^{31)~33)}。同時に, 組織化学的手法を用いてマラソン走後のランナーの骨格筋組織に壊死や炎症の存在することが証明されている³⁴⁾³⁵⁾。CK のアイソザイムのうち CK-MB は骨格筋あるいは心筋傷害を評価する良い指標である。多くの研究者達は運動による CK-MB の上昇は, 心筋ではなく骨格筋由来であるとしている。本研究において, CK および CK-MB 活性はインターバル走およびクロスカントリー走後に有意な増加を示した (表-5)。また, 持続走およびインターバル走における各個人の相対的強度に対して有意な相関を示した (図-1)。さらに, 翌朝の値においても同様な相関関係を見いだした (図-2)。激しい運動後の CK 活性は12時間から24時間後にピークとなり, これが運動後に遅れて生じる筋痛 (Delayed-onset muscular soreness ; DOMS) と密接な関係があると言われている³⁶⁾³⁷⁾。Schwane ら (1983)³⁸⁾は平地に比べ, 下り坂のランニング後24時間の CK 活性において有意に高いことを観察し, これが主観的な筋痛とよく関連していることを報告した。本研究においても, CK および CK-MB は, 起伏のあるコースを走ったクロスカントリー走の方が持続走よりも有意に高い値を示した。また, 主観的な疲労および筋痛の訴えについても同様であった。インターバル走はクロスカントリー走と同じか, あるいはより多くの酵素活性の増加を示した。特に翌朝値が運動後値よりもさらに増加したことから, 筋肉傷害はインターバル走が最も顕著であり, 運動強度に依存することは明らかである。

血清酵素活性と同様な変化を示したのが血清

MDA 濃度であった。いずれのトレーニングに対しても, 有意な増加を示すばかりではなく, トレーニングの相対的強度に対しても有意な相関関係を示した。また, トレーニングに対する個人の変化について血清 MDA 濃度は CK 活性と有意に相関した (図-4)。従って, 血清 MDA 値は CK や CK-MB・LDH などと同様, 運動強度に依存し筋組織傷害を始めとする個人の負荷量を評価することができる指標である。さらに CK や CK-MB が運動後12~24時間遅れて増加することを考慮すれば, 日常のトレーニングの生体への負荷をチェックする項目として, 血清 MDA 濃度が適していると考えられる。

結 論

長距離ランナーの RBC・WBC・Hct・Hb, 血中乳酸・血清鉄・フェリチン・HPG・CK・CK-MB・LDH, および MDA などを測定し, 個人別の運動負荷量と比較検討した。

成績は集団としてまとめた時, トレーニング後 HPG は減少, 他の検査値は増加し, トレーニングの種類による差を観察した。

日常トレーニングにより筋組織傷害および脂質過酸化反応の昂進を示す成績を得た。また, これらの反応は個人のトレーニング強度と密接に関係することを認めた。

トレーニング後の個人負荷量を客観的に把握し, トレーニングプログラムに反映させるための指標として血清 MDA 濃度の有用性が示唆された。

稿を終えるに当たり, ご指導・ご校閲を賜った臨床病理学林 康之教授に深甚なる謝意を表します。併せて, 本研究にご協力頂いた運動学第1 沢木啓祐助教授および被験者の諸兄に深謝致します。

文 献

- 1) Hunding, A., Jordal, R. and Pulev, P.: Runners anemia and iron deficiency. Acta Med. Scand., 209: 315~318, 1981

- 2) De Wijn, J.F., *et al.*: Haemoglobin, packed cell volume, serum iron and iron binding capacity of selected athletes during training. *J. Sports Med.*, **11** : 42~51, 1971
- 3) Balaban, E.P., *et al.*: The frequency of anemia and iron deficiency in the runner. *Med. Sci. Sports*, **21** : 643~648, 1989
- 4) Pate, R.R.: Sports anemia : a review of the current research literature. *Phys. Sportsmed.*, **11** : 115~126, 1983
- 5) Eichner, E.: The anemias of athletes. *Phys. Sportsmed.*, **14** : 122~130, 1986
- 6) Ehn, L., Carlmark, B. and Hoglund, S.: Iron status in athletes involved in intense physical activity. *Med. Sci. Sports*, **12** : 61~64, 1980
- 7) Dickson, D.N., Wilkinson, R.L. and Noakes, T.D.: Effects of ultramarathon training and racing on hematologic parameters and serum ferritin levels in well-trained athletes. *Int. J. Sports Med.*, **3** : 111~117, 1982
- 8) Miller, B.J., Pate, R.R. and Burgess, W.: Foot impact force and intravascular hemolysis during distance running. *Int. J. Sports Med.*, **9** : 56~60, 1988
- 9) O'Toole, M.L., *et al.*: Hemolysis during triathlon races : its relation to race distance. *Med. Sci. Sports*, **20** : 272~275, 1988
- 10) Egan, L.M., Watts, P.B. and Silta, B.C.: Changes in serum haptoglobin as an acute response to a marathon road race. *J. Sports Sci.*, **5** : 55~60, 1987
- 11) Siegel, A.J., *et al.*: Elevated skeletal muscle creatine kinase MB isoenzyme levels in marathon runners. *JAMA*, **250** : 2835~2837, 1983
- 12) Haibach, H. and Hosler, M.W.: Serum creatine kinase in marathon runners. *Experientia*, **41** : 39~41, 1985
- 13) Noakes, T.D., *et al.*: Elevated serum creatine kinase MB and creatine kinase BB-isoenzyme fractions after ultra-marathon running. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52** : 75~79, 1983
- 14) Del Maestro, R.F., *et al.*: Free radicals as mediators of tissue injury. *Acta Physiol. Scand.*, suppl, **492** : 43~57, 1980
- 15) Salminen, A. and Vihko, V.: Lipid peroxidation in exercise myopathy. *Exp. Mole. Pathol.*, **38** : 380~388, 1983
- 16) Davies, K.J.A., *et al.*: Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **107** : 1198~1205, 1982
- 17) Kanter, M.M., *et al.*: Serum creatine kinase and lactate dehydrogenase changes following an eighty kilometer race. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **57** : 60~63, 1988
- 18) 佐藤和昭他 : 蛍光測定による新しいメソッド "REA CHEMISTRY" の基礎的検討. 臨床検査機器・試薬, **9** : 901, 1986
- 19) Allain, C.C. *et al.*: Rapid single-step kinetic colorimetric assay for lactate dehydrogenase in serum. *Clin. Chem.*, **19** : 223~227, 1973
- 20) Babson, A.L. and G.E. Phillips : A rapid colorimetric assay for serum lactic dehydrogenase. *Clin. Chim. Acta*, **12** : 210~215, 1965
- 21) 内山 充 : 過酸化脂質. 代謝, **13** : 153~155, 1976
- 22) 高岡郁夫, 青木純一郎, 村岡 功 : 自転車競技選手の150kmロードレースに対するレース前の食事と生理—生化学的応答. 体力科学, **34** : 369, 1985
- 23) Falsetti, H.L., *et al.*: Hematological variations after endurance running with hard and soft-soled running shoes. *Phys. Sportsmed.*, **11** : 118~127, 1983
- 24) 弘 卓三 : 代謝性 acidosis による赤血球浸透圧脆弱性の研究. 体力科学, **31** : 279~290, 1982
- 25) Lamanca, J.J., *et al.*: Sweat iron loss of male and female runners during exercise. *Int. J. Sports Med.*, **9** : 52~55, 1988
- 26) Siegel, A.J., *et al.*: Exercise-related hematuria. *JAMA*, **26** : 391~392, 1979
- 27) Stewart, J.G., *et al.*: Gastrointestinal blood loss and anemia in runners. *Ann. Int. Med.*, **100** : 843~845, 1984
- 28) Dufaux, B., *et al.*: Serum ferritin, transferrin, haptoglobin, and iron in middle- and long-distance runners, elite rowers, and professional racing cyclists. *Int. J. Sports Med.*, **2** : 43~46, 1981

- 29) Wishnitzer, R., Vorst, E. and Berrebi, A.: Bone marrow iron depression in competitive distance runners. *Int. J. Sports Med.*, **4** : 27~30, 1983
- 30) Jenkins, R.R.: Free radical chemistry. *Sports Med.*, **5** : 156~170, 1988
- 31) Rogers, M.A., Stull, G.A. and Apple, F.S.: Creatine kinase isoenzyme activities in men and women following a marathon race. *Med. Sci. Sports Exer.*, **17** : 679~682, 1985
- 32) Siegel, A.J., *et al.*: Creatine kinase elevations in marathon runners : relationship to training and competition. *Yale J. Biol. Med.*, **53** : 275~279, 1980
- 33) Siegel, A.J., Silverman, L.M., and Holman, B. L.: Elevated creatine kinase MB isoenzyme levels in marathon runners. *JAMA*, **246** : 2049~2051, 1981
- 34) Hikida, R., *et al.*: Muscle fiber necrosis associated with human marathon runners. *J. Neurol. Sci.*, **59** : 185~203, 1983
- 35) Hagerman, F.C., *et al.*: Muscle damage in marathon runners. *Phys. Sportsmed.*, **12** : 39~48, 1984
- 36) Schwane, J.A., Williams, J.S. and Sloan, J. H.: Effects of training on delayed muscle soreness and serum creatine kinase activity after running. *Med. Sci. Sports*, **19** : 584~590, 1987
- 37) Armstrong, R. B.: Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness : a brief review. *Med. Sci. Sports*, **16** : 529~538, 1984
- 38) Schwane, J.A., *et al.*: Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Med. Sci. Sports*, **15** : 51~56, 1983

尿沈渣鏡検の重要性

尿検査は、内科をはじめ他科疾患の早期診断につながる検査法の一つであることはいままでもない。現在では、尿一般検査は試験紙で測定されることが多く、日常臨床の場で広く活用されている。しかし、試験紙の保存や扱いミス、また、尿の条件などでの判定保留や、科学的検査と不一致のことを屢々経験する。とくに顕微鏡的血尿の検出は、尿試験紙検査潜血反応の陽性例では鏡検されるが、陰性時には放置されがちである。最近、尿沈渣鏡検が診断の一助になった症例を述べる。

症例は77歳の男性で某学校法人の理事長である。糖尿病・高血圧症・冠動脈硬化症にて10数年来、月2回の診察・血圧測定・尿一般検査・空腹時血糖値測定、月1回のHbA_{1c}検査、3ヶ月1回の心電図検査・一般血液生化学検査などで経過観察し、通院・加療していた。尿沈渣鏡検で、1視野赤血球2~3ヶで正常範囲で経過していたが、平成3年5月より1視野赤血球10~20ヶとなり、7月には赤血球を多数認めた。導尿尿培養で菌陰性であり、泌尿器科への受診をすすめるも応ぜず、10月に家族の協力をえて説得し、某大学の泌尿器科を受診させた。精密検査で尿道腫瘍と診断され、平成4年1月はじめ手術された。当クリニック受診中、

尿の試験紙による潜血反応はつねに陰性であった。

試験紙による尿検査は、現在単一項目から同時に最高10項目余まで測定できる製品まで多種発売され、一般に腎・泌尿器疾患が疑われないかぎり、尿沈渣鏡検はなされていないのが現況である。尿試験紙の潜血反応に、果物・野菜・ジュースに含まれるアスコルビン酸が深く干渉することは衆知されているが、攝取後の血中濃度が4~6時間で最高値に達し、9時間後に攝取前値に復することは知られていない。試験紙に改良が加えられているが、実際、現在の食生活からアスコルビン酸の含有食品を除くことは不可能に近い。また、フルクトース・ラクトース・ガラクトース・キシロース・サルチル酸など尿中に排泄される還元性物質も尿潜血反応に影響する。

試験紙による尿一般検査は疾病の諸々の情報を提供してくれる優れた簡便法であるが、過信せず有意義に判断していかねばならない。あわせて尿沈渣標本作成及び鏡検などの煩わしさと、それに相応しない保険点数の評価があるにしても、最前線の内科開業医は初診時には勿論のこと、慢性疾患経過観察中は月に最低1回はおこなう必要がある。

(お茶の水相互クリニック 森近 浩)

Original paper

Summary

**The estimation of individual demand for various distance
training from the viewpoint of blood and biochemical analysis**
—with reference to muscle tissue damage and lipid peroxidation—

The effects of daily training on muscle tissue damage, intravasacular hemolysis and lipid peroxidation were determined in 8 long distance runners. The training consisted of 1) continuous running covering 15km on the road, 2) three sets of 5,000m-interval running followed by 6-minute jogging, and 3) cross-country running covering 14 km on the undulating golf course. The duration of each training session was approximately 60 minutes.

Blood samples were drawn from the long distance runners at rest early in the morning, several minutes after each training and the next morning. Serum HPG concentrations were significantly lower than the control values ($76.3 \pm 59.2 \text{ mg/dl}$) after the post-continuous and interval running (65.5 ± 53.5 and $53.0 \pm 47.3 \text{ mg/dl}$, respectively). All post training values of serum MDA concentrations were significantly increased from the resting-time values. Significant increases were noted in post-training CK and CK-MB activities except after continuous running. Serum MDA and CK activities were significantly correlated with the relative intensity of training. In addition, the variables of individual changes were significantly correlated with each other. Taking into account the slower time course of CK activity, the serum MDA concentration was considered to be useful as an objective indicator for evaluating the individual demand for training.

Key words : lipid peroxidation, muscle tissue damage, hemolysis, training

IKUO TAKAOKA, M.H.P.E

*Department of Exercise Physiology, Juntendo
University School of Physical Education, Chiba, Japan*