

昭和60年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.VI スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究

—第1報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会



# 昭和60年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No.VI スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究

### —第1報—

報告者 (財) 日本体育協会研究プロジェクトチーム  
＝スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究班＝

班 長 小林 修平<sup>1)</sup>

班 員 真田 宏夫<sup>1)</sup> 高橋 徹三<sup>2)</sup> 長嶺 晋吉<sup>3)</sup>  
福湯 博保<sup>4)</sup> 村岡 功<sup>5)</sup>

担当研究員 雨宮 輝也 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所)

#### I 研究要約

スポーツ選手は一般人に較べどのていどビタミンを必要とするかについては、欧米選手を中心にビタミン剤を多量に摂取する傾向が指摘されつつも、なお不明な点が多い。本研究はとくに運動との関係が深いビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、Cを中心とした水溶性ビタミン、ならびに最近注目をあつめているビタミンEをとりあげ、次の2つの視点から研究をすすめた。

第一は種々の運動負荷状態における体液中のビタミンの応答状況を観察し、供給ビタミン量との関係から、ビタミンの必要量を推定するもので、主としてトレーニング中の潜在的ビタミン欠乏状態を防ぎ、選手のトレーニング効果を高め、かつ健康維持に寄与しようとするものである。第二は、多量のビタミン投与が果して競技能力向上に資するものかどうかということである。内外の多くの研究はどちらかという栄養所要量のレベルをこえてビタミンを摂取することが競技成績向上をも

たらさないとするものが多いが、運動負荷条件のちがいにより、ポジティブな効果をもたらし可能性があり、この点について検討をすすめることとした。

全体の研究結果を要約すると以下のとおりである。なお(1)、(2)、および(3)～(5)はそれぞれ共通の被験者群により協力体勢のもと実験を実施した。

(1) ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C代謝に及ぼす運動の影響  
規定食によって供給栄養量を一定とした被験者に一過性の運動を負荷し、血液及び尿中各ビタミンの応答状況を検討した。中等度の強度の運動の短時間一回負荷では血液中ビタミンB<sub>2</sub>及C濃度の上昇、尿中ビタミンB<sub>2</sub>排泄量の増加がみられた。中等度強度のものと同激運動を一定間隔で各1回負荷した場合は、ビタミンB<sub>1</sub>およびCの血液濃度は有意な上昇をみた。尿中排泄はB<sub>1</sub>は抑制、B<sub>2</sub>は促進傾向、その後の回復期はいずれについても著明な減少がみられた。なお負荷方法を変化させ検討中であるが、少なくとも上記条件では各ビタミンが欠乏状態という結果は見られなかった。

(2) 運動負荷によるビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>栄養状態の変化

(1)の被験者について、身体内のビタミンB<sub>1</sub>及びB<sub>2</sub>の充足状況の指標とされる赤血球トランスケ

1) 国立栄養研究所 2) 筑波大学体育科学系 3) 大妻女子大学 4) お茶の水女子大学 5) 早稲田大学教育学部

トラーゼ活性 (TKA) とそれに対する TPP 効果, 及びグルタチオンレダクターゼ活性とそれに対する FAD 効果 (EGRAC) で評価した。短時間の運動負荷ではこれらの値に変化はみられなかったが, 長期に運動が延びるにしたがって, これらの値が欠乏側に偏って来る傾向がみられ, 長時間の運動負荷ほどビタミン B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> の要求量が増加する可能性がみられた。しかしおそらく既知の所要量レベルは越えない程度と推察された。

(3) 正常及び低酸素分圧条件下におけるパフォーマンス,  $\dot{V}O_{2max}$ ならびに乳酸性閾値に及ぼすビタミン E の影響

大学漕艇部員を被験者として, ビタミン E 1 日 300mg を投与し, 対照被験者には偽薬を与え, 38 日間継続し, 正常及び低酸素分圧 (海拔 1800~2000 m に相当するもの) 下に自転車エルゴメーターによる運動負荷を行なったが, いずれの条件下でもパフォーマンス,  $\dot{V}O_{2max}$ , 乳酸性閾値とも対照群と実験群の間に有意の差はみられなかった。したがって, この投与条件及び比較的短時間で終了する本実験のような負荷条件では, ビタミン E 投与の効果は否定されたものと考えられる。

(4) 食物摂取状態調査及び血液生化学検査からみたスポーツ選手のビタミン栄養状態評価

(3) とほぼ共通の被験者を用い, 合宿トレーニング中の栄養素摂取状況を 3 日間の食事調査に基づいて分析したが, 平均的摂取量は, ビタミン A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, ナイアシンについてすべて所要量レベルに達していた。たん白質摂取量及び摂取エネ

ルギー構成比もほぼ望ましいとされている量であったが, 個人ではビタミン B<sub>2</sub> に所要量未満のものが約 50% にみられた。(2) で用いた方法と同様の血液生化学的手法で, 身体内のビタミン B<sub>1</sub> 及び B<sub>2</sub> の充足状況をみたところ, B<sub>1</sub> については 79%, B<sub>2</sub> については 50% という高率で欠乏傾向のものがみられた。とくに B<sub>1</sub> については, 摂取量が十分所要量を満たしていることから所要量について再検討する必要が示唆された。

(5) ビタミン E 所要量の運動による変化

ラットに対し, 水泳による運動負荷を加えたところ, 肝臓に組織毒である過酸化脂質の蓄積をみたが, これはビタミン E を予め投与することにより予防しうるのみでなく, 逆に低下がおこることを認めた。また, ラットの水泳訓練によるトレーニング効果が肝臓過酸化脂質に及ぼす影響をみたところ, ビタミン E 欠乏群では過酸化脂質レベルに殆んど影響しなかったが, ビタミン E 投与群ではトレーニングによる過酸化脂質の低下が明らかに観察された。

一方, (3) の研究と共通の被験者について, ビタミン E 300mg 投与群と偽薬群に対する運動負荷後, 血漿ビタミン E 濃度と体内過酸化脂質レベルの反映とされる呼気中のペンタン量を分析したところ, 両者の間に有意な負の相関が得られた。呼気中のペンタンは, 運動負荷による体内過酸化脂質レベルとビタミン E の存在状態にかかわる指標となりうることを示唆された。

# I ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C代謝に及ぼす運動の影響(第1報)

執筆者 高橋 徹 三\*

研究協力者 山田 哲 雄\* 高松 博 幸\*

桜井 清\* 村松 成 司\*\*

運動とビタミン必要量に関しては、エネルギー発生との関連で、ビタミンB群とくにB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>に関する研究がみられ、日本人の栄養所要量<sup>1)</sup>においても、米国の推奨栄養所要量(RDA)<sup>2)</sup>はじめ多くの国においても、摂取エネルギー1000kcal当たりの基準量が用いられている。ビタミンB群のみならず、ビタミンC, Eなどのビタミン類も含め、ビタミンと運動との関係、とくに運動能力との関係については古くから関心もたれ、多くの研究が行われており、Williamsをはじめとするいくつかの総説<sup>3)-6)</sup>がある。また、実際に多くのスポーツ選手がビタミンの補足を行っていることが報告されている<sup>7)</sup>。しかし、スポーツ選手のビタミン要求量についての研究は比較的少なく、ソ連<sup>8)</sup>、ドイツ<sup>9)</sup>で示されている数値も、科学的根拠が明確でない。ビタミン要求量の検討に当たっては、基本的にはビタミン代謝に及ぼす運動の影響について検討する必要があるが、その際、運動の質、強度、時間、頻度、期間などの運動に関する条件、ビタ

ミンをはじめとする栄養素の摂取量、摂取時期などの栄養に関する条件の2つの実験条件を十分に考慮しなければならない。

そこで、本研究では、これらの実験条件を規定し、ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C代謝に及ぼす運動の影響を、運動の一過性の影響(第1実験, 第2実験)、連日の運動の影響(第3実験)の両面から総合的に検討することにした。今回は、分析を終了した第1実験および第2実験1回目の結果について報告する。

## 方 法

### 〔第1実験〕

健康な成人男子5名(表-1)を被験者とし、7日間の実験を行った。実験日程を図-1に示した。被験者には、実験第1日目から第3日目までは生活を規制せず、自由食を摂取させ同時にビタミン剤(パンビタン100:武田薬品,表-2)2錠/日を投与し、実験第4日目から第7日目までは激

表-1. 被験者の身体特性(第1実験)

被験者	性	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)	最大酸素摂取量 (l/min.)	最大酸素摂取量 (ml/kg/min.)	スポーツ 種目
A	男	22	173	67.6	3.625	53.6	硬式野球
B	"	21	177	60.3	3.637	60.3	軟式庭球
C	"	22	174	85.7	2.981	34.8	硬式野球
D	"	21	172	82.2	3.251	39.5	硬式野球
E	"	24	175	61.7	3.426	55.5	バドミントン
平均値		22.0	174.2	71.5	3.384	48.7	
±標準偏差		±1.2	±1.9	±11.8	±0.276	11.0	

\*筑波大学体育科学系 \*\*千葉大学教養部

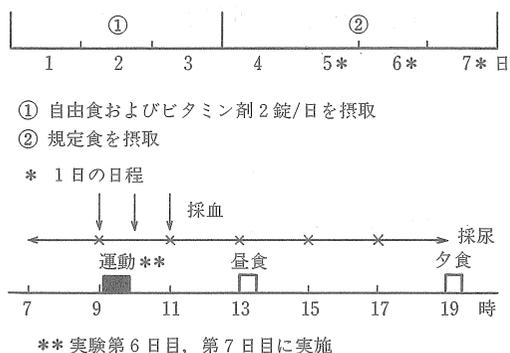


図-1 実験日程 (第1実験)

表-2. ビタミン剤の組成(2錠中)

パルミチン酸レチノール	2,000IU
エルゴカルシフェロール	200IU
フルスルチアミン	10mg
リボフラビン	4mg
塩酸ピリドキシン	6mg
ニコチン酸アミド	50mg
シアノコバラミン	10 $\mu$ g
アスコルビン酸	150mg
酢酸トコフェロール	10mg
パントテン酸カルシウム	30mg

表-3. 実験食の組成(第1実験)

	エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物		ビタミン				
				糖質 (g)	繊維 (g)	A効力 (IU)	B <sub>1</sub> (mg)	B <sub>2</sub> (mg)	ナイアシン (mg)	C (mg)
昼食	1,195 ±64	42.9 ±2.1	55.7 ±0.9	126.9 ±11.8	0.3 ±0.1	1,755 ±0	0.37 ±0.02	0.47 ±0.02	4.4 ±0.2	9 ±0
夕食	1,548 ±127	73.4 ±2.4	41.2 ±0.5	205.9 ±27.0	2.8 ±0.1	504 ±0	2.65 ±0.04	0.84 ±0.01	18.2 ±0.5	39 ±0
昼食+夕食	2,743 ±164	116.3 ±3.8	96.9 ±1.2	332.7 ±33.6	3.0 ±0.2	2,259 ±0	3.02 ±0.05	1.30 ±0.03	22.6 ±0.6	48 ±0

四訂日本食品成分表に基づく計算値。平均値±標準偏差(n=5)

用いた食品

昼食：食パン、マーガリン、ポロニアソーセージ、プロセスチーズ、インスタントコーヒー、上白糖、イオン交換水200ml

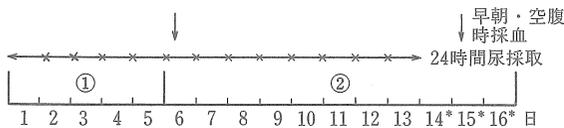
夕食：精白米、豚ロース(脂身なし)、鶏卵、赤色辛みそ、絹ごし豆腐、梅干し、玉ねぎ、トマト、キャベツ、食塩、イオン交換水一定量

しい運動を禁じた以外は日常生活を行わせ、規定食(表-3)を昼食時(13時~13時30分)および夕食時(19時~19時30分)に摂取させた。昼食については、均質な食品を被験者ごとに調理することによって、摂取量に誤差が生じないように特に配慮した。

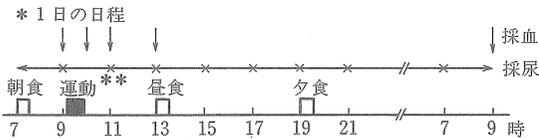
実験第5日目(対照実験日：以後対照日と略)には、9時から11時まで1時間ごとに肘正中皮静脈より血液を採取し、また、7時から19時までの2時間ごとの尿を採取した。実験第6日および第7日目には、対照日の日程の他に、予め測定された各被験者の最大酸素摂取量の60%(第6日目)および80%(第7日目)を目標強度とした自転車

エルゴメーターによる20分間(60回転/分)の運動を、5分間の休息をはさんで9時10分から2回負荷した(以後第6日目を60%運動日、第7日目を80%運動日と略)。運動中は心拍数を胸部双極誘導心電図より求め、運動中および運動後の回復期(55分間)には酸素摂取量をダグラスバッグ法により測定した。

血液および尿中成分については、全血中および尿中ビタミンB<sub>1</sub>(チオクローム蛍光法)、ビタミンB<sub>2</sub>(ルミフラビン蛍光法)、ビタミンC(2・4-ジニトロフェニルヒドラジン法)、クレアチニン(Folin-Wu法)の他に血中乳酸(UV法)、血糖(酵素法)、血清遊離脂肪酸(抽出法)および尿素窒素



- ① 主として日常食品により構成される規定食およびビタミン剤3錠/日を摂取
- ② ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>およびCをほとんど含まない規定食および所要量のビタミン混合を摂取



\*\*実験第15日目, 第16日目に実施

図一 2 実験日程 (第2実験 1回目)

(GIDH 法)などを測定した。

〔第2実験 1回目〕

健康な成人男子5名(表一4)を被験者とし、16日間の実験を行った。実験日程を図一2に示した。被験者には、実験期間中激しい運動を禁じた以外は日常生活を行わせ、実験食を朝食時(7時~7時30分)、昼食時(13時~13時30分)および夕食時(19時~19時30分)に摂取させた。なお、実験第1日目から第5日目までは調整期として、主として日常食品により構成される規定食を摂取させ同時に前述のビタミン剤3錠/日を投与したが、第6日目から第16日目まではビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, Cをほとんど含まない実験食を摂取させ、ビタミンは日本人の栄養所要量のB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ナイアシン, Cと米国の推奨栄養所要量(RDA)のB<sub>6</sub>, 葉酸, B<sub>12</sub>, パントテン酸を含むビタミン混合を夕食時

に服用させた。実験食の組成を表一5に示した。

実験第6日目および第15日目の早朝・空腹時には採血を、第1日目から第13日目までは24時間単位で採尿を実施した。

実験第14日目(対照実験日:以後対照日と略)には、9, 10, 11および13時に採血を実施し、また、7時から21時までの2時間ごとの尿および21時から翌朝7時までの10時間尿を採取した。実験第15日目および第16日目には、対照日の日程の他に、第1実験と同じ方法により運動を負荷し(以後第15日目を60%運動日、第16日目を80%運動日と略)、さらに80%運動日の翌日には9時に採血を実施し、7時から9時までの2時間尿を採取した。

血液および尿中成分の測定項目は第1実験と同様であり、得られた結果のうち全血中および尿中ビタミンB<sub>1</sub>, ビタミンB<sub>2</sub>, ビタミンCの結果について報告する。

### 結果と考察

〔第1実験〕

運動時の心拍数を図一3に、作業量、酸素摂取量、呼吸商を表一6に示した。心拍数は、運動中の全ての時点で60%運動日に比べ80%運動日では有意に高値を示し、運動終了時には60%運動日では161±8拍/分(平均値±標準偏差)、80%運動日では177±5拍/分であった。作業量も、運動前半20分間、後半20分間、これらを合わせた前・後半40分間のいずれにおいても60%運動日に比べ80%運動日では有意に高値を示した。酸素摂取量は、運動前半20分間、前・後半40分間において60%運動

表一4. 被験者の身体特性(第2実験 1回目)

被験者	性	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	最大酸素摂取量		スポーツ 種目
					(ml/min.)	(ml/kg/min.)	
F	男	30	170	65.3	2.513	38.5	—
G	〃	25	171	75.2	3.487	46.4	ラグビー
H	〃	29	177	61.1	2.917	47.7	陸上(跳躍)
I	〃	23	177	65.7	2.533	38.6	陸上(跳躍)
J	〃	22	171	71.0	2.957	41.6	ラグビー
平均値		25.8	173.2	67.7	2.881	42.6	
±標準偏差		±3.6	±3.5	±5.5	±0.397	±4.3	

表-5. 実験食の組成(第2実験1回目)

	エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物		ビタミン 混合*	ミネラル 混合**	ベーキング パウダー***	カルボキシメ チルセルロー スナトリウム (g)
				糖質 (g)	繊維 (g)				
朝食	570 ±5	8.7 ±0.7	23.0 ±0.3	82.4 ±0.2	0	0	0	0	0
昼食	1,208 ±118	8.9 ±0.7	30.6 ±3.3	224.6 ±21.7	0.1 ±0	0	0	6.5 ±4.2	2.2 ±0.3
夕食	1,208 ±118	8.9 ±0.7	30.6 ±3.3	224.6 ±21.7	0.1 ±0	0.5	10	6.5 ±4.2	2.2 ±0.3
合計	2,986 ±242	26.4 ±2.0	84.0 ±6.8	531.7 ±43.8	0.2 ±0	0.5	10	13.0 ±8.4	4.4 ±0.5

四訂日本食品標準成分表に基く計算値, 平均値±標準偏差(n=5)。

\*: 0.5g中に, ビタミンB<sub>1</sub>(塩酸塩として)1.0mg, ビタミンB<sub>2</sub>1.4mg, ビタミンC50mg, ナイアシン(ニコチン酸アミドとして)17mg, 塩酸ピリドキシン3.0mg, 葉酸0.4mg, ビタミンB<sub>12</sub>0.003mg, パントテン酸カルシウム10mgを含有, ビタミンB<sub>1</sub>, ビタミンB<sub>2</sub>, ビタミンC, ナイアシンについては第3次改定日本人の栄養所要量(20歳代男子, 生活活動強度II(中等度))に準じ, その他については米国における1人1日当たり推奨栄養所要量(1980年, 23~50歳)に準じた。なお, この他にビタミンA5,000単位/日, 酢酸トコフェロール50mg/日を錠剤で摂取させた。

\*\* : 10g中に, CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O2g, CaCO<sub>3</sub>0.9g, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>2g, KHCO<sub>3</sub>3.5g, MgO0.6g, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O60mg, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O3mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O8mg, ZnCl<sub>2</sub>5mg, KI0.2mg, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O0.2mg, Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·15H<sub>2</sub>O1mg, AlK(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O30mg, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>0.008mg.を含有。

\*\*\* : 10g中に, KHCO<sub>3</sub>2.5g, クエン酸1.6g, コーンスターチ5.9gを含有。

用いた食品: コーンスターチ, 上白糖, マーガリン, コーンオイル, ショートニング, 大豆ソーセージ, しょうゆ(こいくち), 梅干し(ペースト状), 麦茶(朝食500ml, 昼食500ml, 夕食以降1,000ml, 計2,000ml)。

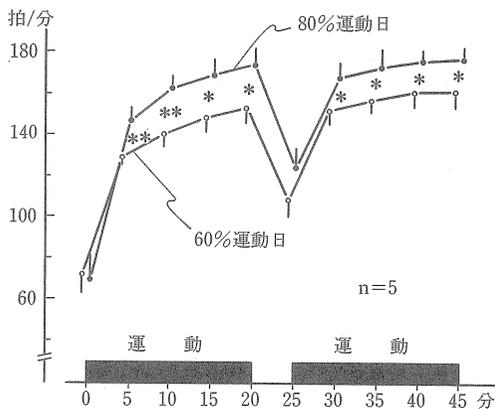


図-3 運動時の心拍数(第1実験)  
平均値±標準偏差。\*: P<0.05,  
\*\* : P<0.01 (60%運動日と80%  
運動日との比較)。

日に比べ80%運動日で有意に高値を示し, 最大酸素摂取量に対する運動中の実際の酸素摂取量の比率は, 60%運動日では運動前半20分間で60.8±3.0%, 後半20分間で63.8±4.1%, 前・後半40分間で62.3±3.4%であり, 80%運動日では運動前半20分間で74.3±3.0%, 後半20分間で69.0±5.0%, 前・後半40分間で71.6±3.8%であった。酸素摂取量が80%運動日で運動後半に低下したが, これは被験者が疲労困憊に陥ったために負荷を軽減せざるを得なかったためである。呼吸商は, 60%運動日に比べ80%運動日で運動前半20分間では有意に高値を, 運動後の回復期55分間では低値傾向(P<0.1)を示した。

血中乳酸, 血糖, 血清遊離脂肪酸および尿素窒素値の経時変化を表-7に示した。血中乳酸は, 運動直後(10時)に両運動日ともに運動前(9時)

表-6. 運動時の作業量, 酸素摂取量および呼吸商(第1実験)

		運動前半 20分間	運動後半 20分間	前・後半 40分間	回復期 55分間
作業量 (kpm)	60%運動日	17,190 ±1,572	16,920 ±1,610	34,110 ±3,124	—
	80%運動日	21,906*** ±1,760	18,999** ±2,107	40,905*** ±3,846	—
酸素摂取量 (l/min.)	60%運動日	2.058 ±0.208	2.158 ±0.216	2.108 ±0.209	0.388 ±0.023
	80%運動日	2.513*** ±0.205	2.329 ±0.187	2.422** ±0.185	0.429** ±0.023
呼吸商	60%運動日	0.96 ±0.02	0.91 ±0.02	0.93 ±0.02	0.82 ±0.03
	80%運動日	0.99* ±0.02	0.90 ±0.01	0.94 ±0.02	0.79 ±0.03

平均値±標準偏差(n=5). \* : p<0.05 \*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001  
(60%運動日との比較).

に比べ有意に上昇し, 対照日より有意に高値を示した。両運動日間の比較では60%運動日に比べ80%運動日で高値傾向(p<0.1)を示した。血糖も, 運動直後に60%運動日で有意に上昇して対照日に比べ有意に高値を示し, 80%運動日でも上昇傾向(p<0.1)を示した。一方, 血清遊離脂肪酸は, 運動直後に80%運動日で全例で上昇したが, 偏差が大きく運動前に比べて有意差はなかった(p<0.1)。しかし, 対照日より有意に高値を示した。80%運動日では運動1時間後(11時)にも対照日および60%運動日より高値傾向(p<0.1)を示した。血清尿素窒素は, 運動1時間後に80%運動日で有意に上昇して対照日(血清尿素窒素が同時刻に有意に低下した)に比べ有意に高値を示した。

以上の心拍数, 作業量, 酸素摂取量, 呼吸商, 血中乳酸, 血糖, 血清遊離脂肪酸および尿素窒素の結果を総合すると, 60%運動日に比べ80%運動日ではカテコールアミンの分泌が高まっており生体負担度が大であったことが推察される。

全血中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C濃度の経時変化を表-8に示した。全血中ビタミンB<sub>1</sub>濃度は, 3実験

日のいずれにおいても9時を基準とした場合に有意な変化を示さなかった。全血中ビタミンB<sub>2</sub>濃度は, 9時を基準とした場合に対照日では有意な変化を示さなかったが, 60%運動日, 80%運動日ともに運動直後(10時)に有意に上昇した。10時の値は, 80%運動日では対照日よりも有意に高かった。60%運動日では運動1時間後には運動前の値にもどっていたが, 80%運動日では, 運動1時間後にも有意に高値を維持した。全血中ビタミンC濃度は, 9時を基準とした場合に対照日では有意な変化を示さなかったが, 両運動日では運動直後に有意に上昇し, 運動1時間後にも有意に高値を維持した。

尿量の経時変化を図-4に, 尿中クレアチニン排泄量の経時変化を図-5に示した。尿量は, 運動期を含む9~11時で対照日に比べ両運動日で有意に低値を示し, 60%運動日に比べ80%運動日で低値傾向(p<0.1)を示した。また, 11~13時でも対照日に比べ80%運動日で有意に低値を示した。尿中クレアチニン排泄量は, 9~11時で対照日に比べ80%運動日で有意に低値を示した。

尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C排泄量の経時変化を表

表-7. 血中乳酸, 血糖, 血清遊離脂肪酸および  
尿素窒素値の経時変化(第1実験)

		9:00	10:00	11:00
血中乳酸 (mg/dl) n = 5	対照日	11.0 ± 1.9	9.8 ± 3.2	9.8 ± 3.8
	60%運動日	11.7 ± 3.6	30.0 <sup>††</sup> ± 8.1	12.6 ± 3.2
	80%運動日	11.4 ± 1.8	43.4 <sup>††</sup> ± 11.9	12.1 ± 3.2
血 糖 (mg/dl) n = 5	対照日	87 ± 5	91 ± 2	92 ± 4
	60%運動日	90 ± 4	106 <sup>†</sup> ± 9	99 ± 9
	80%運動日	85* ± 7	109 ± 19	91 ± 4
血清遊離脂肪酸 (nEq/l) n = 5	対照日	0.39 ± 0.18	0.42 ± 0.20	0.47 ± 0.21
	60%運動日	0.36 ± 0.20	0.70 ± 0.44	0.47 ± 0.26
	80%運動日	0.38 ± 0.09	0.66* ± 0.34	0.60 ± 0.25
血清尿素窒素 (mg/dl) n = 5	対照日	18.7 ± 1.6	18.2 ± 2.2	17.6 <sup>†</sup> ± 1.9
	60%運動日	18.3 ± 1.0	19.5 ± 1.6	18.7 ± 2.0
	80%運動日	20.7 ± 2.2	20.8 ± 2.5	21.6 <sup>†</sup> ± 2.5

平均値±標準偏差. †: p<0.05, ††: p<0.01(各実験日の9:00との比較).

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01(対照日との比較).

#: p<0.05(80%運動日との比較).

— 9 に, 累積値を図— 6 に示した。尿中ビタミン B<sub>1</sub> B<sub>2</sub>, C 排泄量は, 対照日では 7~9 時を基準とした場合に昼食後の 13~15 時で増加した。これは食事による影響と考えられる。尿中ビタミン B<sub>1</sub>, C 排泄量は 15 時以後も有意に高い値を維持したが, ビタミン B<sub>2</sub> 排泄量は 15~17 時にはほぼ昼食前の値にもどっていた。尿中ビタミン B<sub>1</sub> 排泄量は両運動日ともに対照日と同様の動態を示したが, 運動前の 7~9 時を基準とした変化量でみた場合には

9~11 時で対照日 (+2.5±2.9μg/2h) および 60%運動日 (+3.1±5.3μg/2h) に比べ 80%運動日 (-1.2±4.1μg/2h) で有意に低値を示した。尿中ビタミン B<sub>2</sub> 排泄量は, 対照日では 7~9 時を基準とした場合に有意な変化を示さなかったが, 両運動日では運動中および運動後に有意に増加し, 対照日に比べ 60%運動日では 15~17 時で, 80%運動日では 9~11 時, 15~17 時で有意に高値を示した。尿中ビタミン C 排泄量は, 両運動日と

表-8. 全血中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C濃度の経時変化(第1実験)

		9:00	10:00	11:00
ビタミンB <sub>1</sub> ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) n = 4	対 照 日	11.0 $\pm 0.7$	10.5 $\pm 1.1$	10.6 $\pm 0.8$
	60%運動日	11.3 $\pm 0.8$	12.8 $\pm 1.3$	12.6 $\pm 0.8$
	80%運動日	10.8 $\pm 1.9$	11.5 $\pm 1.7$	10.5 $\pm 1.2$
ビタミンB <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) n = 5	対 照 日	7.3 $\pm 0.7$	7.4 $\pm 0.7$	7.5 $\pm 0.7$
	60%運動日	7.3 $\pm 0.9$	8.1 <sup>††</sup> $\pm 0.7$	7.6 $\pm 0.8$
	80%運動日	7.5 $\pm 0.8$	8.3 <sup>†††</sup> $\pm 0.7$	8.3 <sup>†</sup> $\pm 0.9$
ビタミンC ( $\text{mg}/\text{dl}$ ) n = 5	対 照 日	0.62 $\pm 0.20$	0.60 $\pm 0.21$	0.61 $\pm 0.20$
	60%運動日	0.59 $\pm 0.19$	0.67 <sup>††</sup> $\pm 0.17$	0.67 <sup>†</sup> $\pm 0.15$
	80%運動日	0.54 $\pm 0.17$	0.66 <sup>†</sup> $\pm 0.12$	0.61 <sup>††</sup> $\pm 0.16$ <sup>#</sup>

平均値 $\pm$ 標準偏差. †:  $p < 0.05$ , ††:  $p < 0.01$ , †††:  $p < 0.001$   
 (各実験日の9:00との比較). \*\*:  $p < 0.01$ (対照日との比較).  
 #:  $p < 0.05$  (60%運動日との比較).

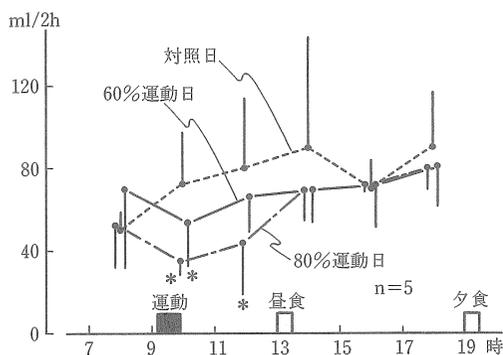


図-4 尿量の経時変化(第1実験)  
 平均値 $\pm$ 標準偏差. \*:  $P < 0.05$   
 (対照日との比較).

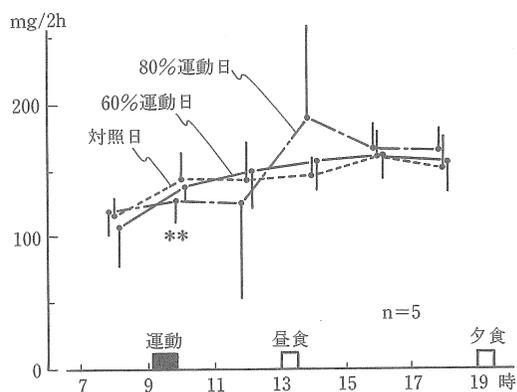


図-5 尿中クレアチニン排泄量の経時変化  
 (第1実験)  
 平均値 $\pm$ 標準偏差. \*\*:  $P < 0.01$   
 (対照日との比較).

表-9. 尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C排泄量の経時変化 (第1実験)

		7:00 ~ 9:00	9:00 ~11:00	11:00 ~13:00	13:00 ~15:00	15:00 ~17:00	17:00 ~19:00	9:00 ~19:00
ビタミンB <sub>1</sub> ( $\mu\text{g}/2\text{h}$ ) n = 5	対 照 日	17.9 ± 5.3	20.4 ± 5.0	18.3 ± 5.3	22.5 ± 6.8	24.9 <sup>†</sup> ± 3.9	25.2 <sup>†</sup> ± 5.5	111.3 ± 22.0
	60%運動日	15.5 ± 7.4	18.5 ± 3.2	16.9 ± 2.3	22.2 ± 2.2	23.0 <sup>†</sup> ± 4.8	22.8 <sup>†</sup> ± 3.2	103.5 ± 13.2
	80%運動日	16.4 ± 5.8	15.2 ± 2.5	14.6 ± 8.4	24.2 ± 5.4	23.4 ± 7.1	24.5 <sup>†</sup> ± 5.7	102.0 ± 16.8
ビタミンB <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/2\text{h}$ ) n = 5	対 照 日	38.3 ±35.9	37.9 ±28.6	52.3 ±46.9	75.2 ±73.2	43.5 ±29.1	49.6 ±16.5	258.6 ±184.0
	60%運動日	22.1 ± 8.5	61.1 <sup>†</sup> ±28.6	66.3 <sup>†</sup> ±38.5	83.1 <sup>†</sup> ±53.3	69.4 <sup>†*</sup> ±39.4	44.2 <sup>††</sup> ±12.8	324.3 ±162.6
	80%運動日	34.0 ±18.6	73.7 <sup>†*</sup> ±38.5	88.9 ±67.4	76.2 <sup>††</sup> ±18.8	58.6 <sup>†*</sup> ±28.4	49.5 ±18.1	347.0 ±132.9
ビタミンC ( $\text{mg}/2\text{h}$ ) n = 5	対 照 日	0.90 ± 0.14	1.24 ± 0.50	1.28 ± 0.51	2.91 <sup>†</sup> ± 1.54	4.14 <sup>†</sup> ± 1.78	3.89 <sup>††</sup> ± 0.87	13.46 ± 4.31
	60%運動日	0.75 ± 0.22	0.83 <sup>*</sup> ± 0.26	1.08 ± 0.46	2.62 <sup>†</sup> ± 1.14	3.71 <sup>††</sup> ± 1.22	3.22 <sup>†††</sup> ± 0.15	11.46 ± 2.34
	80%運動日	0.63 <sup>*</sup> ± 0.25	0.62 <sup>*</sup> ± 0.06	0.83 ± 0.55	3.46 <sup>†</sup> ± 1.67	4.29 <sup>††</sup> ± 1.92	3.70 <sup>†††</sup> ± 0.66	12.90 ± 4.33

平均値±標準偏差. † : p<0.05, †† : p<0.01, ††† : p<0.001(各実験日の7:00~9:00との比較).  
\* : p<0.05(対照日との比較), # : p<0.05(60%運動日との比較).

表-10. 尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C排泄量の経日変化 (第2実験1回目)

	実 験 日															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14 <sup>a</sup>	15 <sup>b</sup>	16 <sup>c</sup>
ビタミンB <sub>1</sub> ( $\mu\text{g}$ ) n = 5						715	507	435	325	271	271	274	240	234	257	171
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
						259	333	195	68	154	125	96	114	94	126	78
ビタミンB <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}$ ) n = 5	3,790	3,203	4,372	5,324	4,206	1,485	1,324	1,255	981	893	834	791	721	636	702	519
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1,713	755	663	1,932	1,413	361	664	232	238	244	177	149	160	103	209	163
ビタミンC ( $\text{mg}$ ) n = 5	*	*	*	*	*	48.0	15.3	10.5	8.7	6.0	4.9	4.6	5.1	4.2	2.9	4.9
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	11.9	31.4	70.9	90.0	125.5	21.5	6.8	4.3	3.9	1.7	2.8	1.5	1.8	1.6	1.0	2.0

平均値±標準偏差. \* : n=2, a : 対照日, b : 60%運動日, c : 80%運動日.

もに对照日と同様の動態を示した。对照日に比べ60%運動日、80%運動日ともに運動時(9~11時)に有意に低値を示したが、对照日の値が高く、必ずしも運動による影響とはいえないと考えられる。図6の累積値からも、尿中ビタミンB<sub>2</sub>排泄量が運動によって増加することが示されている。

以上の結果を総合すると、運動負荷前のビタミンの摂取量が比較的高い第1実験の条件下では、

①全血中ビタミンB<sub>1</sub>、濃度には変動がみられなかったが、B<sub>2</sub>、C濃度は中等度の強度の運動時、激運動時ともに運動により上昇した。

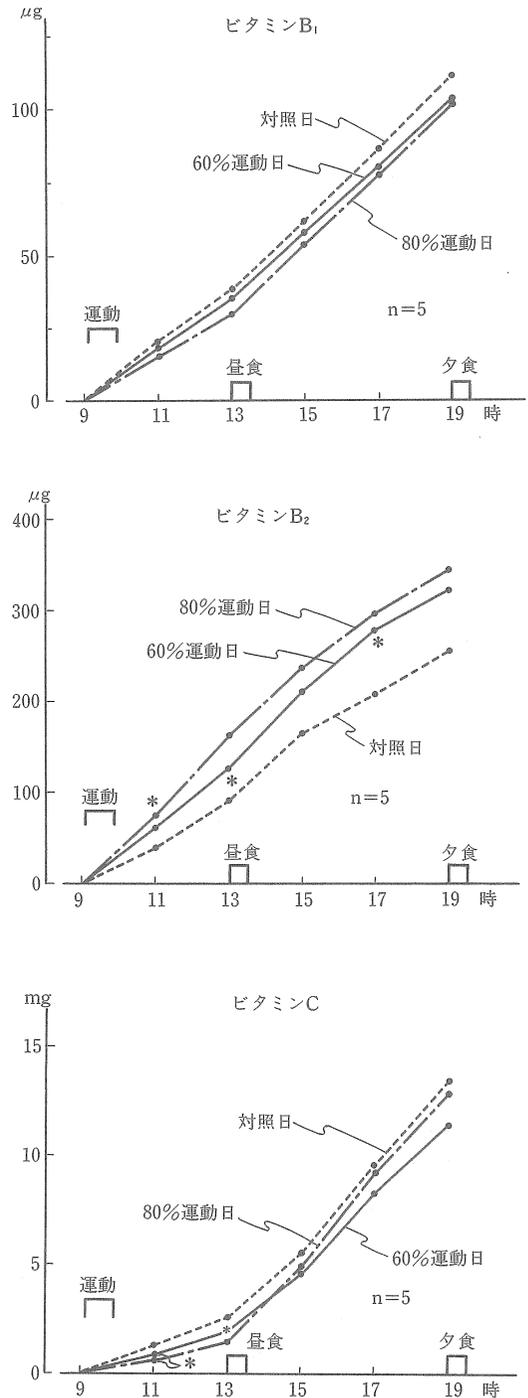
②尿中へのビタミンB<sub>2</sub>排泄は中等度の強度の運動時、激運動時ともに促進されることがみとめられた。

また、尿中へのビタミンB<sub>1</sub>排泄が激運動時にやや抑制される可能性も示唆されたが、この点については、なお検討が必要であると考えられる。

〔第2実験1回目〕

尿中ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C排泄量の経日変化を表一10に、早朝・空腹時の全血中ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C濃度の経日変化を表一11に示した。尿中ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C排泄量は、ビタミン剤(1日当たりB<sub>1</sub>15mg、B<sub>2</sub>6mg、C225mg)投与中の実験第1日目から第5日目まで著しく高値を示し、投与中止後には初め急速に、次いで徐々に減少した。一方、全血中ビタミンB<sub>1</sub>濃度は実験第6日目に著しく高値を示し第15日目には有意に低下したが、B<sub>2</sub>およびC濃度については第6日目と第15日目との間に有意差がみられなかった。このような動きは、ビタミン剤からの摂取量が、所要量に対して、B<sub>2</sub>は約4.3倍、Cは4.5倍であったのに比べてB<sub>1</sub>は15倍と高かったことが反映されたものと考えられる。

第2実験1回目では、被験者のビタミンに関する栄養状態をそろえる目的で、ビタミン剤の投与により身体組織のビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>およびCのレベルを高めておき、その後必要量のB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、Cを11日間摂取させた。尿中ビタミンの排泄量は、表一10にみられるように、おわりの数日間変動が少なく、ビタミンの栄養状態はほぼ安定したと考えた。そこで、最後の3日間に第1実験と同様の運動による影響に関する実験を行ない、夜間尿の動態をも合わせて検討した。



図一6 尿中ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C累積排泄量 (第1実験) 平均値。\*: P < 0.05 (对照日との比較)

表-11. 全血中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C濃度の経日変化  
(第2実験1回目)

	実 験 日	
	6日目	15日目
ビタミンB <sub>1</sub> ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) n = 5	15.3 $\pm$ 3.2	10.3 $\pm$ 1.0*
ビタミンB <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) n = 5	8.6 $\pm$ 1.2	7.6 $\pm$ 0.4
ビタミンC( $\text{mg}/\text{dl}$ ) n = 5	0.89 $\pm$ 0.13	0.76 $\pm$ 0.18

平均値 $\pm$ 標準偏差。\* :  $p < 0.05$   
(実験第6日目との比較)。

心拍数, 作業量, 血中乳酸, 尿量, 尿中クレアチニン排泄量などの動態については第1実験とほぼ同様の結果が得られた。

全血中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C濃度の経時変化を表-12に示した。全血中ビタミンB<sub>1</sub>濃度は, 対照日および60%運動日では9時を基準とした場合に有意な変化を示さなかったが, 80%運動日では運動3時間後(13時)に有意に上昇した。対照日に比べると運動直後(10時)および運動3時間後では有意に高値を示したが, 翌朝9時には逆に有意に低値を示した。全血中ビタミンB<sub>2</sub>濃度は, 3実験日のいずれにおいても9時を基準とした場合に有意な変化を示さなかったが, 80%運動日では運動直後に上昇傾向( $P < 0.1$ )を, 60%運動日に比べ運動3時間後に全例で高値( $P < 0.1$ )を示した。全血中ビタミンC濃度は, 対照日では9時を基準とした場合に有意な変化を示さなかった。60%運動日では運動直後および3時間後に上昇傾向( $P < 0.1$ )を示し, 80%運動日では運動直後および3時間後に有意に上昇して対照日に比べ有意に高値を示した。

尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C排泄量の経時変化を表-13に, 累積値を図-7に, 摂取量に対する24時間尿中排泄量の比率を表-14に示した。

尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C排泄量は対照日, 両運動日ともに, 夕食後の19~21時にそれまでより大となっているが, これは夕食時にビタミン混合を摂取した影響と考えられる。B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>の場合は21時以降も高値を示したが, Cの場合は21時以降は再

図-7

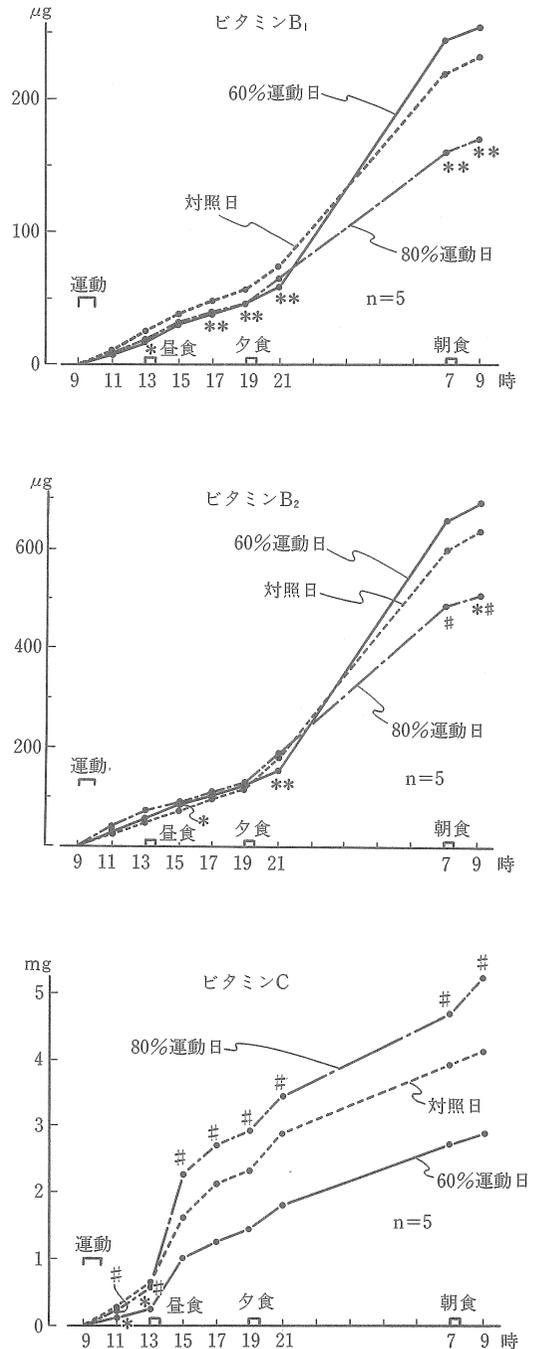


図-7 尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C累積排泄量(第2実験1回目)  
平均値。\* :  $P < 0.05$ , \*\* :  $P < 0.01$   
(対照日との比較)。# :  $P < 0.05$   
(60%運動日との比較)。

表-12. 全血中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C濃度の経時変化 (第2実験1回目)

		9:00	10:00	11:00	13:00	翌朝 9:00
ビタミンB <sub>1</sub> ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) n = 5	対 照 日	10.6 $\pm 1.4$	10.9 $\pm 1.8$	11.0 $\pm 2.6$	9.9 $\pm 1.2$	10.9 $\pm 0.8$
	60%運動日	10.9 $\pm 0.8$	10.4 $\pm 1.2$	11.7 $\pm 2.2$	12.2 $\pm 3.2$	9.8 $\pm 1.1$
	80%運動日	9.8 $\pm 1.1$	12.0* $\pm 2.1$	10.6 $\pm 1.5$	10.8†††* $\pm 1.2$	9.4* $\pm 1.2$
ビタミンB <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ ) n = 5	対 照 日	8.3 $\pm 1.1$	7.8 $\pm 0.4$	7.7 $\pm 0.5$	8.3 $\pm 0.6$	8.0 $\pm 0.9$
	60%運動日	8.0 $\pm 0.9$	8.0 $\pm 1.2$	8.2 $\pm 1.7$	7.8 $\pm 0.9$	7.8 $\pm 0.7$
	80%運動日	7.8 $\pm 0.7$	8.5 $\pm 1.1$	8.5 $\pm 1.2$	8.6 $\pm 1.4$	8.2 $\pm 1.3$
ビタミンC ( $\text{mg}/\text{dl}$ ) n = 5	対 照 日	0.69 $\pm 0.11$	0.71 $\pm 0.13$	0.74 $\pm 0.14$	0.71 $\pm 0.12$	0.77 $\pm 0.20$
	60%運動日	0.77 $\pm 0.20$	0.81 $\pm 0.22$	0.85 $\pm 0.26$	0.89 $\pm 0.27$	0.75 $\pm 0.15$
	80%運動日	0.75 $\pm 0.15$	0.88†* $\pm 0.11$	0.82 $\pm 0.17$	0.88†† $\pm 0.14$	0.67 $\pm 0.09$

平均値±標準偏差。†: p<0.05, ††: p<0.01, †††: p<0.001 (各実験日の9:00との比較),  
\*: p<0.05, \*\*: p<0.01 (対照日との比較)。

表-13. 尿中ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C排泄量の経時変化 (第2実験1回目)

		7:00 ~ 9:00	9:00 ~ 11:00	11:00 ~ 13:00	13:00 ~ 15:00	15:00 ~ 17:00	17:00 ~ 19:00	19:00 ~ 21:00	21:00 ~ 翌朝7:00	翌朝7:00 ~ 9:00
ビタミンB <sub>1</sub> ( $\mu\text{g}/2\text{h}$ ) n = 5	対 照 日	13.8 $\pm 7.7$	10.4 $\pm 6.5$	13.9 $\pm 6.3$	13.6 $\pm 4.9$	9.6 $\pm 4.7$	8.6 $\pm 4.4$	19.9 $\pm 3.7$	28.9† $\pm 12.7$	12.6 $\pm 7.2$
	60%運動日	12.6 $\pm 7.2$	6.5† $\pm 2.9$	9.4* $\pm 5.6$	13.9 $\pm 6.5$	8.2† $\pm 3.8$	7.6 $\pm 4.4$	13.3 $\pm 5.5$	37.1† $\pm 20.1$	10.9 $\pm 4.6$
	80%運動日	10.9 $\pm 4.6$	8.4† $\pm 5.2$	10.1* $\pm 5.6$	13.3† $\pm 5.5$	7.3†† $\pm 3.6^*$	7.2†† $\pm 4.3$	19.2 $\pm 20.0$	18.8* $\pm 9.0$	10.1 $\pm 3.6$
ビタミンB <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/2\text{h}$ ) n = 5	対 照 日	34.4 $\pm 12.2$	22.7† $\pm 5.9$	25.3 $\pm 7.9$	22.8† $\pm 13.0$	26.5 $\pm 17.5$	19.9† $\pm 8.9$	68.1 $\pm 26.8$	83.3††† $\pm 12.0$	37.7 $\pm 14.1$
	60%運動日	37.7 $\pm 14.1$	24.4 $\pm 6.7$	30.2* $\pm 9.5$	28.6†† $\pm 12.3$	20.9† $\pm 14.1$	18.4†† $\pm 12.2$	34.8* $\pm 15.5$	101.4†† $\pm 34.0$	34.1 $\pm 10.1$
	80%運動日	34.1 $\pm 10.1$	37.8 $\pm 24.2$	29.9 $\pm 13.9$	23.1† $\pm 10.7$	18.8†† $\pm 11.8$	19.2††† $\pm 7.1$	59.2 $\pm 64.3$	59.4† $\pm 14.9$	25.0†* $\pm 9.0$
ビタミンC ( $\text{mg}/2\text{h}$ ) n = 5	対 照 日	0.34 $\pm 0.16$	0.26† $\pm 0.17$	0.37 $\pm 0.17$	0.99 $\pm 0.72$	0.48 $\pm 0.19$	0.21 $\pm 0.08$	0.58† $\pm 0.25$	0.21 $\pm 0.07$	0.20 $\pm 0.11$
	60%運動日	0.20 $\pm 0.11$	0.10* $\pm 0.05$	0.14* $\pm 0.07$	0.78 $\pm 0.83$	0.23* $\pm 0.08$	0.16 $\pm 0.04$	0.40††† $\pm 0.13$	0.18 $\pm 0.08$	0.17 $\pm 0.15$
	80%運動日	0.17 $\pm 0.15$	0.22* $\pm 0.10$	0.35* $\pm 0.19$	1.70† $\pm 1.30$	0.43† $\pm 0.17$	0.22 $\pm 0.08$	0.51† $\pm 0.27$	0.25 $\pm 0.14$	0.53 $\pm 0.78$

平均値±標準偏差。†: p<0.05, ††: p<0.01, †††: p<0.001 (各実験日の7:00~9:00との比較),  
\*: p<0.05(対照日との比較), #: p<0.05(60%運動日との比較)。

び低下した。表—10の動きからもCはB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>よりも尿中への排泄が速かであるように思われる。

尿中ビタミンB<sub>1</sub>排泄量は60%運動日では運動期を含む9~11時および15~17時で有意に減少し、11~13時では対照日に比べ有意に低値を示した。これに対し80%運動日では9~11時, 13~19時で有意に減少し、対照日に比べ11~13時, 15~17時で有意に低値を示した。また、9時から翌朝9時までの24時間の累積値でも、80%運動日では対照日に比べ有意に低値を、60%運動日に比べ全例で低値 (P<0.1) を示した (表14)。

尿中ビタミンB<sub>2</sub>排泄量は、対照日に比べて、60%運動日では11~13時には有意に高値を、19~21時では有意に低値を示した。80%運動日では9~13時では対照日より高い傾向がみられたが、夜間の21時~翌朝7時では対照日より有意に低かった。夜間の排泄量の低下により、24時間の累積値

では、80%運動日では対照日, 60%運動日に比べ有意に低値を示した。

尿中ビタミンC排泄量は、60%運動日では対照日に比べ9~13時, 15~17時で有意に低値を示した。一方、80%運動日では60%運動日に比べ全般的に高値を示し、9~11時, 15~17時では有意差があった。24時間の尿中ビタミンCの累積排泄量は、60%運動日では対照日に比べ低値傾向 (P<0.1) を、80%運動日に比べ有意に低値を示した。

以上の結果、第2実験の条件下では、

①全血中ビタミンB<sub>1</sub>濃度は、中等度の運動の60%運動日には変化がみられなかったが、激運動の80%運動日には対照日に比べ有意に高い値を示した。B<sub>2</sub>濃度は60%運動日, 80%運動日には対照日より高い傾向がみられた。C濃度は60%運動日には対照日より高い傾向を、80%運動日には有意に高い値を示した。

表—14. ビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, Cの摂取量に対する24時間尿中排泄量の比率(%)

		被 検 者					平 均 値 ± 標準偏差
		F	G	H	I	J	
ビタミンB <sub>1</sub> n = 5	対 照 日	16.8	26.7	34.8	14.4	38.1	26.2 ±10.5
	60%運動日	15.1	18.5	32.0	26.7	51.2	28.7 ±14.2
	80%運動日	13.8	17.6	24.2	8.6	31.0	19.0** ± 8.8
ビタミンB <sub>2</sub> n = 5	対 照 日	41.7	37.0	55.0	42.9	51.7	45.7 ± 7.5
	60%運動日	40.1	33.7	54.1	49.1	72.4	49.9 ±14.9
	80%運動日	33.4	27.5	44.7	24.4	52.1	36.4** ±11.7
ビタミンC n = 5	対 照 日	3.6	7.4	9.3	9.7	11.0	8.2 ± 2.9
	60%運動日	3.3	6.3	4.4	9.0	5.7	5.7 ± 2.2
	80%運動日	4.4	16.5	7.4	12.2	11.7	10.4# ± 4.7

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01(対照日との比較). # : p<0.05(60%運動日との比較).

②尿中へのビタミンB<sub>1</sub>排泄は、60%運動日、80%運動日ともにやや抑制され、一方、B<sub>2</sub>排泄は両運動日ともにやや促進されるが、激運動後の回復期の夜間には、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>の排泄は著しく抑制され、24時間単位での尿中ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>排泄量は激運動を行った日には減少することがみとめられた。

尿中ビタミンC排泄量の動態についてはなお検討が必要であると考えられる。

なお、第2実験については同じ実験をほぼ同様の方法で繰り返して行っており、再現性の問題についても検討中である。詳細な考察については、第2実験の2回目、連日の運動の影響を検討した第3実験の結果が出そろった段階で一括して総合的に行いたい。

## 文 献

- 1) 厚生省：第三次改定日本人の栄養所要量，1984.
- 2) National Academy of Sciences: Recommended Dietary Allowances, Ninth Revised Edition, 1980.
- 3) Williams, M. H., Ed.: Nutritional Aspects of Human Physical and Athletic Performance, Charles C Thomas, 1976.
- 4) Williams, M. H.: Vitamin, Iron and Calcium Supplementation: Effect on Human Physical Performance, nutrition and Athletic Performance (Proceedings of the Conference on Nutritional Determinants in Athletic Performance, San Francisco, California, 1981)
- 5) Williams, M. H., Ed.: Ergogenic Aids in Sports, Human Kinetics, 1983.
- 6) 伊藤信義：運動とビタミン，永井書店，1960.
- 7) Grandjean, A. C.: Vitamins, Diet and the Athlete, Clinics in Sparts medicine, 2, 105, 1983.
- 8) Yakovlev N. N.: スポーツ選手のビタミン必要量，日本体育協会スポーツ科学委員会：スポーツマンの食事の取り方，1976より

## II 運動負荷によるビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>栄養状態の変化

執筆者 真田 宏 夫\*

研究協力者 高橋 徹 三\*\* 山田 哲 雄\*\*

スポーツ選手のビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>要求量に関する研究報告はまだ少なく, その要求量を決めるための科学的根拠が十分とはいえない。この研究は, スポーツ選手のビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>要求量を決めるための基礎資料を得るため, 所要量レベルのビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>を摂取している被験者に運動を負荷した場合のB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>栄養状態の変化について検討したものである。ビタミン栄養状態の指標として, B<sub>1</sub>については赤血球トランスケトラーゼ活性(TKA)とそれに対する補酵素チアミンピロリン酸添加効果(TPP効果)を, B<sub>2</sub>については赤血球グルタチオンレダクターゼ活性(EGRA)とこれに対する補酵素フラビンアデニンジヌクレオチド添加効果(EGRAC)を測定した。これらは各々現在最も勝れたビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>栄養状態判定法とされている。

### 実験方法

第1実験は, 健康な青年男子被験者5名に短時間の運動を負荷した場合について検討した。被験者には生活活動強度II(中等度)におけるビタミン所要量に相当するビタミンを夕食時に一度に摂取させた。一週間以上このパターンを保った後, コントロール期として非運動日の9, 10, 11, 13時に採血した。その翌日は9時から10時の間に最大酸素摂取量の60%強度の運動を20分づつ2回負荷し, 前日同様採血をした。さらに次の日の9時から10時の間には最大酸素摂取量の80%強度の運動を同様に負荷し採血した。各被験者についてこの実験を反復して行った。

第2実験は, 健康な青年男子被験者5名に長期間の運動を負荷した場合について検討した。被験者には食事よりビタミンB<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>を摂取させ, 所要量に満たない分のみ夕食時に粉末として摂取させた。このパターンを5日間保ち, 6日目の9, 11, 13, 15, 17, 19時に非運動対照区として採血を行った。その翌日からは, 最大酸素摂取量の60%強度の運動を9時から11時までおよび15時から17時までの間に各々30分づつ3回(合計1日180分)負荷し, これを8日間続けた。運動負荷1日目と8日目に対照期と同様に採血した。

運動の負荷にはすべて自転車エルゴメーターを使用した。

赤血球のTKAおよびTPP効果の測定はBrinのマイクロ法により測定した<sup>(1)</sup>。一方EGRAとEGRACの測定はNichoaldsの方法によって測定した<sup>(2)</sup>。

### 結 果

ビタミンB<sub>1</sub>栄養状態については, 短時間運動負荷(実験1)による変化を図1に, 長期運動負荷による変化を図2に示した。短時間運動負荷時のTKA(図1a)は運動の強度にかかわらず運動の前後でほとんど変化がなく, TPP効果(図1b)にも差が認められない。ただし, 1日の平均値としてみると対照期のTKA値(1019±25)に比較して最大酸素摂取量の80%強度の運動期のTKA値(1086±23)は有意に高くなっていた(P<0.05)。Brinの基準によればTPP効果15%以上を潜在性B<sub>1</sub>欠乏域, 25%以上をB<sub>1</sub>欠乏域としているが<sup>(1)</sup>, これに従えば, この実験結果は, 短時間の激しい運動を行っても所要量レベルのB<sub>1</sub>を摂取

\* 国立栄養研究所基礎栄養部 \*\* 筑波大学体育科学系

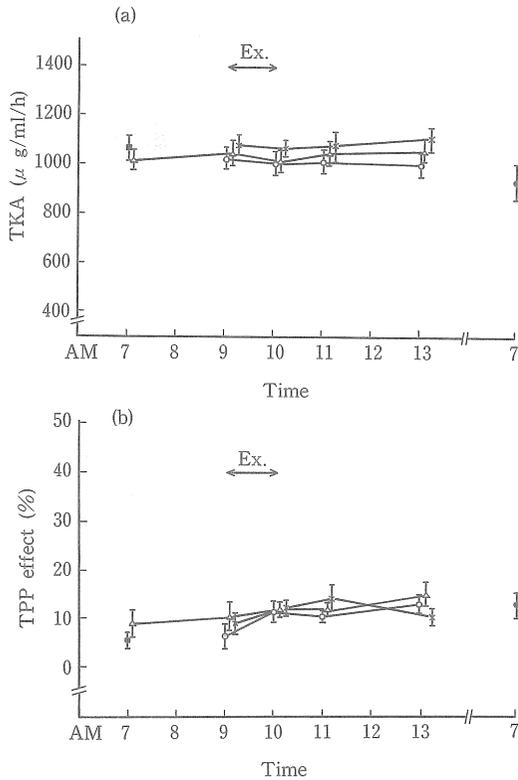


図1. 短時間運動負荷のTKA(a)とTPP効果(b)に及ぼす影響

- 非運動期（コントロール期）
- △最大酸素摂取量の60%強度の運動負荷
- ×最大酸素摂取量の80%強度の運動負荷
- 他の非運動日の早期空腹時
- 最大酸素摂取量の80%強度の運動負荷の翌朝空腹時
- 矢印は運動負荷時間を示す

していればB<sub>1</sub>栄養状態は正常に維持されることを示している。長期間の運動負荷においては、やはり1日以内での運動負荷前後の変化は認められない。しかし1日の平均値で見るとTKAは運動1日目の値(1106±27)に比較し、運動8日目の値(1009±9)が有意に低い(P<0.05)。これに対応するようにTPP効果は運動1日目(13.7±1.5)に比べて8日目(18.0±2.1)が高い傾向を示すが有意な差ではなかった。この結果は長期運動負荷の場合はビタミンB<sub>1</sub>栄養状態が悪化する可能性のあることを示唆するものと考えられる。

ビタミンB<sub>2</sub>栄養状態については、短時間運動負荷の結果を図3に、長期運動負荷の結果を図4に示す。短時間運動負荷では運動強度にかかわらず

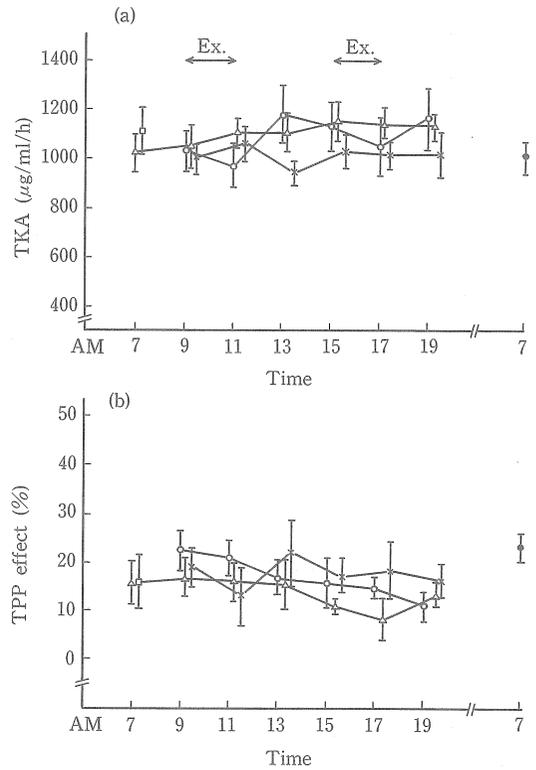


図2. 長期運動負荷のTKA(a)とTPP効果(b)に及ぼす影響

- 非運動期（コントロール期）
- △運動負荷1日目
- 運動負荷5日目
- ×運動負荷8日目
- 運動負荷8日目の翌朝空腹時
- 矢印は運動負荷時間を示す

運動負荷前後でEGRA, EGRACともほとんど変化が認められない。Glatzle等の基準ではEGRACが1.3以上をB<sub>2</sub>欠乏域としている<sup>(3)</sup>。これに従えば、この実験結果は所要量レベルのビタミンB<sub>2</sub>を摂取していれば短時間の激しい運動を行ってもB<sub>2</sub>栄養状態は正常に維持されることを示している。一方長期運動負荷実験においても、対照期、運動1日目、運動8日目とも1日以内の運動前後のB<sub>2</sub>栄養状態の変化は認められなかった。しかし1日の平均値で見るとEGRA値は運動1日目(1.44±0.02)が最も高く、8日目(1.31±0.02)が最も低かった(P<0.05)。またEGRAC値は運動1日目(1.02±0.01)に比較し運動8日目(1.06±0.01)で高値を示した(P<0.05)。これらの値は

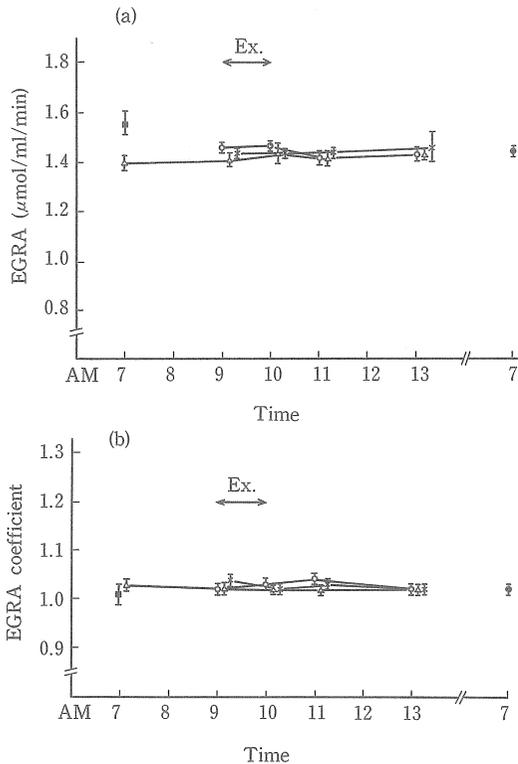


図3. 短時間運動負荷のEGRA(a)とEGRAC(b)に及ぼす影響  
(図中の記号については図1を参照)

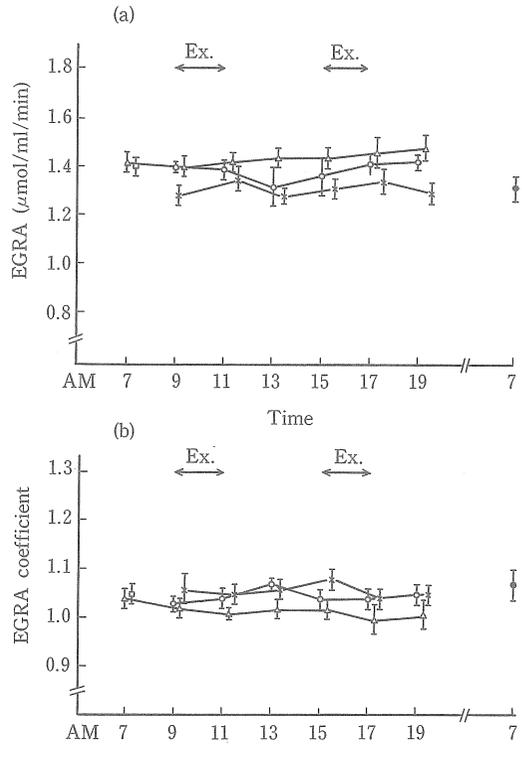


図4. 長期運動負荷のEGRA(a)とEGRAC(b)に及ぼす影響  
(図中の記号については図2を参照)

いずれも正常域内ではあるが運動を長期間続けるとB<sub>2</sub>栄養状態は悪化する方向に向かうことを示唆するものである。

### 考 察

Yakovlevはスポーツ選手のB<sub>1</sub>所要量を5～10mgと高い値としている<sup>(4)</sup>。しかし、運動によりビタミンB<sub>1</sub>必要量が上昇することを明確に示す報告はほとんどみられない。この実験においては運動を長期間続けた場合にのみTKAは低下し、TPP効果は上昇傾向を示した。この結果は、ビタミンB<sub>1</sub>摂取量が現在の栄養所要量と同等である場合には、長期の運動によってB<sub>1</sub>栄養状態が悪化の方向に向かう可能性のあることを示唆するものであるが、長期運動負荷実験(実験2)では短時間運動負荷実験(実験1)に比較して対照期に既にTPP効果が高値(p<0.05)を示しているた

め、これらの実験間のB<sub>1</sub>摂取方法の違いなども考慮に入れる必要があると考えられる。運動時のビタミンB<sub>2</sub>必要量についてはBelko等が詳細な研究を行い<sup>(5,6)</sup>、EGRACを1.25に保つために必要なビタミンB<sub>2</sub>量は非運動群 $0.92 \pm 0.17$  (M±S.D)に対し運動群では $1.12 \pm 0.21$ mg/1000kcalであることを報告している<sup>(6)</sup>。この値は所要量ではなく必要量に相当するものであるが、運動により所要量も上昇することを示唆するものである。本実験結果においても1日平均のEGRAC値は運動1日目より8日目で高くなっており、さらにEGRA値は逆に8日目で低値を示すことから長期運動継続によりビタミンB<sub>2</sub>栄養状態が悪化の傾向に向かうことが示唆された。しかし本実験結果ではEGRA、EGRAC値ともにすべて正常域内であり、長期の運動においても現在のB<sub>2</sub>所要量で不足することはないものと考えられた。

文 献

- 1) Myron Brin, *Methods in Enzymology*, Vol. 18(A) p. 125(ed. by D. B. McCormick and L. D. Wright) Academic Press, 1970.
- 2) G. E. Nichoalds and J. D. Lawrence, *Clin. Chem.*, 20, 624—628(1974)
- 3) Glatzle, D., Körner, W. F., Christeller, S., and Wiss, O., *Int. J. Vitamin Res.* 40, 166—183(1970)
- 4) Yakovlev, N. N. *Dietary for Sportsmen at the XVII Olympic Games in Rome*, *Vap. Pitan.*, 20, 47—51(1961)
- 5) Belko, A. Z., Obarzanek E., Kalkwarf H. J., Rotter, M. A., Bogusz, S., Haas J. D. and Roe D. A., *Am. J. Clin. Nutr.*, 37, 509—517(1983)
- 6) Belko, A. Z., Obarzanek E., Roach, R., Rotter, M., Urban, G., Weinberg, S. and Roe, D. A., *Am. J. Clin. Nutr.*, 40, 553—561(1984)

### III Normoxia および Hypoxia 条件下でのパフォーマンス, 最大酸素摂取量ならびに乳酸性閾値に及ぼすビタミンEの影響

研究班員 村 岡 功\*  
研究協力者 吉 野 貴 順\* 横 関 利 子\*  
湊 久美子\*\*

運動に伴ってある種のビタミン代謝が亢進し、その消費量が増大することはよく知られている。また、ビタミンは運動時の発汗とともに失われる<sup>17)25)</sup>。これらのことから、スポーツ選手は一般人よりも多目にビタミンを摂取することが必要であると言われる<sup>17)</sup>。また、ビタミンの多量摂取が競技力を向上させる可能性を有することから Ergogenic aids (競技力向上の補助手段) のひとつと考えられている<sup>9)25)</sup>。

従って、スポーツ選手のビタミン必要量を考える場合には、ビタミン不足に陥らないための必要量を明らかにすることと、多量摂取が果して競技成績 (パフォーマンス) にプラスの効果をもたらすか否かおよびその量的問題を検討することが重要であると思われる。そこで、われわれは今回 Ergogenic aid としてのビタミンEについて検討することにした。

ビタミンEは1922年 Evans と Bishop によって発見された脂溶性ビタミンであり、現在まで自然界に存在する8種類の同族体が知られている<sup>8)</sup>。運動との関連においては、特に1950年代以後、運動能力を改善するものとして注目されており<sup>9)</sup>、一流競技者の間で Ergogenic aid として広く用いられていると言われている<sup>23)</sup>。

それは、ビタミンEが有気的運動によって産生される生体に有害な過酸化脂質を抑える抗酸化作用を持つこと<sup>9)</sup>に加えて、エネルギー代謝における促進子および安定子としての働きを有することが推測されているからであると思われる<sup>22)</sup>。

しかしながら、二重盲検法でなされた最近の研

究の多くは、高地 (低酸素) などでの環境下のものを除いて、ビタミンEの多量摂取がパフォーマンスに何ら好影響をもたらさないことを示している<sup>9)23)25)</sup>。

一方、ここ数年来最大下での持久的能力を表わすものとして注目されている Anaerobic threshold (AT)<sup>6)12)24)</sup> に対して、ビタミンE多量摂取がいかなる影響を及ぼすかをみた報告はほとんどない<sup>16)</sup>。

そこで、本研究ではビタミンE多量摂取が Normoxia および Hypoxia 条件下での漸増運動時のパフォーマンスおよび最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) に及ぼす影響を再検討するとともに、両条件下での“乳酸性閾値”に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

#### 実験方法

被験者は早稲田大学漕艇部員15名であり、彼らの年齢、身長および体重は、それぞれ $21.1 \pm 1.3$ 歳、 $176.3 \pm 3.8$ cmおよび $70.9 \pm 3.8$ kg (平均±標準偏差) であった。

被験者はビタミンE投与に先立ち、自転車エルゴメータを用いた負荷漸増テストを行ない  $\dot{V}O_{2max}$  および乳酸性閾値が測定された。テストは2分間の空こぎの後、2分毎に180kpm/分 (回転数60rpm) ずつ漸増して exhaustion に至らしめるものであった。なお、このテストは交叉法により Normoxia (大気) および Hypoxia ( $O_2$ 濃度 16.6~16.8%) 両条件下で行なわれた。

テスト中、呼気ガスは原則として各負荷の後半の1分間に、さらに、exhaustion 近くでは連続して1分毎にダグラス・バッグに採集された。採集

\* 早稲田大学教育学部 \*\* 東京学芸大学

した呼気ガスは直ちに湿式ガスメータで計量するとともに、その一部を既知濃度の標準ガスで校正した Beckman LB-2 および OM-11 を用いて分析し、それぞれ  $\text{CO}_2$  および  $\text{O}_2$  濃度を求め、酸素摂取量 ( $\dot{V}\text{O}_2$ ) を算出した。

心拍数は胸部双極誘導による心電図の連続記録から、1分毎にそのR棘を数えることによって求めた。なお、最高心拍数は exhaustion 直前30秒間の値を1分間値に換算して求めた。

血液サンプルは前腕静脈中に留置したカテーテルより、2分毎に各負荷の終了直前および exhaustion 後5分目に採取され、血中乳酸濃度分析のために0.6Nの過塩素酸で除蛋白した後、上澄液を分析まで凍結保存した。乳酸分析はベーリングー・マンハイム社製のラクテート・テスト用キットを用いて酸素法に従って行なった。

乳酸性閾値は得られた各負荷での仕事率 (kpm/分) と血中乳酸値から、直線回帰方程式により血中乳酸濃度 4 mmol/l に相当する仕事

率 (Onset of blood lactate accumulation: OBLA) として求め<sup>24)</sup>、さらに、各負荷での仕事率と  $\dot{V}\text{O}_2$  との直線回帰方程式を求め、OBLA に相当する仕事率を代入して、その時の  $\dot{V}\text{O}_2$  および  $\% \dot{V}\text{O}_{2max}$  を算出した。

テストの結果に基づき、形態および両条件下での  $\dot{V}\text{O}_{2max}$  が群間でほぼ等しくなるように被験者をビタミンE投与群 (E群) および Placebo 投与群 (P群) に振りわけた (表1)。投与期間は1985年11月から12月にかけての38日間であり、d- $\alpha$ -トコフェロール・アセテートを1日300mg (417I. U.)、一方、P群は外見上同一のプラセボを同量服用した。なお、服用は原則として毎食後30分以内に100mgずつとし、その服用状況を配布した調査表に正確に記入するように指示した。

血漿および赤血球中のE濃度分析のための採血は早朝空腹状態で行なった。なお、血漿および赤血球中E濃度は高速液体クロマトグラフィーを用いて分析した。

表-1. 被験者の身体特性およびビタミンEあるいはプラセボの服用率

グループ		年齢 yr	身長 cm	体重 kg	服用率 %
ビ タ ミ ン E 群	S. O.	20	173.4	65.2	96
	M. O.	21	174.2	68.9	96
	H. U.	22	180.5	76.0	97
	Y. S.	21	174.9	72.9	89
	T. N.	24	180.5	69.2	96
	M. I.	19	174.1	67.8	81
	F. T.	22	171.1	70.5	80
Mean		21	175.5	70.1	91
SD		1	3.3	3.3	7
プ ラ セ ボ 群	A. S.	20	175.9	70.0	94
	K. O.	21	170.8	69.3	92
	T. S.	21	179.2	70.8	98
	H. Y.	21	177.5	76.0	98
	T. M.	19	184.2	76.0	100
	U. S.	23	172.0	69.0	95
	N. K.	22	180.3	77.2	86
K. T.	21	176.4	64.9	83	
Mean		21	177.0	71.7	93
SD		1	4.1	4.0	6

38日間の投与後、投与前と同様に両条件下で運動負荷テストを行ない、パフォーマンス、 $\dot{V}O_{2max}$  および乳酸性閾値 (OBLA) に及ぼすEの影響を検討した。投与前後におけるグループ内およびグループ間の有意差検定は、それぞれ、対応のあるおよび対応のない t 検定によった。

### 実験結果

自己申告による実験期間中のE摂取状況は表1に示す通りであった。E摂取の結果E群の血漿中 $\alpha$ -トコフェロール濃度は投与前の $9.80 \pm 2.15 \mu\text{g}/\text{ml}$ から7日目で $18.44 \pm 5.00 \mu\text{g}/\text{ml}$ まで上昇し、17日目でもほぼ同じ値を示した後、やや減少して実験終了時には $14.07 \pm 2.61 \mu\text{g}/\text{ml}$ となった。しかし、これらの濃度は投与後のいずれの測定日

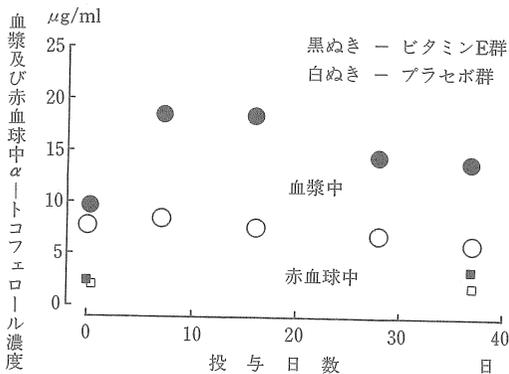


図-1 血漿および赤血球中 $\alpha$ -トコフェロール濃度の変化

表-2. NormoxiaおよびHypoxia条件下での投与前後の最大酸素摂取量, 最大換気量, 最高心拍数およびオール・アウト時間

グループ	最大酸素摂取量		最大換気量 l/分	最高心拍数 拍/分	オールアウト時間		
	ml/分	ml/kg・分			分	秒	
Normoxia	ビタミンE群 (n=7)	前	3,808±385	54.3±4.2	149.4±13.6	185±5	23' 11"2±1' 29"6
		後	3,689±328	52.4±3.8	161.1±22.9	188±7	24' 19"2±1' 04"2
	プラセボ群 (n=8)	前	3,905±346	54.5±3.3	154.7±12.4	191±5	23' 03"1±1' 01"1
		後	3,740±323	52.2±3.2	151.9±11.4	191±6	23' 51"8±1' 25"5
Hypoxia	ビタミンE群 (n=6)	前	3,471±170*	49.3±3.0*	165.9±17.9*	184±5	21' 30"2± 48"1**
		後	3,379±214*	48.1±2.0*	159.5±19.4	187±6	22' 43"5±1' 26"1**
	プラセボ群 (n=7)	前	3,517±221**	48.8±3.5**	153.8±17.5	187±4	21' 14"7±1' 02"9***
		後	3,362±224**	46.6±2.8***	146.3±13.9	187±7	22' 24"1±1' 31"8**

Normoxia vs. Hypoxia: \* p<0.05, \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001

でもP群に比べて有意に高いものであった。赤血球中の $\alpha$ -トコフェロール濃度はE群で投与前の $2.48 \pm 0.36 \mu\text{g}/\text{ml}$ から38日後に $3.35 \pm 1.22 \mu\text{g}/\text{ml}$ へとわずかな上昇がみられたが、P群では逆に若干の減少がみられ、投与終了時には両群間で有意であった (図1)。

両条件下でのE群およびP群の投与前後における $\dot{V}O_{2max}$  (ml/分, ml/kg・分), 最大換気量 ( $\dot{V}_{Emax}$ ), 最高心拍数およびオール・アウト時間は表2に示されている。Normoxiaでの $\dot{V}O_{2max}$ は投与後両群ともに減少する傾向にあったが、これらの減少は統計的に有意なものではなかった。オール・アウト時間は両群ともに、いずれの条件下でも投与後延長する傾向にあったが、これらにも統計的な有意差は観察されなかった。

一方、投与前のNormoxiaおよびHypoxiaで得られた $\dot{V}O_{2max}$ およびオール・アウト時間を比較すると、両群ともHypoxiaで統計的に有意な減少がみられた。この減少は投与後でも同様であった (表2)。

両条件下での $\dot{V}O_{2max}$ およびオール・アウト時間の投与前に対する投与後の変化分を図2に示した。E群における投与後の $\dot{V}O_{2max}$ 減少の割合はP群に比べて小さく、一方、オール・アウト時間はより延長する傾向にあったが、いずれにおいても変化分に両群間に統計的な差はみられなかった。

漸増運動テスト時に得られた血中乳酸濃度4 mmol/ml (OBLA) に相当する $\dot{V}O_2$ , % $\dot{V}O_{2max}$ , お

よび仕事率ならびにオール・アウト5分後に得られた血中乳酸濃度を表3に示した。投与前後で有意な差が観察されたのは、NormoxiaでのP群の% $\dot{V}O_{2max}$ および仕事率で表したOBLAならびにE群の最高血中乳酸濃度であり、いずれも投与後で高い値を示した。一方、Hypoxiaでは両群ともいずれの項目でも前後の間に統計的な有意差は観察されなかった。

図3はOBLAおよび最高血中乳酸濃度の投与前に対する投与後の変化分を、両条件下について示したものである。Normoxiaでの最高血中乳酸値にE群とP群の間に差がみられ、E群で投与後高い値を示した。OBLAに関してはP群で高くな

る傾向にあったが、両群間の変化分に差はみられなかった。

また、Normoxiaに対するHypoxiaでの $\dot{V}O_{2max}$ 、オール・アウト時間、OBLAおよび最高血中乳酸値の増減の割合を投与前と投与後で比較したのが図4である。この図は投与前後でNormoxiaに対するHypoxiaでの増減の割合が同じ場合はidentical lineと一致することを示している。図から明らかなように、Hypoxiaでの減少の割合は $\dot{V}O_{2max}$ 、オール・アウト時間およびOBLAについては、投与前および後ともに両群ともほぼ同様であった。一方、E群の最高血中乳酸値は投与前ではHypoxiaで高かったのに対し、投与後

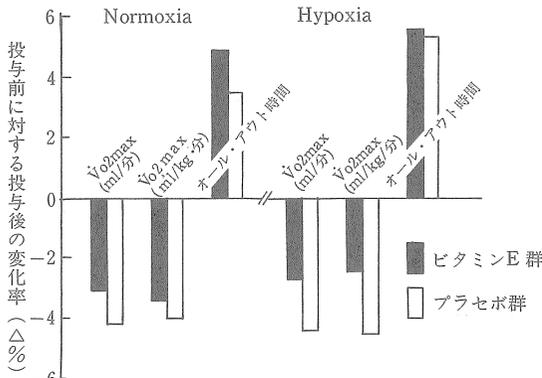


図-2 NormoxiaおよびHypoxia条件下での最大酸素摂取量およびオール・アウト時間の投与前に対する投与後の変化率

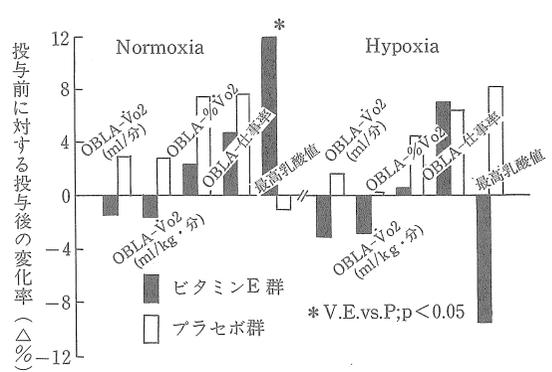


図-3 NormoxiaおよびHypoxia条件下でのOBLAおよび最高血中乳酸の投与前に対する投与後の変化率

表-3. NormoxiaおよびHypoxia条件下での投与前後のOBLAおよび最高血中乳酸

グループ		O B L A				最高血中乳酸 mg/dl	
		酸素摂取量 ml/分	ml/kg・分	% $\dot{V}O_{2max}$ %	仕事率 kpm/分		
Normoxia	ビタミンE群 (n=7)	前後	3,096±344	44.2±4.3	81.3±4.1	1,518±128	92.5±15.5
		前後	3,054±249	43.4±2.7	83.1±6.8	1,588±149	103.7±17.7*
	プラセボ群 (n=8)	前後	3,057±247	42.7±2.8	78.4±1.6	1,470±115	105.3±7.6
		前後	3,146±285	44.0±3.5	84.2±5.5*	1,581±132***	100.7±14.1
Hypoxia	ビタミンE群 (n=6)	前後	2,930±193	41.7±3.4	83.8±6.1	1,425±151	104.7±17.5
		前後	2,839±243**	40.5±3.6*	84.1±6.6	1,522±183	94.7±13.8
	プラセボ群 (n=7)	前後	2,733±153**	38.5±3.1**	79.1±6.2	1,347±85*	98.2±16.3
		前後	2,778±262*	38.5±3.5**	82.6±4.9	1,420±130***	106.2±15.1

前 vs. 後：\* p<0.05, \*\*\* p<0.001

Normoxia vs. Hypoxia：\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

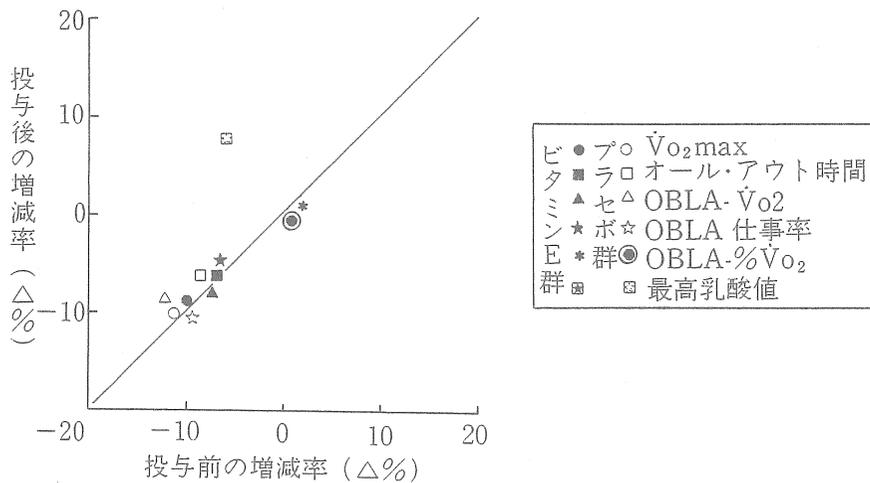


図-4 Normoxiaに対するHypoxia時の投与前および投与後の増減率

では Hypoxia で低い値を示し、P 群のそれは E 群と逆の関係を示した。しかしこの両群間の Normoxia に対する Hypoxia での投与前後の変化は統計的に有意ではなかった。

### 考 察

二重盲検法でなされた E および P の服用率は最も少ない者で 80% であった。この服用率からすると、E 群の中で最も E 摂取量の少ない者でも、平均すると一日 334l.U. の E を摂取したことになる。この量は外国で用いられている同年代の一般成人男子の E 必要量 (15~20l.U.)<sup>7)9)</sup> およそ 20 倍に相当する。

一方、投与終了時における E 群の血漿および赤血球中の  $\alpha$ -トコフェロール濃度は、投与中期に比べて減少しており、予想したほどの著しい上昇ではなかった。しかし、E 群全被験者の投与終了時の濃度は投与前に比べて高かったこと、および P 群の濃度は投与終了時にほとんどの者で減少していたことを考え合わせると、E 群の  $\alpha$ -トコフェロール濃度は実質的に上昇していたと考えてよいものと思われる。以上のことから、ここでは実験に参加した全被験者のデータをもとにして結果の処理を行なった。

E 群の血漿  $\alpha$ -トコフェロール濃度が投与中期に比べて終了時に減少する理由は必ずしも明らかではない。しかし、その理由のひとつには、E

の吸収率は摂取量の増加につれて低下し血中濃度の上昇割合が低くなること<sup>14)</sup>、および E に対する排泄能の高いこと<sup>10)</sup>があげられる。一方、P 群でも E 群と同様に投与後半で減少する傾向にあったことから、季節による変動、例えば環境温の低下などが影響したと思われる。

Weiser と Weihe (1967)<sup>27)</sup> は E を投与したネズミで、寒冷環境における E 需要量は温暖環境におけるよりも 50% も高いことを示した。同様に、佐藤と青木 (1984)<sup>20)</sup> はヒトで、運動量の多くなる 10 月から 1 月にかけて、血漿 E 濃度が減少することを観察している。これらの結果は明らかに投与終了時 (12 月下旬) に血漿  $\alpha$ -トコフェロール濃度が減少したことを説明するものであると思われる。青木<sup>1)</sup> は寒冷期におけるスポーツ選手あるいは冬季競技選手は、通常よりも多目に E を摂るように心がけるべきであることを示唆している。本研究の結果もこのことを支持するものであった。

一方、一日平均 380l.U. (417l.U. の 91%) の E 多量摂取は Normoxia での  $\dot{V}O_{2max}$  ならびにオール・アウト時間 (パフォーマンス) に P 群以上の効果を示さなかった。この結果は二重盲検法でなされた最近の平地での研究結果と一致する。すなわち、Shephard ら (1974)<sup>22)</sup> は一日 1,200l.U. の E を 78~92 日間にわたって投与したが、 $\dot{V}O_{2max}$ 、酸素負債量および筋力のいずれにも効果をみいだせなかった。同様の結果は、6 ヶ月間に及ぶ投与

でも持久力にプラセボ以上の効果は得られなかったことを示した Lawrence ら (1975)<sup>13)</sup>, および Sharman ら (1970)<sup>21)</sup>によっても示されている。また, 村岡ら (1986)<sup>16)</sup>も 9ヶ月に及ぶ1日100あるいは300mgの $\alpha$ -トコフェロール投与によっても $\dot{V}O_{2max}$ およびパフォーマンスに何らプラセボ以上の効果がみられなかったことを示している。

一方, 寒冷環境下あるいは低酸素(高地)環境下で, 持久力に対してEが有効に作用することをみた報告がいくつかある。例えば小川ら(1969)<sup>19)</sup>は一日300mgのEあるいはE+C(600mg)複合剤の投与が寒冷暴露に対する全身持久運動の際に, 有酸素能力に有効に作用したことを報告している。また, 長和ら(1969)<sup>18)</sup>は長距離選手を対象として一日300mgのEを4日間投与した結果, 標高2,700~2,900m地点でのオール・アウト実験でより秀れた成績をあげたことを明らかにした。同様の結果は4,500mの高度に相当する低圧室での作業能力に及ぼすEの影響を検討した小林(1975)<sup>11)</sup>によっても示されている。彼はE投与により低圧室での $\dot{V}O_{2max}$ が16%向上したことを観察した。

しかし, 本研究でのHypoxia条件下での実験では, E摂取が $\dot{V}O_{2max}$ に何ら効果を示さず, 報告された低酸素(高地)での研究結果とは一致しなかった。これは本研究で用いた酸素濃度が16.6~16.8%と比較的高いものであったことによるかもしれない。すなわち, この酸素濃度は高度にしておよそ1,800mに相当するものでしかない。この程度の高度では,  $\dot{V}O_{2max}$ および最高血中乳酸濃度は平地でのそれと大きく変わらないことが知られている<sup>2)</sup>。従って, このことが本研究で効果が得られなかった理由のひとつであると思われる。これらのことから, およそ2,000m以下の高度でなされる比較的短時間の持久的運動に対して, Eの影響は少ないと考えられる。

本研究のもうひとつの目的はATに及ぼすE摂取の影響を明らかにすることであった。ATは特にここ数年来,  $\dot{V}O_{2max}$ と同様あるいはそれ以上に, 持久的能力を表す生理学的指標として重要視されている<sup>6)12)24)</sup>。しかし, E投与の影響をみた研究はほとんどみられず, 村岡ら<sup>16)</sup>が“換気性閾値”に及ぼすE投与の影響を報告しているにすぎない。

そのなかで, われわれは長期間(9ヶ月)のE投与が換気性閾値を向上する可能性のあることを明らかにした。また, E投与は最大および最大下運動後の血中乳酸を減少することが示されている<sup>11)18)19)</sup>。

そこで, 本研究では“乳酸性閾値”に及ぼすE摂取の影響を検討した。その結果, 投与後に有意な向上がみられたのは, P群の% $\dot{V}O_{2max}$ および仕事率で表したOBLAだけであった。しかし, P群の投与後のOBLAはE群のそれとほぼ同様であったことから, この向上は多分投与前の% $\dot{V}O_{2max}$ および仕事率で表したOBLAのレベルがE群にくらべて低かったことによると思われる。このことは, 換気性閾値の向上はトレーニング前の初期レベルの低い者ほど大きいことを示した村岡ら(1985)<sup>15)</sup>の研究からも十分考えられることである。

以上のことから, 本研究の条件下ではHypoxiaを含めてOBLAに対してもE投与の影響がないものと考えられる。この結果は長期間のE投与により換気性閾値が向上したことを示した村岡らの結果<sup>16)</sup>と異なるものであった。

“換気性閾値”は乳酸の変移点から求められる“乳酸性閾値”と高い相関があることが示されている<sup>4)26)</sup>。しかし, 先の研究でE投与の結果向上の見られた換気性閾値(AT)は乳酸2mmol/lに相当する点であり, 本研究で用いたOBLAは4mmol/lに相当する点であった。また, 本研究のE摂取期間は38日間と短いものであった。この投与期間のちがいがもまた結果の不一致をもたらした理由かもしれない。

一方, 漸増最大運動後の血中乳酸値はNormoxiaでE投与後有意な上昇を示した。これはオール・アウト時間の延長と関連していると思われるが, それだけでは説明しきれない点もあり, その理由の詳細については不明である。逆にHypoxiaではE投与後最大運動後の血中乳酸値は, 有意ではなかったが減少する傾向を示した。この傾向は高地での最大運動後の血中乳酸値がE投与により有意に減少したことを示した研究結果<sup>11)18)19)</sup>を支持するものである。このように, 最大運動後の血中乳酸値が, E投与によりNormoxiaとHypoxiaで逆の関係がみられたことは興味深い。この点

に関しては今後さらなる研究が必要であると思われる。

また、Hypoxiaでの $\dot{V}O_{2max}$ およびパフォーマンスはNormoxia時に比べて低下することはよく知られている。本研究でも両群ともHypoxiaで有意な減少が観察された。しかし、この減少の割合は最高血中乳酸値を除いて両群とも同様であり、この傾向はE投与後でも同じであった(図4)。このことはまた、本研究で用いたHypoxia条件下ではE摂取が持久的能力に何ら影響しないことを示唆するものである。

以上の結果から、およそ40日間に及ぶ一日300mgの $\alpha$ -トコフェロール摂取は、NormoxiaおよびHypoxia(酸素濃度16.6~16.8%)条件下での比較的短時間で終了するような漸増運動に対しては、何ら効果を及ぼさないと結論された。今後、長時間の最大下運動に対するEの影響および運動に伴う血漿および赤血球中E濃度の変化を明らかにする必要があると思われる。

#### まとめ

- 1) 本研究の目的はNormoxiaおよびHypoxiaでのパフォーマンス(オール・アウト時間)、最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )ならびに乳酸性閾値(OBLA)に及ぼすビタミンEの影響を明らかにすることであった。
- 2) 被験者は早稲田大学漕艇部員15名であり、ビタミンE投与群(E群)あるいはプラセボ投与群(P群)にふり分けられた。
- 3) E群(n=7)は一日300mgのd- $\alpha$ -トコフェロール・アセテートを、一方、P群(n=8)は同量の外見上同一のプラセボを二重盲検法により投与された。なお、投与日数は38日間であった。
- 4) 運動テストは自転車エルゴメータを用いた漸増最大運動であり、投与前後にNormoxia(大気)およびHypoxia(酸素濃度16.6~16.8%)両条件下で行なわれた。
- 5) E群の血漿および赤血球中 $\alpha$ -トコフェロール濃度は投与後P群よりも有意に高い値を示したが、それらの濃度は両群とも環境温が低下した投与後半で減少する傾向にあった。

6) 一方、パフォーマンス、 $\dot{V}O_{2max}$ およびOBLAに関して、E投与に伴うと思われる変化はNormoxiaおよびHypoxiaの両条件下いずれの場合でも観察されなかった。

7) 以上の結果から、E必要量は寒冷期に増大する可能性のあることと、およそ40日間に及ぶ一日300mgの $\alpha$ -トコフェロール投与は、Normoxiaおよび本研究で用いたHypoxia条件下での比較的短時間で終了する漸増運動に対して何ら効果を及ぼさないと考えられた。

本研究を行なうにあたって、順天堂大学青木純一郎先生から多くの御助言を戴いた。また、ビタミンEおよびプラセボはエーザイ株式会社より提供を受け、血漿および赤血球中のビタミンE濃度測定においてはメディセル研究所安田耕太郎、木村良司両氏の御協力を戴いた。稿を終えるにあたり深謝する次第です。

#### 引用文献

- 1) 青木純一郎：ビタミンEとスポーツ医学。福場博保，美濃 真 監修，ビタミンE—基礎と臨床—，pp. 529—534，医歯薬出版：東京，1985。
- 2) Cerretelli, P. and di Prampero, P. E. : Aerobic and anaerobic metabolism during exercise at altitude. *Med. Sports Sci.*, 19 : pp. 1—19, 1985.
- 3) Cureton, T. K. : Effect of wheat germ oil and vitamin E on normal human subjects in physical training programs. *Amer. J. Physiol.*, 179 : 628, 1954.
- 4) Davis, J. A., P. Vodac, J. H. Wilmore, J. Vodark and P. Kurtz : Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.*, 41 : 544—550, 1976.
- 5) Dillard, C. J., R. E. Litov, W. M. Savin, E. E. Dumelin and Al L. Tappel : Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 45 : 927—932, 1978.
- 6) Farrell, P. A., J. H. Wilmore, E. F. Coyle, J. E. Billing and D. L. Costill : Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports*, 11 : 338—344, 1979.
- 7) 福場博保：ビタミンEの栄養必要量。福場博保，美濃 真 監修，ビタミンE—基礎と臨床—，pp. 282—286，医歯薬出版：東京，1985。
- 8) 浜村吉三郎：ビタミンの化学。福場博保，美濃 真 監修，ビタミンE—基礎と臨床—，pp. 3—13，医歯薬出版：東京，1985。

- 9) Haymes, E. M. : Protein, vitamins, and iron. In Williams, M. H., ed., *Ergogenic aids in sports*. pp. 27—55, Human Kinetics : Champaign, 1983.
- 10) 平原文子 : ビタミンEの安全性. 福場博保, 美濃真 監修, ビタミンE—基礎と臨床—, pp. 287—294, 医歯薬出版 : 東京, 1985.
- 11) 小林義雄 : 高所における有酸素作業におよぼすビタミンEの大量投与. *体育学研究*, 20 : 31—44, 1975.
- 12) Kumagai, S., K. Tanaka, Y. Matsuura, A. Matsuzaka, K. Hirakoba and K. Asano : Relationships of the anaerobic threshold with 5km, 10km, and mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49 : 13—23, 1982.
- 13) Lawrence, J. D., R. C. Bower, W. P. Riehl and J. L. Smith : The effect of  $\alpha$ -tocopherol acetate on the swimming endurance of trained swimmers. *Am. J. Clin. Nutr.*, 28 : 205—208, 1975.
- 14) Losowsky, M. S., J. Kelleher and B. E. Walker : Intake and absorption of tocopherol. *Ann. N. Y. Aca. Sci.*, 203 : 212—222, 1972.
- 15) 村岡 功, 富田寿人, 吉野貴順 : 最大酸素摂取量および換気性閾値に及ぼす異なる二種類の持久的トレーニングの影響. *早稲田大学体育研究紀要*, 17 : 31—37, 1985.
- 16) 村岡 功, 長畑芳仁, 青木純一郎 : 最大酸素摂取量および換気性閾値に及ぼすビタミンEの影響. *早稲田大学体育研究紀要*, 18 : 19—24, 1986.
- 17) 長嶺晋吉 編著 : 講座 現代のスポーツ科学 2, スポーツとエネルギー・栄養. pp. 226—228, 大修館書店 : 東京, 1979.
- 18) 長和達雄, 喜多 弘, 青木純一郎, 前嶋 孝, 塩沢邦子 : 持久性に及ぼすビタミンEの影響. *順天堂大学体育学部紀要*, 10 : 25—32, 1967.
- 19) 小川新吉, 青木純一郎, 前嶋 孝, 清水達雄, 伊藤 朗 : 寒冷環境下におけるビタミンE及びCの有酸素的運動能力に及ぼす影響. *日本体育協会スポーツ科学研究報告書*, No.xv : 1—8, 1969.
- 20) 佐藤 佑, 青木純一郎 : 陸上競技中長距離選手の持久力に及ぼすビタミンEの影響. *日本体育学会第35回大会号* : 367, 1984.
- 21) Sharman, I. M., M. G. Down and N. G. Norgan : The effect of vitamin E on physiological function and athletic performance of trained swimmers. *J. Sports Med.*, 16 : 215—225, 1976.
- 22) Shephard, R. J., R. Campbell, P. Pimm, D. Stuart and G. R. Wright : Vitamin E, exercise, and the recovery from physical activity. *Europ. J. appl. Physiol.*, 33 : 119—126, 1974.
- 23) Shephard, R. J. : Vitamin E and athletic performance. *J. Sports Med.*, 23 : 461—470, 1983.
- 24) Sjödin, B. and I. Jacobs : Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med.*, 2 : 23—26, 1981.
- 25) Van der Beek, E. J. : Vitamins and endurance training. *Food for running or faddish claims?* *Sports Med.*, 2 : 175—197, 1985.
- 26) Wasserman, K., B. J. Whipp, S. N. Koyal and W. L. Beaver : Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35 : 236—243, 1973.
- 27) Weiser, H. and W. H. Weihe : Effect of cold on the vitamin E requirement of rats. *Nature*, 215 : 1512—1513, 1967.

## Ⅳ 食物摂取状態調査及び血液生化学検査からみた スポーツ選手のビタミン栄養状態の評価

研究班員 小林修平\* 長嶺晋吉\*\*  
研究協力者 山川喜久江\*

合宿トレーニング期にあるスポーツ選手の栄養必要量については、激しい運動に伴う高レベルのエネルギー消費量に見合ったエネルギー摂取量の確保、十分な蛋白質摂取、ビタミン、とくにエネルギー代謝と関係の深いビタミン B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、ナイアシンを中心とした水溶性ビタミンの、エネルギー消費量に対応した摂取量増加、及び発汗によって失われるミネラルの配慮などが指摘されている<sup>1)2)</sup>。中でも水溶性ビタミンは体内貯留時間が短かく、摂取食物中に欠乏すると速やかに臨床症状となって発現するおそれがあり、また明確な臨床症状に至らぬまでも、エネルギー代謝不全状態からトレーニング効果を低下させるおそれ大きい。さいきんわが国の西部地域において予想外のビタミン B<sub>1</sub>欠乏症の多発をみた<sup>3)</sup>。このような事態に対応し、ビタミンの境界域欠乏状態を検出する方法論開発の重要性が提起され、これによる潜在性のビタミン欠乏者に関する調査がなされて来ているが、それらの結果は該当する境界域欠乏を疑わせる者が一般に広く分布していることを示している<sup>4)5)</sup>。激しい運動を行なうスポーツ選手はとくにこのような境界域ビタミン欠乏が懸念されるところであるが、わが国においてこのような対象に関する検討例はきわめて少なく<sup>6)</sup>、ことにきわめて激しいトレーニングを行なう長距離走、ボート選手についてのは見当らない。本研究はこのような境界域レベルのビタミン B<sub>1</sub>、および B<sub>2</sub>を予防するための摂取必要量を明らかにする目的で、合宿中のボート選手を対象に食物摂取量調査と、それに平行して血液生化学的に潜在性ビタミン欠

乏状態を検出しようとされている<sup>7)8)</sup>、補酵素効果による検査を実施し、検討を行なったものである。

### 方 法

被験者は早稲田大学漕艇部選手14名で、その体格及び体構成の平均値を表1に示した。体脂肪率は上腕及び背部の皮脂厚から長嶺の体密度計算式及び Brozek の体脂肪計算式によって算出した。

食物調査は合宿期後半の、授業等の影響が比較的少ない連続した3日間を選び、合宿所における給食については、各人の供給量から残食量を差引いて実摂取量を求めた。主として外食に依った昼食及び間食については、各被験者のメモに基づき、これを直接面接による聞きとりにより摂食内容及び摂取量を推定した。必要に応じて、外食した食堂に直接検者が赴き、同一メニューの出来上り量を秤量し、原材料に換算し4訂日本標準食品成分表により栄養摂取量を算出した。

血液生化学的手法によるビタミン B<sub>1</sub>および B<sub>2</sub>

表-1. 被験者の一般的身体状況  
(n=14)

項 目	数値(平均)	S.D.
年 齢(歳)	21.4	1.42
身 長(cm)	177.2	3.72
体 重(kg)	71.8	3.84
皮脂厚(mm)		
(上 腕)	7.7	1.95
( 背 )	9.5	1.43
( 臍 横 )	8.8	2.83
(3部計)	26.0	5.01
体脂肪(%)	11.4	1.38

\*国立栄養研究所健康増進部 \*\*大妻女子大学

栄養状態の評価は、静脈より採血し、赤血球中の酵素に対する補酵素添加効果で判定した。採血は早朝空腹時に行ない、ただちに遠心により血漿と血球画分の分離を行ない、血球画分について、ビタミン B<sub>1</sub>は Brin の方法<sup>7)</sup>によるトランスケトラーゼのチアミンピロリン酸添加効果率、ビタミン B<sub>2</sub>は Sauberlich らの方法<sup>8)</sup>によるグルタチオン還元酵素の FAD 添加効果率で評価した。

## 結 果

### 1 選手の栄養摂取状況

1日あたりの平均エネルギー及び栄養素摂取量を表2に示した。専門の調理担当者を置かず、部員自からの炊事による食事としては栄養所要量を大体充足し、全体としてのバランスを保っていた。すなわち、エネルギー摂取量は4619kcalで、今回は詳細な生活時間調査によるエネルギー消費状況は調べなかったが、調査期間中の体重の変動は僅かであった点、また同じく都内某大学のボート部合宿中のエネルギー消費量調査を実施した鈴木らの結果(平均4889kcal)<sup>9)</sup>にほぼ近い値であった。たん白質摂取量は、体重あたり2.1g/kgで、ト

レーニング期に摂取すべきとされている2g/kg<sup>1)</sup>を充足している。

脂肪の摂取エネルギー比率は、31.2%で、同じくトレーニング期の摂取レベルとして推奨されている30~35%にあてはまる。また、たん白質及び脂肪の動物性の摂取比率はいずれも約45%で、50%程度とされる目標値に近い値となっている。

カルシウムは778mgを摂取しており、一般に発汗量のそれほど多くない条件下のスポーツマンの所要量700~800mgに一致する。

鉄の摂取量は20.4mg/日であり、スポーツマンの所要量とされる20~30mgの下限ながら充足していると云える。

本研究の主たる目的であるビタミンについて見ると、まずビタミンAの摂取量は6932IUと極端に高い。これは、たまたま調査期間中にレバーを大量に摂る機会があった3人の特殊な例が平均値を著るしく高めたためであるが、運動にとってビタミンAがとくに必要であるとの根拠はまだないので、一般人の所要量である男子2000IUを基準とするならば、全員が所要量を充足している。ビタミン B<sub>1</sub>はエネルギー摂取レベルから考えると、4600

表-2. ボート部員の栄養摂取量 (n=14)

		Mean	±S.D.			Mean	±S.D.
Energy (kcal)	kcal.	4,619	±702 (3,285~5,883)	Calcium.	mg	778	±431 (447~1,910)
	kcal/kg.wt.	64.4	±10.3 (48.2~84.0)		Iron.	mg	20.4
Protein	Total. g	153.2	±23.9 (113.7~200.7)	Vitamin		A効力 IU	6,932
	g/kg.wt.	2.1	±0.1 (1.6~3.0)		B <sub>1</sub> mg	2.81	±0.5 (1.83~3.75)
Animal. %	45.8	±4.4 (37.5~51.2)	B <sub>2</sub> mg		2.70	±1.2 (1.60~5.85)	
Fat	Total. g	160.5	±27.3 (101.7~200.7)		ナイアシン mg	33.4	±5.2 (23.5~41.0)
	Animal. %	45.7	±4.8 (36.0~52.0)	C mg	168	±116 (74~540)	
Calorie Percents (%)	Carbohydrate	52.6	±2.3				
	Protein	13.3	±1.4				
	Fat	31.2	±2.5				
	Alcohol.その他	2.9					

kcalに相当する1.8mgの所要量をみだしているが、この水準で妥当かどうかについては後述のようになお議論のあるところである。ビタミンB<sub>2</sub>も同様にこのエネルギー摂取量に対応する所要量、2.48mgに対し、平均摂取量は2.70でこれも充足しているが、調理による平均的損失率(25%)を考慮すると、所要量をやや下まわることになる。ナイアシンについても所要量30mgに対し、摂取量33.4mgであって、これも所要量レベルに達している。ビタミンCは、運動によるストレスが副腎ビタミンCを消耗することなどを考慮した所要量100~200mgに対し、摂取量168mgで、充足してはいるが調理による損失を考えると問題がないとは云えない。

個人レベルの栄養摂取量を、とくにビタミンとそれに関連するエネルギー摂取量について整理したのが表3である。合宿期とはいえ、部分的には昼間授業に出席するものがあり、通学方法も自転車(片道約40分)、バイク、電車など様々で、そのためエネルギー消費量の個人差が大きく、これがエネルギー摂取量の個人差に反映されたものと思われる。各個人のビタミン摂取量は、上の集団評価のさいに述べた所要量と対比してもかなり良好なレベルにあると判定される。すなわち、ビタミ

ンAは、A効力として全員2000IU以上とっており、ビタミンB<sub>1</sub>も全員が1.8mgの所要量をこえている。またビタミンCも一人を除き100mgの所要量をこえている。しかし、ナイアシンについては3名が30mgの水準を充足しておらず、日本人一般について摂取不足傾向がしばしばみられるビタミンB<sub>2</sub>は個人差が大きく、8名のものが2.43mgの所要量レベルに達していない。

## 2 血液生化学的にみたビタミンB<sub>1</sub>及びB<sub>2</sub>の栄養状態。

今回はとくにスポーツ選手の境界域ビタミン欠乏状態を検出する目的で、補酵素添加効果による栄養状態評価を試みた。3回にわたり実施した各対象者についての平均値を表4に示した。ビタミンB<sub>1</sub>については、赤血球のトランスケトラーゼ活性に対するin vitroのチアミノピロリン酸添加効果でみたところ、14名の対象者中2名がBrinの基準<sup>7)</sup>による境界域欠乏状態、9名が欠乏状態と判定された。これらの合計は全体の79%に達する。

ビタミンB<sub>2</sub>については、同じく赤血球溶血液中のグルタチオン還元酵素活性に対するその補酵素のFAD添加効果をinvitroで測定することにより判定した。FAD効果指数1.20を超過した境界

表-3. 各対象者のビタミン摂取量

対象者No.	エネルギー	ビ タ ミ ン A			ビタミンB <sub>1</sub> mg	ビタミンB <sub>2</sub> mg	ナイアシン mg	ビタミンC mg
	kcal	レチノール(μg)	カロチン(μg)	A効力(IU)				
1	5,883	516	3,381	3,705	2.85	3.30	35.3	125
2	4,788	220	4,144	3,053	2.89	1.60	38.5	228
3	4,273	381	3,186	3,030	2.86	2.25	41.0	161
4	5,547	595	3,605	4,047	2.95	3.38	41.0	235
5	5,300	331	4,311	3,509	2.86	2.10	27.4	102
6	4,935	3,473	5,123	15,827	3.76	5.85	36.9	540
7	4,867	3,342	4,077	13,444	3.18	3.37	36.1	156
8	3,742	257	2,140	2,047	2.13	1.75	23.5	74
9	4,036	271	3,852	3,116	2.11	2.28	32.9	115
10	4,646	423	3,808	3,642	3.13	2.61	32.5	127
11	4,816	326	3,854	3,236	2.99	2.37	34.2	129
12	4,342	9,556	2,225	33,301	3.14	3.01	30.4	133
13	4,212	206	3,185	2,457	2.64	1.91	31.4	117
14	3,285	304	2,903	2,637	1.83	1.92	27.3	111

表-4. 各選手の赤血球トランスケトラーゼ活性のチアミンピロリン酸効果率及びグルタチオン還元酵素のFAD効果率

対象者番号	チアミンピロリン酸効果率* (%)	判定**	FAD効果指数***	判定****
1	21	△	1.19	○
2	25	△	1.25	△
3	38	×	1.32	△
4	29	×	1.08	○
5	35	×	1.33	△
6	13	○	1.04	○
7	10	○	1.18	○
8	31	×	1.29	△
9	38	×	1.24	△
10	26	×	1.16	○
11	50	×	1.12	○
12	50	×	1.37	△
13	31	×	1.10	○
14	8		1.24	△

\* チアミンピロリン酸 (TPP) 効果率 =  $\frac{(+TPP) - (-TPP)}{(-TPP)} \times 100$

\*\* 判定基準. ○, 正常(15%未満); △, 境界域欠乏(15~25%); ×, 欠乏(26%以上)

\*\*\* FAD効果指数 =  $\frac{(+FAD)}{(-FAD)}$

\*\*\*\*判定基準. ○, 正常(1.20未満); △, 境界域欠乏(1.20~2.00); ×, 欠乏(2.01以上)

域欠乏者と判定されたものは14名中7名(50%)であった。

### 考 察

ビタミンの栄養状態に関する調査の対象として、本研究では、とくに激しいトレーニング期における所要量水準を設定するための資料を得る目的で、合宿期における運動強度がもっとも高い代表例の一つであるボート選手を選んだ。ボート選手のトレーニング期における1日のエネルギー消費量は4500~5000kcalとされ<sup>1)</sup>、本研究の対象者の平均エネルギー摂取量4619kcalは、ほぼこのレベルに対応するものとみられる。また鈴木ら<sup>9)</sup>による大学ボート選手のエネルギー消費量調査結果ともよく一致するものであった。

これらの対象者の栄養摂取状況は、これまで提唱されてきた各栄養所要量をほぼみたとおり、

比較的バランスのとれた良好な状態であった。エネルギー源栄養素の構成比率も、糖質52.6%、たん白質13.3%、脂肪31.2%で、トレーニング期のスポーツ選手として、また健康上の視点からも過不足なく、とくに今回の対象者の場合食事が自主的メニューで調理提供されており、且つ平均1食は外食に依存していたにもかかわらず、かなり望ましい状態にあると云える。

ビタミンの摂取状況も平均的にはすべて所要量を充足していたが、個人のレベルでみた場合一部にやや不足気味の者もみられた。とくにビタミンB<sub>2</sub>は14名中8名が、スポーツ選手としての所要量を下回っていた。ナイアシンも3名にやや摂取不足の者がみられたが、激しい運動に伴うエネルギー代謝亢進にさいして、その必要量をもっとも問題になるビタミンB<sub>1</sub>は全員が所要量を超える摂取状況であった。各選手について簡単な問診を

行なったが、とくにビタミン欠乏症と云うべき自覚症状を訴える者はなく、また他覚的にもそのような状況は認められていない。

1973年頃より、西日本各地にインスタント食品の普及が一因と思われるビタミン B<sub>1</sub>欠乏症(多発性神経炎)が頻発したことはよく知られた事実であるが<sup>9)</sup>、このことからこれまでのような尿中のビタミン量を測定することによるビタミン B<sub>1</sub>判定法のみでなく、ビタミン B<sub>1</sub>の身体内利用状況をも観察しうる補酸素添加効果を原理としたいわゆる境界域ないし潜在的ビタミン欠乏症を検出する必要性が提唱されるようになった。とくにビタミン B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>及びナイアシンは、エネルギー代謝の亢進に伴ってその必要量が増加するとされており、スポーツ選手についてこのようなビタミンの潜在的欠乏状態の有無を調べることはとくに重要である。体がだるい等を訴える、いわゆる不定愁訴の者の中には、このような潜在的ビタミン欠乏状態のものが存在することも推察され、選手のトレーニング効果向上のためにもこの点に関する研究は重要であるが、わが国のスポーツ選手を対象としたこのような試みはきわめて少なく<sup>9)</sup>、ボート選手のような激しいトレーニングを行なう者についての調査は著者の知るかぎり皆無といつてよい。そこで今回の研究において、潜在的欠乏状態を検出しようとされている上記の方法を用いたビタミン B<sub>1</sub>及び B<sub>2</sub>の栄養状態判定を試みた。

ビタミン B<sub>1</sub>については実に14名中11名の境界域欠乏ないし欠乏と判定されるものが認められた。この結果は、これまで一般の住民を対象とした調査結果に比較し異常な高率で、たとえば筆者らの都内検診対象者の異常率32%<sup>10)</sup>、真田らによる女子大生及び老人ホーム入居者についての調査(各々50%及び48%)<sup>11)</sup>にくらべても明らかに高い。各選手対象者のビタミン B<sub>1</sub>摂取レベルがすべて所要量を充足していた事実をみると、この結果はビタミン B<sub>1</sub>所要量としての水準が、これら激しいトレーニングを行うスポーツ選手についてはなお低すぎることを示唆している。

ビタミン B<sub>2</sub>についても14名中7名という高率で境界域欠乏と判定されるものが観察された。個人レベルではビタミン B<sub>2</sub>はスポーツ選手と

しての所要量を充足していない者も高率に存在していたので、おそらく食事中の摂取量を所要量レベルに高めることで解決しうるものと思われる。

しかし、個人レベルでみたこれらのビタミン摂取量と、上述の血液生化学的判定法による結果とを対比させると、両者間に対応関係が必ずしも観察されない。また統計的に有意な相関も得られていない。これは、食物調査が合宿期中の偏った時期(最終期)に行われたため、血液生化学値に影響するような日常食パターンを把握しきれなかったことによる可能性もあるが、これらの生化学的方法が、単なる予備的スクリーニング法としての価値しかないという方法論的限界<sup>12)</sup>を示すものかも知れない。ただ、ビタミン B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>いずれについても本法で正常と判定された唯一の例(対象者番号6)は、日常からの総合ビタミン剤の服用者であったことは、本法のそれなりの意義を示唆し、興味深い。さらに他のスポーツ種目の選手など、トレーニング内容や、食事状況のことなる対象に調査範囲を拡大するとともに、これらのビタミンを食事に強化する介入研究を試みる必要がある一方、今回加味していないビタミンの調理損失(通常の摂取条件では30~50%程度とされる)をも考慮した調査により、ビタミン所要量と身体充足状況との関係を検討する必要がある。

今回の対象者は、日常の通学をしながら合宿トレーニングを行なっているやや変則的な時期にあったため、各個人の毎日のエネルギー消費状態にかなりのばらつきがあり、自主トレーニングプログラムの参加の度合によっては強度のトレーニングを行なっている者と、逆にほとんど早朝トレーニングのみの者もいた。試合を前にした集中的なトレーニングを実施する時期において改めて調査をおこなうことも、残された課題といえる。

さいごに、本調査に快く協力して頂いた早稲田大学漕艇部及び被験者となって頂いた部員諸兄、さらに栄養調査に助力頂いた湊久美子、石井恵子、倉持恭子の諸氏に感謝の意を表したい。

## まとめ

- 1 激しいトレーニングを行なうスポーツ選手の

ビタミン必要量を検討する目的で、合宿中の大学ボート部選手14名を対象に3日間の食物調査及び補酵素効果によるビタミン B<sub>1</sub>及び B<sub>2</sub>栄養状態の血液生化学的評価を行なった。

- 2 各栄養素の摂取量は、平均としてはスポーツ選手の所要量としてこれまで知られた水準を充たすものであったが、個人レベルの摂取量で見ると、ビタミン B<sub>2</sub>で8名(57%)、ナイアシンで3名(21%) 各々所要量に満たないものがあった。
- 3 血液生化学的手法でみたところ、ビタミン B<sub>1</sub>については11名(79%)、B<sub>2</sub>については7名(50%)が境界域欠乏ないし欠乏状態と判定された。
- 4 栄養摂取状況と血液生化学的評価とから、とくにビタミン B<sub>1</sub>の所要量について、これらの激しいトレーニングを行なう選手に対しては一定の結論を導くことができなかったことから、さらに調理損失を加味した調査などを含め、検討を重ねる必要があるものと思われる。

## 文 献

- 1) 長嶺晋吉：スポーツとエネルギー・栄養，pp. 111—120，(1979)，大修館書店
- 2) Wilmore, J. H. and Freurd, B. J.: Nutritional enhancement of athletic performance, *Nutrition Abstracts and Reviews*, 54, 1—16, (1984)
- 3) 有馬寛雄ほか：神経内科，4，161，(1976)
- 4) 横峯淳子ほか：ビタミン，52，89—95，(1978)
- 5) 木村美恵子ほか：ビタミン，56，479—486，(1982)
- 6) 金子佳代子ほか：日本栄養・食糧学会誌，38，409—413，(1985)
- 7) Brin, M. et al: *Am. J. Clin. Nutr.*, 17，240—258，(1965)
- 8) Sauberlich, H. E. et al: *Am. J. Clin. Nutr.*, 25，756—762，(1972)
- 9) 鈴木慎次郎ほか：栄養学雑誌，18，175—180，(1960)
- 10) 苫米地孝之助ほか：昭和59年度健康づくり特別研究報告書，pp. 27，(1985)
- 11) 真田宏夫ほか：国立栄養研究所特別研究報告書，pp. 39—46，(1985)
- 12) 栗山 勝ほか：ビタミン，52，83—87，(1978)

## V 運動によるビタミンE所要量の変化について

執筆者 福場博保

研究協力者 熊谷美智世

### 緒言

最近“過酸化脂質”ということばは様々な生体現象を議論するときに広く登場してくるようになってきた。

過酸化脂質とは、不飽和脂肪酸への酸素添加反応によって生じた物質であり、ヒドロペルオキシド、エンドペルオキシドのほか多くの前駆体、誘導体、分解物を含んだ物質群を指す。この過酸化脂質は生体内各組織のいたるところで発し得るものであり、この過酸化脂質の増加と時期を同じくして生体内で何らかの機能変化や障害がみられることから、過酸化脂質は各種疾患の誘因あるいは指標となるのではないかと考えられている。過酸化脂質と種々の疾患との関連性を明らかにするためには、生体内で産生される過酸化脂質の作用、生体外から摂取される過酸化脂質の作用、生体内で過酸化脂質から誘導される物質の作用およびこれらに対する消去系の関与などを考慮に入れねばならない。

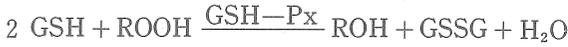
過酸化脂質の生成メカニズムについて少し述べる。生体内で過酸化脂質が生じるためには、不飽和脂肪酸または酸素のいずれか、あるいはその両方が活性化されなければならない。脂質過酸化反応の中で最も主な反応は不飽和脂肪酸の自動酸化である。生体膜の主要成分であるリン脂質の脂肪酸の過半は不飽和脂肪酸からなっており、これから水素が引き抜かれて脂質ラジカル(R·)が生成する。その後 $^3\text{O}_2$ が付加しペルオキシラジカル( $\text{ROO}\cdot$ )となり別の脂肪酸からプロトンを引き抜く。このように自動酸化はラジカル連鎖反応で

ある。また、活性酸素酸化によっても脂質の過酸化反応は起こる。活性酸素は、組織内の酸素や物質の酸化過程から生じる。呼吸により取り入れた酸素はヘモグロビンにより組織に運ばれる。組織に渡されると、酸素は脂質で構成された膜を伝わりながら拡散していく。このように酸素の多くは細胞膜に溶けて存在する<sup>1)</sup>。言い換えれば、過酸化脂質生成の出発物質である不飽和脂肪酸と酸素が隣接して存在し得ることになり、過酸化反応が起こり得ることになる。

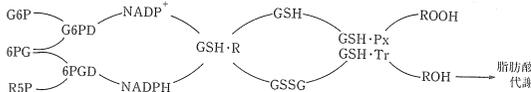
このように生じた過酸化脂質の作用のうち最も大きなものは、生体膜機能に及ぼす影響であろう<sup>2)</sup>。生成した過酸化脂質は近傍に存在するタンパク質を変性させたり、生体膜構成成分組成や構造を変えたりすることにより、生体膜によって調節されている生体物質の局在化や選択透過、能動輸送などの機能を障害するとともに、酵素蛋白質の変性やホルモン、ビタミンの失活等を引き起こすことになる。Tappelら<sup>3),4)</sup>は酵素の不活性化において脂質ペルオキシラジカルと蛋白質の複合体の形成を認めている。リソソーム顆粒での過酸化脂質の生成は、膜の透過性の変化や崩壊を引き起こし、種々の加水分解酵素の漏出をきたし、細胞壊死へとつながる。したがって、過酸化脂質の生成は細胞の機能低下、壊死をもたらす、血栓症、動脈硬化症<sup>5)</sup>、肝炎、肺浮腫、皮膚疾患、眼疾患など、諸臓器、諸組織の疾患、さらには老化などとも関連性があると考えられる。また前述のような害作用を及ぼすのはヒドロペルオキシド(HPO)にかぎらず、その二次分解物であるヒドロペルオキシドアルケナール(HPOA)、その他にも同様に毒性があると考えられる。

ところが、生体にはこれら過酸化脂質あるいは

過酸化反応そのものに対する防御機構が存在する。抗酸化系酵素は過酸化脂質を酵素的に分解している。グルタチオンペルオキシダーゼ (GSH-Px) は抗酸化系酵素の主なものであるが、次式のように脂肪酸ヒドロペルオキシド (ROOH) を無毒なヒドロキシ脂肪酸 (ROH) に還元している。



還元型のグルタチオンを保持するために、細胞内では次のような共役反応が営まれている。



GSH-Px と同様の反応を触媒する酵素として、GSH-Tr の存在も知られているが、GSH-Px は過酸化水素をも代謝するが、GSH-Tr は過酸化水素を基質としない。一方、活性酸素の代謝酵素として SOD が知られている。これは次のような反応を触媒し、スーパーオキシドラジカル ( $\text{O}_2^-$ ) を反応性の低い三重項酸素に異性化する。



生体内には、酵素系だけではなく、抗酸化剤による脂質過酸化防止機構も存在する。その中で最も有名なものはビタミン E である。ビタミン E は活性酸素だけでなく、不飽和脂肪酸のラジカル体をも消去する。このビタミン E のラジカル消去機構はアスコルビン酸や GSH の相互作用によって説明され、ビタミン E の抗酸化力はアスコルビン酸の共存下で増強するとの報告もある。ビタミン B<sub>2</sub> はリボフラビンを補酵素とする GSH-Px 系の活性が低下するのを防止している。さらには他の生理活性物質への転換など過酸化脂質の多元的な分解、生成抑制機構が存在している。

生体における過酸化脂質は生理的因子、たとえば栄養状態、ストレス、種差、性差、老化などの他に、重金属、大気汚染物質、薬物、放射線などのような環境因子の影響も受けるということが知られてきており、これらに関する研究も数多く報告されている。本研究では運動による生体内過酸化脂質の変動に着目し、検討を進めていくことにした。

運動というのは、Selye<sup>7)</sup>のストレス学説<sup>8)</sup>によ

ればストレスの一種と考えることができる<sup>7)</sup>。つまり、適度の運動負荷は生体に刺激を与え組織の機能を一時的に低下させるが、回復した後では適応現象として生体機能はもとの状態よりも高い水準にあがる。しかし、疲労困憊に陥るほどの過度の負荷では、ホメオスタシスを維持できなくなり健康を害することになる<sup>8)</sup>。

運動はその強さや種類により呼吸、循環機能に変化を来し、物質代謝における酸素の役割を変える。適度の運動の場合は、酸素の供給も十分となり<sup>8)</sup>、解糖系や TCA 回路、および脂肪酸の  $\beta$  酸化に共役して酸化的リン酸化や電子伝達系が順調<sup>9)</sup>に働く。一方、過度の運動の場合には生体内は一時的に低酸素状態になる。この場合、組織内の酸素分圧は低下し、非共役状態の電子伝達系から電子が漏出するため、スーパーオキシドラジカル ( $\text{O}_2^-$ ) やその他のラジカルが生成して脂質の過酸化反応が起こると考えられている<sup>9)</sup>。

運動負荷を受けた動物の生理学的および生化学的研究は古くから行われているが、過酸化脂質との関連性が注目されたのは近年になってからである。

運動負荷方法としては、ヒトに対してはトレッドミル走行、ステップ昇降、自転車エルゴメーター、水泳などがある。一方、動物に対しては回転かごやトレッドミル走行、水泳などがあるが、運動による過酸化脂質の変動は運動の種類よりもむしろ運動の強度の影響を受け易い傾向がある<sup>43)</sup>。

Brady<sup>10)</sup>、Meerson<sup>11)</sup>、岸原<sup>12)</sup>、Salminen<sup>13)</sup>らは疲労困憊に到るような過度の運動においては、血液、肝臓、脳あるいは骨格筋で過酸化脂質の上昇がみられると報告している。さらに、Gee と Tappel ら<sup>14)</sup>は過度の運動負荷により、過酸化脂質の指標とされている呼気中ペンタン量が増加することを報告している。一方、Viinika<sup>15)</sup>や Salminen ら<sup>16)</sup>は、あらかじめ運動訓練された場合には、生体内の過酸化脂質の上昇が抑制されるだけでなく、むしろ減少するとの報告をしている。これらの結果より、生体に障害を引き起こす過酸化脂質の変動に関するかぎり適切な種類と強さの運動訓練を重ねることにより、健康を維持できるだけでなく、過酸化脂質が関連していると考えられる動脈硬化、

注 1) 非特異的の刺激により、からだに生じた歪みに対する適応性を含む一連の反応をストレスと名付けた。

肝臓病，老化などに対し予防効果も期待できるのではないかと考えられる。

前述のようにビタミンEは天然の抗酸化剤の一種であり，ビタミンEの栄養状態の点からもこの問題について検討する必要がある。Diallardら<sup>17)</sup>やBradyら<sup>18)</sup>はビタミンE欠乏時においては運動により過酸化脂質が増加すると報告している。一方，ビタミンEを添加することにより過酸化脂質の増加は抑制される<sup>11),17),18)</sup>と言われている。

これまで，過酸化脂質抑制に効果があると考えられる訓練運動やビタミンEについて，別々に研究した報告はあるが，この2つの条件を組み合わせた実験報告はないように思われる。そこで本研究では，ビタミンEを十分に摂取しかつ訓練させた場合とさせない場合について，ビタミンE欠食でかつ訓練させた場合とさせない場合について，運動負荷を加えたときの過酸化脂質の変動に着目した。以下その結果を報告する。

## 1. 1 実験材料と方法

### 1. 1. 1 実験動物

動物は，松本実験動物研究所（千葉市）より購入したSprague-Dawley系雄ラットを用いた。実験I，IIでは6週令，実験IIIではビタミンE欠乏ラットを作る必要性から3週令（離乳直後）のラットを用いた。実験Iでは，運動負荷を加える前日に平均体重が等しくなるように6匹ずつ3群に分けた。実験IIでは8匹ずつ2群に，実験IIIでは6匹ずつ4群に分けた。各ラットとも5つに区切られた金網ケースに一匹ずつ入れ，室温を22～24℃に保った飼育室で飼育した。飲料水および飼料は自由に摂取させ，1日おきにほぼ同時刻に体重を測定した。

### 1. 1. 2 飼料

飼料は表1に示す組成のものを使用した。実験IおよびIIでは，ビタミンEを1kgあたり20IU含む飼料を，実験IIIでは，1kgあたり500IU含む飼料を与えた。これら2種類の飼料に最終比率として8%になるように，分子蒸留によりビタミンEを除去したコーン油を混合し，さらに70～80℃の温湯を加えて団子状にしてラットに与えた。

### 1. 1. 3 運動員負荷方法

モーター駆動式のトレッドミルによる運動を試みたが，ラットの尾が歯車にからまったり，抵抗して走ろうとしないラットがいるなど負荷の確実性の点で問題があったので，今回は水泳負荷方法を採用した。水温30～35℃の水槽にラットを1匹ずつ入れ，20分間強制的に泳がせた。

### 1. 1. 4 実験群別

持続的水泳訓練の有無，負荷終了後から解剖までの時間の違いおよび食餌性ビタミンE摂取量の違いにより次のように群別した。

#### 実験I

グループ1：コントロール（水泳負荷なし）

グループ2：20分間の水泳負荷直後に解剖

グループ3：20分間の水泳負荷1日後に解剖

#### 実験II

グループ1：20分間の水泳訓練を16日間行い最終訓練直後に解剖

グループ2：20分間の水泳訓練を15日間行い最終訓練1日後に解剖

#### 実験III

グループ1：ビタミンE（500IU）添加食のコントロール（水泳負荷なし）

グループ2：ビタミンE（500IU）添加食で20分間の水泳訓練を17日間行い最終負荷1日後に解剖

グループ3：ビタミンE欠乏食のコントロール（水泳負荷なし）

グループ4：ビタミンE欠乏食で20分間の水泳訓練を17日間行い，最終負荷1日後に解剖

### 1. 1. 5 肝臓摘出方法

ラットをエーテルで軽く麻酔し，腹部大動脈に針付きチューブを差し込んで放血死させ，その後肝臓を摘出した。摘出した肝臓は重量を測定し，1番大きい一葉を根元からはずし，門脈より冷生理食塩水を注入し十分灌流した。これらの肝臓はスクリュウビンに入れ，-80℃のフリーザーに用時まで凍結保存した。

### 1. 1. 6 肝ホモジネートの調製

灌流した肝臓は解凍し約1.0gを切り取り，窒素気流下でテフロンホモジナイザーでホモジナイズ

第1表 飼料組成

Corn starch	36%
Casein (Vitamin free)	25
Pregelatinized wheat starch	10
Filter paper (powdered)	8
Mineral mixture*	6
Granulated sugar	5
Vitamin mixture**	2
<hr/>	
Total	92
Corn oil (distilled)	8
<hr/>	
Total	100

\* Mineral mixture/100g

K	420mg
P	990
Ca	560
Na	250
Mg	74.9
Fe	27.0
Zn	5.1
Mn	2.2
Cu	0.57
I	0.46

\*\*Vitamin mixture/100g

Vitamin A	1,000 I.U.
D <sub>3</sub>	200
B <sub>1</sub>	2.4 mg
B <sub>2</sub>	8.0
B <sub>6</sub>	1.6
B <sub>12</sub>	0.001
C	60.0
K <sub>3</sub>	10.4
Biotin	0.04
Folic acid	0.4
Ca-pantothenate	10.0
P-aminobenzoic acid	10.0
Niacin	12.0
Inositol	12.0
Cholin-Cl	400

し、10%ホモジネートを作った。このホモジネートの一部をTBA値、 $\alpha$ -トコフェロールおよび非タンパク性SH基の測定に用いた。残りのホモジネートは12,000×gで10分間遠心分離を行い、さらにその上清を105,000×gで60分間遠心分離した。この上清の一部をGlutathione peroxidase (GSH-P<sub>x</sub>), Glutathionereductase (GR), Glucose-6-phosphatedehydrogenase (G6PD), 6-Phosphogluconate dehydrogenase (6PGD), Glutathione S-transferase (GSH-tase)の酵素活性の測定に使用した。残りの上清は0.1mM EDTAを含む50 mM Na, K-リン酸緩衝液 (pH7.5) に20時間透析 (外液は2回交換) し、この透析試料をSuperoxide dismutase (SOD), Disulfide reductase

(DSR)の測定に用いた。またタンパク質の定量は、牛血清アルブミンを標準としてLowry<sup>19)</sup>らの方法に従って行った。一方、灌流していない肝臓はビタミンC定量として上述のように10%ホモジネートを作った。

#### 1. 1. 7 TBA 反応物質の測定

肝臓のTBA値の測定は武内<sup>20)</sup>らの方法に従って行った。その測定スキームを図1に示す。

#### 1. 1. 8 抗酸化防御機構系酵素活性の測定

i) Glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD)

G6PDの活性測定は、Wilhelm<sup>21)</sup>らの方法に従った。反応液は、10mM MgCl<sub>2</sub>を含む0.1Mトリス塩酸緩衝液 (pH7.5) 460 $\mu$ l, 4 mM NADP<sup>+</sup> (オ

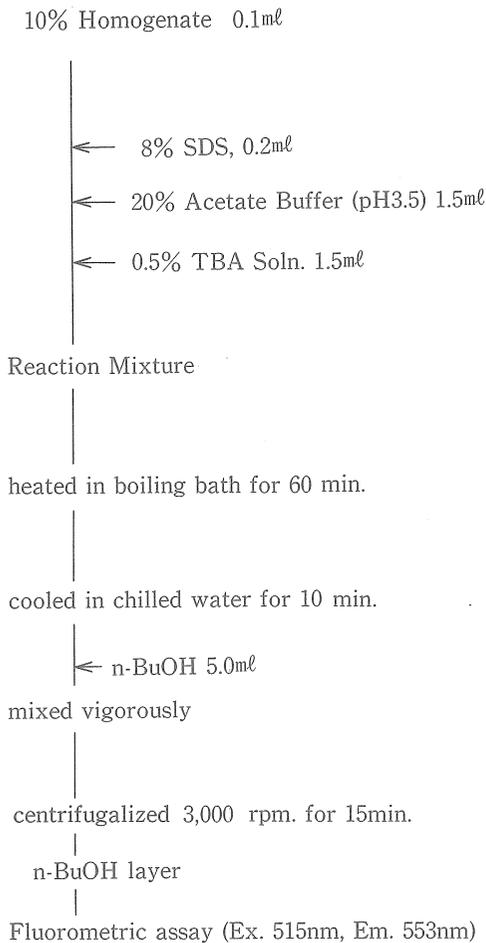


図-1. 肝中のTBA反応性物質の測定法

リエントラル酵母糖) 60 $\mu$ l, 12mM Glucose-6-phosphate $\cdot$ Na<sub>2</sub> (Sigma) 60 $\mu$ l の合計580 $\mu$ l からなり, これに酵素液20 $\mu$ l を加えて, 30 $^{\circ}$ C で反応を開始させた。測定は, 340nm における吸光度の増加を反応開始60秒後から30秒おきに10回読み取りで行った。

ii) 6-phosphogluconate dehydrogenase (6PGD)  
6PGD の活性の測定は, G6PD の場合の20mM MgCl<sub>2</sub> と6.5mM Cysteine を含む0.1M トリス塩酸緩衝液 (pH8.5) に, Glucose-6-phosphate を6-phosphogluconate (Sigma) にかえて行った。測定条件は G6PD と同じである。

iii) Glutathione peroxidase (GSH-P<sub>x</sub>)

GSH-P<sub>x</sub>活性の測定は, Little ら<sup>22)</sup>の方法に従っ

た。反応液は, 0.1M トリス塩酸緩衝液 (pH7.0) 380 $\mu$ l, 2 mM NADPH (オリエンタル酵母糖) 60 $\mu$ l, 5 mM GSH 60 $\mu$ l, 10mM Cumene hydroperoxide 60 $\mu$ l, GSH-R (1.2units, オリエンタル酵母糖) 20 $\mu$ l を加えて580 $\mu$ l とし, これに酵素液20 $\mu$ l を加えて, 30 $^{\circ}$ C で反応を開始した。反応初速度は, NADH の340nm の吸光度の減少から求めた。非酵素的反応の補正のために酵素液の代わりに緩衝液を加えた場合の反応を同時に行い, この値を酵素添加反応の値から差し引いて補正した。測定は, 反応開始20秒から15秒おきに10回読み取りで行った。

iv) Glutathione reductase (GSH-R)

GSH-R 活性の測定は, Bergmeyer<sup>23)</sup>の方法に従った。反応液は, 1 mM EDTA $\cdot$ Na<sub>2</sub> を含む0.1 M トリス塩酸緩衝液 (pH8.0) 460 $\mu$ l, 2 mM NADPH 60 $\mu$ l, 10mM GSSG (PL Biochemicals Inc.) 60 $\mu$ l の合計580 $\mu$ l からなり, これに酵素液20 $\mu$ l を加えて, 30 $^{\circ}$ C で反応を開始した。測定条件は, GSH-P<sub>x</sub>と同じである。

v) Glutathione S-transferase (GSH-Tase)

GSH-Tase 活性の測定は, Habig ら<sup>24)</sup>の方法を修飾して行った。反応液は, 0.1M リン酸緩衝液 (pH6.5) 496 $\mu$ l, 0.1M GSH 48 $\mu$ l, 1 mM 1-chloro-2, 4-dinitrobenzene 16 $\mu$ l の合計560 $\mu$ l からなり, これに酵素液40 $\mu$ l を加えて, 30 $^{\circ}$ C で反応を開始させた。非酵素的反応の補正のために, 酵素液の代わりに, リン酸緩衝液を加えた場合の反応を同時に行い, この値を酵素反応の値から差し引いて補正した。反応初速度は, GSH 抱合体の340nm での吸光度の増加から求めた。測定条件は GSH-P<sub>x</sub>と同じである。

vi) Superoxide dismutase (SOD)

SOD 活性の測定は, Mccord ら<sup>25)</sup>によるFerricytochrome C 還元法に従った。反応液は, 10<sup>-4</sup> M EDTA Na<sub>2</sub> を含む50mM リン酸緩衝液 (pH. 7.8) 80 $\mu$ l, 25 $\times$ 10<sup>-5</sup>M Xanthine (和光純薬糖) 80 $\mu$ l, 1 $\times$ 10<sup>-5</sup>M Ferricytochrome C (Sigma) 100 $\mu$ l 及び, 2.0 units の Xanthine oxidase (Sigma Buttermik 由来) 100 $\mu$ l の合計400 $\mu$ l からなり, これに酵素液10 $\mu$ l を加えて, 30 $^{\circ}$ C で反応を開始させた。測定は Cytochrome C 還元型の波長である

550nm での吸光度の増加を反応開始30秒から15秒おきに10回の読み取りで行った。また SOD が存在しない状態での還元型 Ferricytochrome C 生成の反応速度 (V) は, SOD 酵素液の代わりに上記リン酸緩衝液を用いて同時に測定した。SOD 活性 (units) の計算は, SOD 存在による還元型 Ferricytochrome C 生成速度 (v) と上記 (V) から  $V-v/v$  によって求めた。

vii) Disulfide reductase (DSR)

DSR の活性の測定は, シスチンを基質として, Tietze<sup>26)</sup>の方法によって行い, その形成されたシステインは NPSH と同様に Delucia ら<sup>27)</sup>の方法

で定量した。

1. 1. 9 生体内抗酸化性物質

a.  $\alpha$ -トコフェロールの定量

血清<sup>28)</sup>および赤血球<sup>29),30)</sup>の  $\alpha$ -トコフェロールの抽出は, ラットの屠殺当日に, 定量は翌日行った。肝臓<sup>31)</sup>の  $\alpha$ -トコフェロールは 1. 1. 6 で述べた10%ホモジネートからその日のうちに抽出し, 定量は後日行った。各々の定量方法は図 2, 3, 4 に示す。なお, 定量分析は高速液体クロマトグラフィーで行った。分析条件は表 2 に示す。

b. 非タンパク性 SH 基の定量

Delucia ら<sup>27)</sup>の方法により行った。そのスキーマ

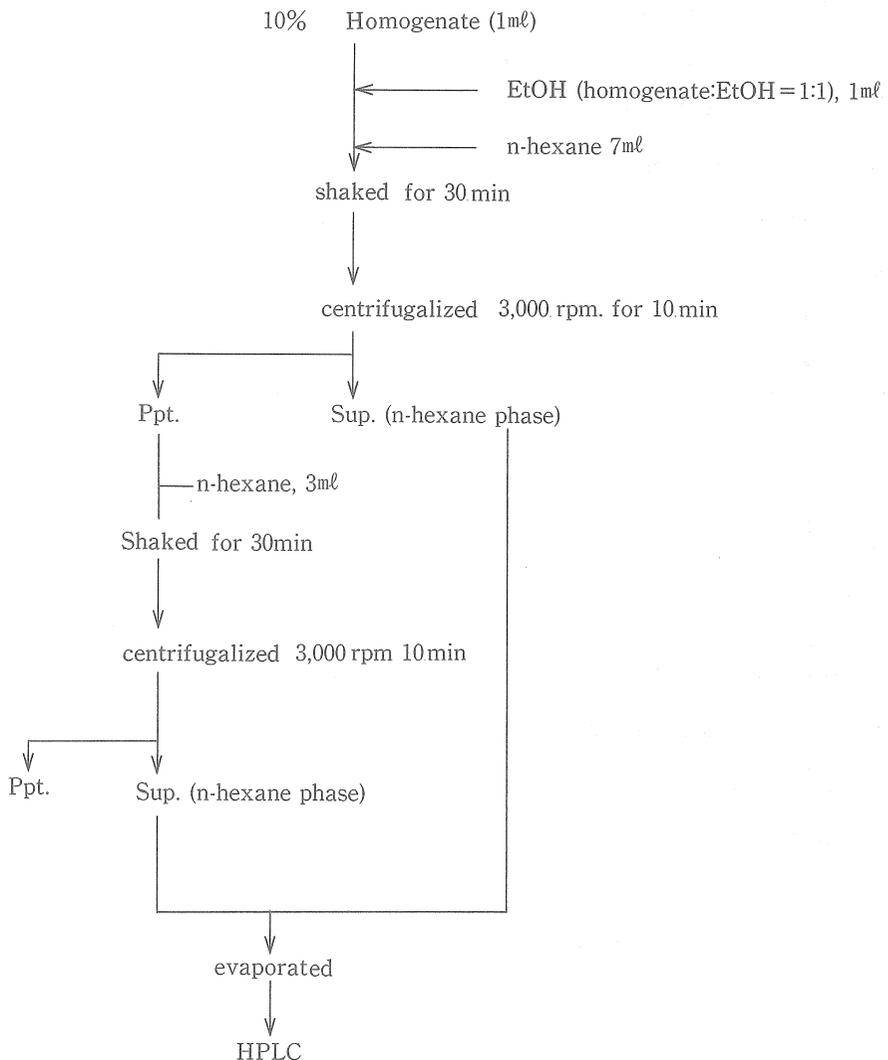


図-2. 肝中 $\alpha$ -トコフェロール量の測定法

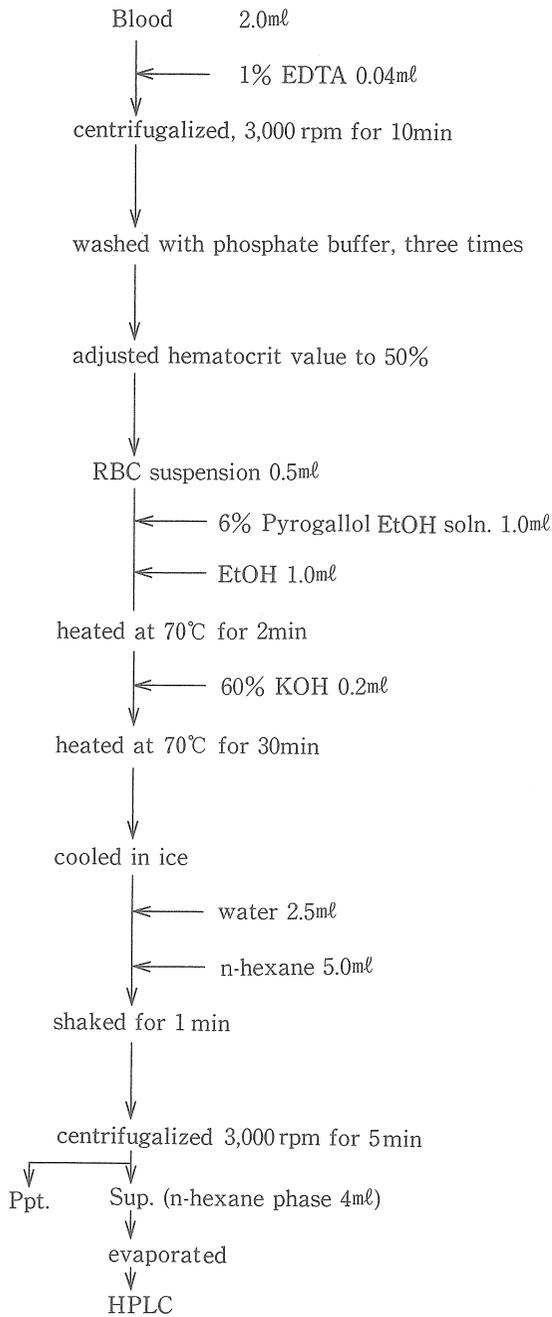


図-3 血球中のトコフェロール量の測定法

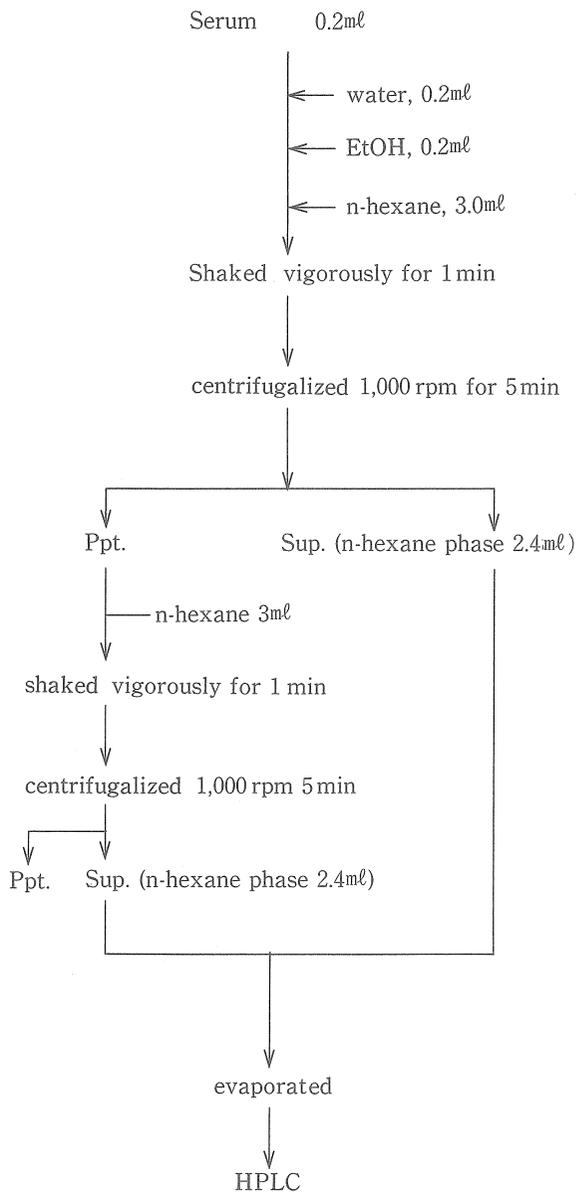


図-4 . 血清中のトコフェロール量の測定法

表-2 高速液体クロマト法

Instrument	;	Shimadzu Liquid Chromatograph LC-3A
Column	;	Nucleocil 5NH <sub>2</sub>
Mobile Phase	;	n-hexane ; iso-propyl alcohol (99.25 ; 0.75)
Flow Rate	;	1.4ml/min.
Detector	;	Shimadzu Spectrofluorometer RF-500 (EX, 298nm, Em, 325nm)
Chart speed	;	5 mm/min
Internal Standard	;	6-hydroxy-2, 2, 5, 7, 8-pentamethyl chroman

ムを図5に示す。

c. ビタミンCの定量

$\alpha$ ,  $\alpha'$ -ジピリジル法<sup>42)</sup>により測定した。その測定スキームは図6に示す通りである。

1. 2 結果

1. 2. 1 実験1…非訓練ラットの水泳負荷実験

i) 体重変化

各群とも体重は1日あたり6~7gの割合で増加しており、3群間に差は認められなかった。各群の解剖前日の平均体重は、各々232.3g, 235.2g, 231.3gであった。

ii) TBA値

測定結果は図7に示す通りである。肝臓のTBA値は運動負荷直後では運動負荷していないコントロールの値より有意に増加していた ( $P < 0.025$ )。これに対し、運動負荷1日後のTBA値はコントロール群の値と変わらず、水泳負荷前の値に戻っていた。

iii) 酵素活性の変化

結果は表3に示した。TBA値の変化の場合とは逆に、水泳負荷直後の群ではほとんどの酵素活性はコントロール群の値より低下していた。特にGlucose-6-phosphatedehydrogenase (G6PD)はコントロールに比べ、水泳負荷直後の群では低下していた。6-Phosphogluconatedehydrogenase (6PGD)も負荷直後の群はコントロールに比べ有意 ( $P < 0.025$ ) に低下していた。Glutathione

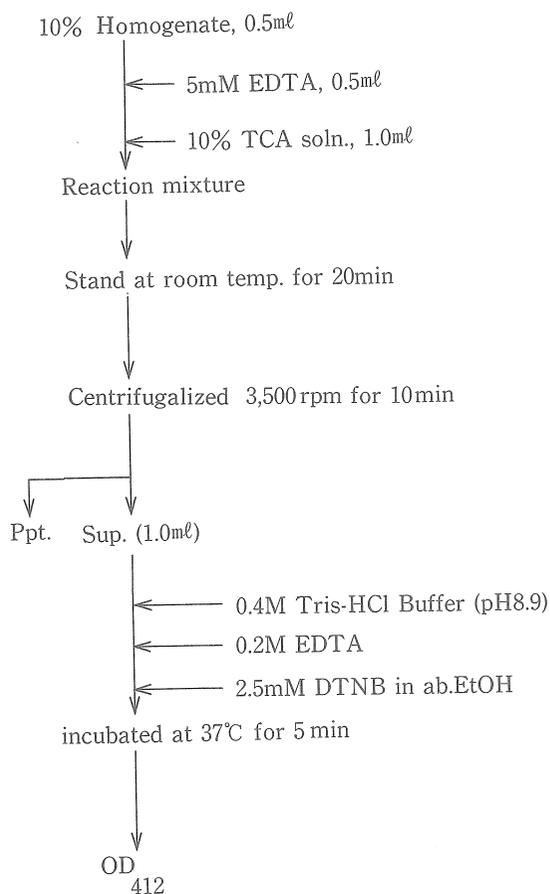


図-5. 肝中非たん白態-SH基の測定法

表—3 非訓練ラットの運動による抗酸化性酵素の変化

MEAN ± S.D.

	Control	Time after exercise	
		Immediately	1 day
G6PD <sup>1)</sup>	171.9 ± 40.0	139.3 ± 25.3	172.3 ± 53.0
GPGD <sup>1)</sup>	165.0 ± 25.8	133.9 ± 12.2*	179.9 ± 26.5
GSH-Px-Cumene <sup>1)</sup>	209.6 ± 10.0	201.7 ± 17.7	221.7 ± 23.2
GR <sup>1)</sup>	103.9 ± 36.3	92.5 ± 26.6	106.0 ± 31.8
GSH-Tase <sup>2)</sup>	1,320.5 ± 148.0	1,304.8 ± 144.2	1,521.1 ± 161.0
SOD <sup>3)</sup>	48.0 ± 1.1	45.7 ± 1.3	48.7 ± 1.3
DSR <sup>4)</sup>	52.0 ± 0.9	58.6 ± 6.3	64.5 ± 8.5

Significantly different from Control \*, p < 0.025

- 1) n moles NADPH formed or seduced/mg-protein/min
- 2) n moles of metabolite formed/mg-protein/min
- 3) unit/mg-protein/min
- 4) n moles cysteine formed/mg-protein/hr

表—4 非訓練ラットの運動負荷による肝、血清、血球中の抗酸化性物質濃度の変化

NEAN ± S.D.

	Control	Time after exercise	
		Immediately	1 day
NPSH			
liver(μmoles/g liver)	2.7 ± 0.2	3.6 ± 0.9	2.8 ± 0.2
α-Tocopherol			
liver(μg/g liver)	15.7 ± 4.0	10.7 ± 4.0	14.5 ± 2.6
serum(μg/ml)	3.4 ± 0.6	2.5 ± 0.3	3.2 ± 0.2
RBC(μg/ml packed cell)	0.9 ± 0.2	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.2
Ascorbic acid			
liver(mg/g liver)	1.7 ± 0.2	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.1

peroxidase (GSH-Px), Glutathione S-transferase, (GSH-Tase), Disulfide reductase (DSR) は負荷 1 日後の群でコントロール値より高い傾向がみられたが有意な差はなかった。Glutathione reductase (GSH-R), Superoxide dismutase (SOD), においては 3 群間でほとんど差は認められなかった。

iv) 抗酸化剤の変化

非タンパク性 SH (NPSH) は運動直後の群でコントロール値よりも、若干の上昇傾向がみられたが、有意差は認められなかった。α-トコフェロールは、運動負荷直後ではコントロール値に比べ、肝臓、赤血球、血清いずれにおいてもやや低値を示した。ビタミンCは3群間に差はみられなかった。(表4)

v) 各項目間の相関

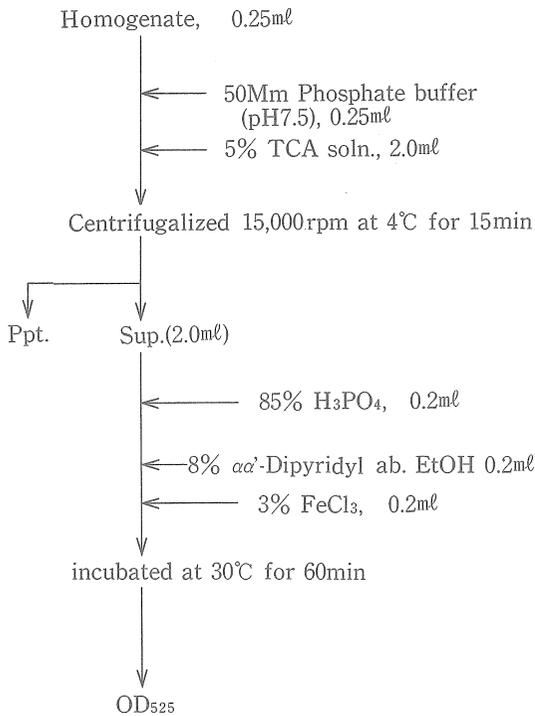


図-6. 肝 アスコルビン酸量の測定法

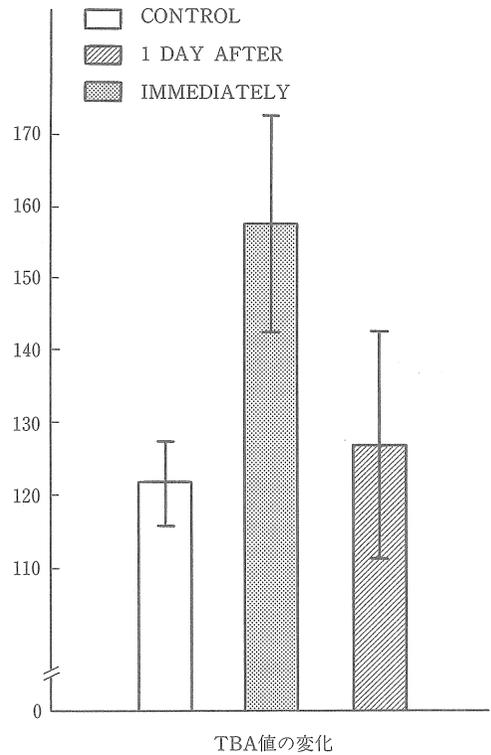


図-7 TBA値の変化

表5に各項目間の相関を示した。どの項目間においても有意な相関関係は認められなかった。

### 1. 1. 2 実験II…持続的水泳訓練を受けたラットでの実験

#### i) 体重変化

各群とも体重は5～7gの割合で増加しており、運動負荷直後と1日後の値の間に差は認められなかった。解剖前日の両群の平均体重は208.3gと207.6gであった。

#### ii) TBA値

持続的訓練をさせたラットを用いたこの実験では、運動負荷直後および運動負荷1日後のTBA値はそれぞれ $85.5 \pm 12.8 \mu\text{moles/g}$ 肝と $77.3 \pm 11.4 \mu\text{moles/g}$ 肝であり、運動負荷直後の値と運動負荷1日後の値との間に差は認められなかった。

### 1. 2. 3 実験III…持続的水泳訓練を受けつつビタミンE含量の違う食餌を与えたラットでの実験

#### i) 体重変化

各群の成長曲線を図8に示した。

#### ii) TBA値

肝臓のTBA値は、ビタミンE添加(500I. U./kg)食群においては、水泳訓練していないコントロール群よりも水泳訓練させた群で有意( $P < 0.05$ )に低い値を示した。ビタミンE欠乏群では2群間に差は認められなかった。ビタミンE添加食あるいはビタミンE欠乏食を与えたコントロール群の値は欠乏食群で有意( $P 0.005$ )に高かった。一方、ビタミンE添加食あるいはビタミンE欠乏食を与えて水泳訓練させた群においては、欠乏食群のTBA値の方が有意( $P < 0.005$ )に高かった。以上の結果より、ビタミンE添加食群では、水泳訓練により肝臓のTBA値はコントロール群の値よりも低下したが、ビタミンE欠乏食を摂取したラットにおいては、その効果は認められなかった。(図9)

#### iii) 酵素活性の変化

表-5 測定項目間の相関

	liver $\alpha$ -Toc.	G6PD	6PGD	GSH-Px	GR	GSH-Tase
Exp. 1						
TBA value	-0.033	-0.242	-0.136	0.000	0.167	0.247
Exp. 3						
TBA value	-0.915**	-0.342	-0.220	-0.778*	-0.081	-0.603
$\alpha$ -Tocopherol	-	0.137	0.016	0.731	-0.040	0.524

\* Significant Correlation ( $p < 0.025$ )

\*\* Significant Correlation ( $p < 0.001$ )

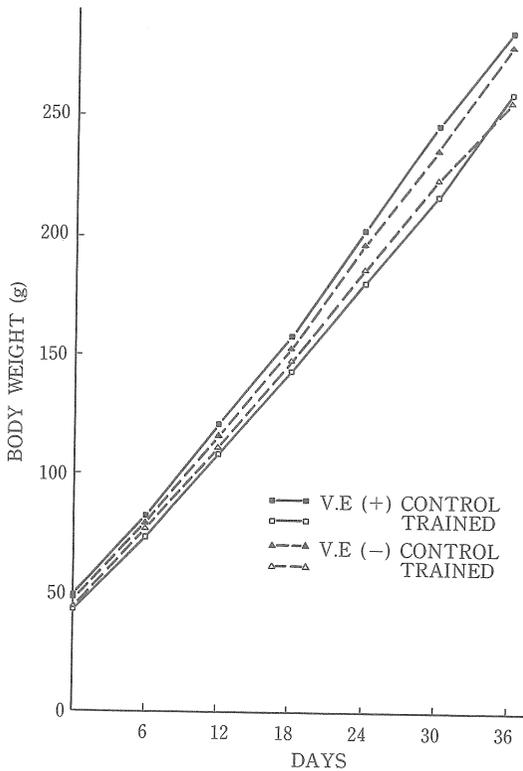


図-8 生長曲線

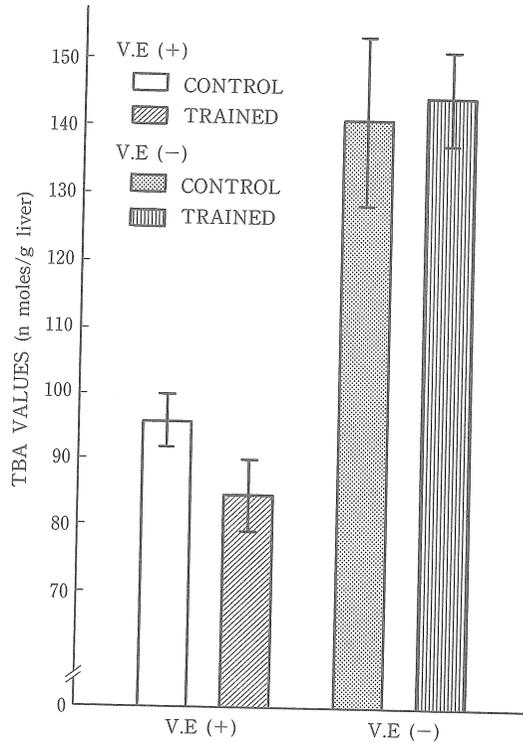


図-9 肝TBA値

表6に結果を示す。まず各酵素活性に対する持続的水泳訓練の有無の効果についてみる。ビタミンE添加食群において、水泳訓練させた群で有意に活性が高かったのは、G6PD ( $p < 0.05$ ), GSH-Px ( $p < 0.05$ ), GSH-Tase ( $p < 0.05$ ) DSR ( $p < 0.01$ )であり、有意にはないが、6PGDにおいてもやはり上昇傾向は認められた。SODは両群間に差はみられなかった。ビタミンE欠乏群に

おいては、水泳訓練させた群で有意に活性が高かったのはGRだけであったが、G6PD, DSRにおいても上昇傾向は認められた。これに対し、GSH-Taseは水泳訓練群の方がやや低い値を示した。6PGD, GSH-Px, SODは両者の間でほとんど差は認められなかった。

次に、ビタミンE摂取量の違いによる変化をみた。まず添加食および欠乏食のコントロール同志

表一 6 運動負荷一日後の抗酸化性酵素活性の変化

MEAN ± S.D.

	V. E (500 I.U./kg)		V. E (deficient)	
	Control	Trained rat	Control	Trained rat
G6PD <sup>1)</sup>	181.0 ± 55.2	279.5 ± 49.1 <sup>a</sup>	202.8 ± 24.3	230.2 ± 34.9
6PGD	151.2 ± 16.6	181.8 ± 22.1	131.0 ± 12.3	129.2 ± 31.0*
GSH-Px-Cumene <sup>1)</sup>	167.1 ± 22.1	206.6 ± 20.5 <sup>a</sup>	113.8 ± 5.6 <sup>d</sup>	114.3 ± 19.8 <sup>c**</sup>
GR <sup>1)</sup>	105.3 ± 5.7	106.4 ± 6.6	110.2 ± 11.8	123.2 ± 10.0 <sup>a*</sup>
GSH-Tase <sup>2)</sup>	1,107.1 ± 151.3	1,324.3 ± 120.9 <sup>a</sup>	1,126 ± 240.9	1,037.0 ± 280.6*
SOD <sup>3)</sup>	63.2 ± 6.3	64.9 ± 5.2	67.7 ± 5.6	66.9 ± 1.3
DSR <sup>4)</sup>	60.2 ± 4.8	84.8 ± 6.9 <sup>c</sup>	28.6 ± 3.1 <sup>d</sup>	50.0 ± 22.3*

Significantly different from V.E (500 I.U./kg) Control

a, p < 0.05 b, p < 0.025 c, p < 0.01 d, p < 0.005

Significant difference between V.E (500 I.U./kg) trained rat and V.E (deficient) trained rat

\*, p < 0.05 \*\*, p < 0.01

- 1) n moles NADPH formed or reduced/mg-protein/min
- 2) n moles of metabolite formed/mg-protein/min
- 3) unit/mg-protein/min
- 4) n moles cysteine formed/mg-protein/hr

で比較したところ、ビタミンE欠乏食群で有意に低下が認められたのは、DSR (p < 0.005) だけであった。有意にはないが、6PGD, GSH-Pxにおいても低下傾向が認められた。一方、G6PDはやや高い値を示した。GR, GSH-Tase, SODは両群間で差はみられなかった。水泳訓練をさせ、ビタミンE含量の異なる群間では、ほとんどの酵素がビタミンE欠乏食群の方で低いという結果が得られた。各酵素の有意差は次の通りである。6PGD (p < 0.05), GSH - Px (p < 0.01), GR (p < 0.05), GSH - Tase (p < 0.05), DSR (p < 0.05)。G6PDも同様に欠乏食群で低下していたが有意差は認められなかった。SODは両群間で全く差はみられなかった。これらの結果より、ビタミンE添加食でみられる訓練の効果は、ビタミンE欠乏食群では認められなくなるということがわかった。

iv) 抗酸化剤の変化

NPSH 含量は、ビタミンE添加食を与えたラッ

トのコントロール群と訓練させた群では、訓練させた群で有意 (p < 0.01) に高い値を示していた。ビタミンE欠乏群においても同様に、訓練させた群で有意 (p < 0.05) に高い値を示した。ビタミンE添加食群のコントロールと欠乏食のコントロール群の間ではほとんど差はなかったが、訓練させた群では、ビタミンE添加食群の方が欠乏群の値よりも有意 (p < 0.05) に高かった。肝臓、血清および赤血球中のα-トコフェロール含量はビタミンE添加食群と欠乏食群の間には食餌中ビタミンE量の相違を反映して明らかな差は認められるが、ビタミンE添加群、欠乏群とも訓練による変化はみられなかった。(表7)

v) 各項目間の相関

TBA 値と肝臓のα-トコフェロール、GSH-Pxとの間に有意な負の相関が認められた。α-トコフェロールとGSH-Rxの間にも有意な正の相関がみられた。

表一 7 非訓練ラットの運動負荷による肝、血清及び血球中の酸化性物質の濃度変化

	MEAN ± S.D.			
	V.E (500 I.U./kg)		V.E (defficient)	
	Control	Trained rat	Control	Trained rat
NPSH				
liver (μmoles/g liver)	1.9 ± 0.3	2.9 ± 0.5	1.6 ± 0.1	2.1 ± 0.5
α-Tocopherol				
liver (μg/g liver)	80.2 ± 8.0	77.3 ± 9.4	1.1 ± 0.3 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.4 <sup>a</sup>
serum (μg/ml)	10.9 ± 1.2	9.9 ± 1.3	*	*
RBC (μg/ml packed cell)	8.7 ± 1.4	7.8 ± 2.1	*	0.5 ± 0.2

Significantly different from V.E (500 I.U./kg) Control

a, p < 0.0001

### 1. 3 考 察

本研究において、運動訓練していない場合20分間の急激な水泳負荷直後には肝臓の過酸化脂質濃度は上昇するが、それは一過性のものであり、1日後には水泳負荷前の値に戻っている。一方、ビタミンEを十分に摂取しかつ持続的運動訓練をした場合には逆にTBA値が低下するということが判明した。

岸原ら<sup>12)</sup>は、ラットを疲労困憊するまで5時間水泳させた直後および2時間後の肝臓のTBA値の変化について報告しているが、その結果も本研究と同様に、運動負荷直後にはTBA値は増加しているが、2時間後にはやはり負荷前の値に戻るといふ。運動負荷強度の面からみると、我々の実験ではわずか20分間の水泳負荷であり、果してこの20分間の水泳が過度の運動負荷に値するかどうかは疑問であるが、今回の実験結果においても明らかのように、20分間の水泳負荷でも生体内の脂質の過酸化に変化をきたしていると言える。GeeとTappelら<sup>14)</sup>も20分間の水泳により、ラットの呼気中のペンタンが増加したと報告している。

一般的に、運動負荷によって呼吸機能に変化が起こり、酸素の取り込み量が変わることはよく知られている。中程度以下の運動負荷を加えた初期

は呼吸回数も増加し、それに伴って酸素の取り込み量も増加し、生体内はやや高酸素状態におかれる。ところが疲労困憊まで運動負荷を続けると心機能の低下が起こり、これに伴ない虚血も起こり得る。また、赤血球破壊による運動性貧血もみられ、一時的に低酸素状態に陥ると考えられている<sup>9)</sup>。

通常、物質の代謝は酸素が必要かつ十分な量だけ供給されている状態では、グルコースに対する解糖系やTCA回路および脂肪酸の酸化過程は順調に働き、酸化的リン酸化、電子伝達系にも支障をきたさない。これに対し、低酸素および高酸素状態においては、生体内局所の正常な酸素利用が阻まれ、活性酸素の蓄積、漏出がみられ酸化反応が亢進するものと考えられる<sup>33)</sup>。このことを示唆するものとして八木らのウサギやニワトリ<sup>34)</sup>を用いて行った高濃度酸素曝露による網膜症の研究における、過酸化脂質の上昇や、素らの低酸素状態における動脈硬化の発現<sup>35)</sup>などの研究報告がある。今回においても、上述のように運動負荷により生体内の酸素状態が変わり、酸化的リン酸化や電子伝達系が正常に働かなくなったために、過酸化脂質が急激に増加したのだと考えられる。そしてこのことにより酸化系の酵素が不活性され、活性が低下したものと考えられる。

一方、持続的訓練をさせた場合は、訓練運動が生体に刺激を与え、その適応現象として酸素代謝が活発化し酵素活性が高まり、過酸化脂質が減少していったのだと考えられる。本研究より、運動時における過酸化脂質代謝には、G6PD, DSRなどの酵素が重要な役割を果していることが示唆された。G6PDについては、訓練運動により糖代謝が活発化したことと関連性があるのかもしれない。

一方、前述のように、運動時には活性酸素の蓄積、漏出がみられる。活性酸素の消去酵素として生体内にはSODが存在するという事は知られている。<sup>36),37)</sup>が、今回の実験においては細胞上清画分のSOD (Fe, Zn-SOD) 活性は何ら変化を示さなかった。このことから、運動時においては呼吸鎖のあるミトコンドリアのSOD (Mn-SOD) が働いているのかもしれない。今後このミトコンドリアのSOD活性の変動についても調べていくことが必要である。

本研究の結果およびこれまでの報告等により、訓練運動は生体内の脂質過酸化を抑制するのに効果があるということが示唆された。

そこで、さらに我々はビタミンEの栄養状態の違いにより訓練運動の効果は変わるのかについても検討した。まずはビタミンE添加 (500IU/kg) とビタミンE欠乏というやや極端な条件下で行ったところ、ビタミンE添加群では訓練による効果が顕著にみられたが、ビタミンE欠乏時にはあまり効果はみられなかった。このことからビタミンEが重要であるということが示唆された。今後、ビタミンEレベルを変えて訓練効果の表れ方を検討し、運動によりビタミンE要求量が変わるのかどうかについても調べていく必要がある。さらにこのことから発展する問題として、ビタミンEが運動能力を向上させるのに効果があるのかどうかについても調べていくことは大へん興味深いことであると思われる。

## 第2章 ヒトに対する運動負荷と過酸化 脂質の変動

### ——呼気分析法による——

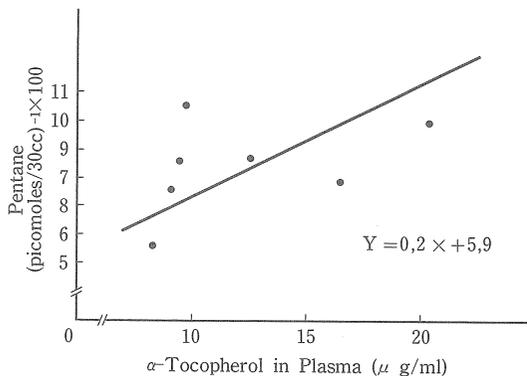
#### 2. 1 実験対象と方法

19～21歳の早稲田大学男子ボート部員10名の協力を得た。

ビタミンEをカプセルとして1日あたり、300mg摂取させたグループと、プラセボグループに分けた。自転車エルゴメーターにより疲労困憊するまで負荷を加え、負荷終了5分後に血液を採取し、7～8分後に呼気採集を開始した。呼気採集は嵯峨井ら<sup>40)</sup>の方法を少し改変して行った。フェースマスクを呼気が漏れないように顔を押し付け、4分間炭化水素を除いた空気で肺を洗浄し、その後5分間テトラバッグに呼気を採集した。ここから30ccをシリンジで取り、呼気分析装置<sup>4)</sup>に注入しガスクロマトグラフィーにより分析を行った。ヘパリン処理した血液から血漿を分離し、この中の $\alpha$ -トコフェロール量を定量した。

#### 2. 2 結 果

呼気中ペンタン量と血漿中の $\alpha$ -トコフェロールの間に有意な負の相関が示された。図10に呼気中ペンタン量の逆数と $\alpha$ -トコフェロールの



図—10 呼気中のペンタン量と血漿  $\alpha$ -トコフェロール値との相関

相関を示した。(r=0.680, p<0.05)

#### 2. 3 考 察

ビタミンE添加群とプラセボ群間では、呼気中ペンタン量において有意な差は認められなかった。ところが、今回の結果より、血漿の $\alpha$ -トコフェロールと呼気中ペンタン量の間には有意な負の相関が認められたことから、運動負荷時においても呼気中ペンタン量は生体内の過酸化脂質の指標となり得ることがわかった。

今後ヒトに対しても運動訓練が過酸化脂質増加の抑制に効果があるのかどうかを調べるために、運動訓練しているヒトとしていないヒトの平常時の呼気中ペンタン量と、疲労困憊まで運動負荷を加えた後のペンタン量とを比較し、訓練運動をさせたヒトでは訓練していないヒトに比べ、ペンタンの上昇割合が抑えられるかどうかについて検討していくことが必要であると思われる。

#### References

- 1) 山村秀夫：酸素の輸送「生体と酸素」(水野伝一、早石修 編) 朝倉書店、東京1976、pp. 61～80
- 2) Recknagel, R. O.: Carbon tetrachloride hepatotoxicity Pharmacol. Rev., 19, 145—208 (1967)
- 3) Desai, I. D. and Tappel, A. L.: Damage to proteins by peroxidized lipids, J. Lipid Res., 4, 204 (1963)
- 4) Roubal, W. T. and Tappel, A. L.: Polymerization of proteins induced by free radical lipid peroxidation, Arch. Biochem., 113, 150 (1966)
- 5) Tappel, A. L.: Lipid peroxidation and fluorescent molecular damage to membranes. In pathobiology of cell membranes, I. ed. by B. F. Trump & A. V. Astila, : 145—170, Academic Press, New York, (1975)
- 6) Selye, H.: The general adaptation syndrome on the disease of adaptation, J. Clin. Endocrinol., 6, 117—120
- 7) 中野昭一：スポーツと内分泌「スポーツ医学」杏

- 林書院 p. 82—104 (1978)
- 8) 山岡誠一：スポーツと疲労 “スポーツ医学” 杏林書院 p. 287—309 (1978)
  - 9) 秦 葭哉：低酸素と動脈硬化 “虚血と細胞障害—活性酸素, フリーラジカル” 医歯薬出版 p. 167—183 (1980)
  - 10) Brady, P. S., Brady, L. J. and Ullrey, D. E. : Selenium, vitamin E and the responses to swimming stress in the rat *J. Nutr.*, 109, 1103—1109 (1979)
  - 11) Meerson, F. Z., Krasikov, S. I., Boev, V. M. and Kagan, V. E. : Effect of an antioxidant on the resistance to maximal exercise in untrained animals. *Byull, Eksp. Biol. Mad.*, 94, 17—19 (1982)
  - 12) 岸原千秋：運動負荷におけるラット自発行動量と過酸化脂質およびその関連酵素活性に関する研究 *北海道医誌* 55, 575—585 (1980)
  - 13) Salminen, A. and Vihko, V. : Lipid peroxidation in exercise myopathy, *Exp. Mol. Pathol.*, 38, 380—388 (1983)
  - 14) Gee, D. L. and Tappel, A. L. : The effect of exhaustive exercise on expired pentane as a measure of in vivo lipid peroxidation in the rat, *Life sci.* 28, 2425—2429 (1981)
  - 15) Viinikka, L., Vuori, J. and Ylikorkala, O. : Lipid peroxides, prostacyclin and thromboxane A<sub>2</sub> in runners during acute exercise. *Med, Sci. Sports Exerc.* 16, 275—277 (1984)
  - 16) Salminen, A. and Vihko, V. : Endurance training reduces the susceptibility of mouse skeletal muscle to lipid peroxidation in vitro. *Acta Physiol. Scand.*, 117, 109—113 (1983)
  - 17) Dillard, C. J., Litov, R. E., Savin, W. M. Dumelin, E. E. and Tappel, A. L. : Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation, *J. Appl. Physiol.*, 45, 927—932 (1978)
  - 18) Suzuki, M., Katamine, S. and Tatsumi, S. : Exercise-induced enhancement of lipid peroxide metabolism in tissues and their transference into the brain in rat *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 29, 141—151 (1983)
  - 19) Lowry, O. H., Rosenbrough, N. J., Farr A. L. and Randall R. J. : Protein measurement with the Folinphenol reagent *J. Biol. Chem.*, 193, 265—275 (1951)
  - 20) Takeuchi, N., Taraka, F., Katayama, Y., Matsumiya, K. and Yamamura, Y. : Effects of  $\alpha$ -tocopherol on thiobarbituric acid reactive substances in serum and hepatic subcellular organell and lipid metabolism, *Exp. Geront.*, 11, 179—185 (1976)
  - 21) Wilhelm, L. G. and Waller H. D. : Glucose-6-phosphate dehydrogenase. In *Methods of enzymatic Analysis*, ed. by Bergmeyer, H. U. ) Acad. Press. N. Y., 2, 636—643 (1974)
  - 22) Little, C. and Brien P. J. O : Properties and regulation of glutathione peroxidase. *J. Biol. Chem.*, 245, 3632—3639 (1970)
  - 23) Bergmeyer, H. U. : Reagents for enzymatic analysis : Glutathions reductase. In *Methods of Enzymatic Analysis*. (ed. by Bergmeyer, H. U.), vol. 2 4465—466 (1974)
  - 24) Kaplowitz, N., Kuhlenkamp J. and Glifton G. : Drug induction of hepatic glutathion s-transferase in male and female rats. *Biochem.*, 146, 351—156 (1975)
  - 25) McCord, J. M. and Fridovish I. : Superoxide Dismutase : An enzymic function for-erythroocuprein (Hemocuprein), *J. Biol. Chem.*, 244, 6049—6055 (1969)
  - 26) Tietze, F. : Disulfide reduction in rats liver Evidence for the presence of non specific nucleotide dependent disulfide reductase and glutathione-disulfide transhydrogenase activities in the high-speed supernatant fraction, *Arch. Biochem. Biophys.* 138, 177—188 (1970)
  - 27) De Lucia, A. J., Mustfa, M. G., Hussain, M. Z. and Cross, C. E. Ozone interaction with rodent lung : III, Oxidation of reduced glutathione and formation of mixed disulfide between protein and non-protein sulfhydryls, *J. Clin. Inv.* 55, 794—832 (1977)
  - 28) 阿部皓一・勝井五一郎 : *Vitamins*, 49, 259 (1975)
  - 29) Mino, M., Kitagawa, M., Nakagawa, S. : *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, 27, 199—207 (1981)
  - 30) 石橋泰子・阿部皓一・大前雅彦・河部 靖・勝井五一郎 : *Vitamins*, 51, 415—422 (1977)
  - 31) 阿部皓一・勝井五一郎, 他 : *Vitamins*, 50, 453 (1976)
  - 32) 水野伝一・内藤周幸・早石 修・山村秀夫・吉田善一・菅原 努・美濃 真・坂本澄彦 : *生体と酸素* 朝倉書房 東京 (1979)
  - 33) Yagi, K. Matsuoka, S., Ohkawa, H., Onishi, N., Takeuchi, Y. K. and Sakai, H. : Lipid peroxide level of the retina of chick embryo exposed to high concentratoin of oxygen, *Clin. Chim. Acta*, 80, 355 (1977)
  - 34) 秦 皓哉 : 動脈硬化と過酸化脂質, *代謝*, 15, (1978)
  - 35) McCord, J. M. and Fridovich, I. : Superoxide dismutase. ed. by A. M. Mickelson, J. M. McCord and I. Fridovich, 1—10. Academic Press, N. Y. (1977)
  - 36) Michelson, A. M. : Toxic effects of active oxygen, *Biochemical and medical aspects of active oxygen*, ed by O. Hayaishi and K. Asada, 155—170 University of Tokyo press, Tokyo (1977)
  - 37) 堤 達也・青木和江・後藤芳雄・喜多尚武 : 運動筋での低酸素状態が考えられる断続運動時の血漿

- 過酸化脂質及び中性脂質の動態 体力研究, 54, 24—37 (1983)
- 38) Nishiki K., Jamieson, D, Oshino, N. and Chance, B.: Oxygen toxicity in the perfused rat liver and lung under hyperbaric conditions *Biochem. J.*, 160, 343—355 (1976)
- 39) Chow, C. K. and Tappel, A. L. An enzymatic protective mechanism against lipid peroxidation damage to lungs of ozone exposed rats *Lipids*. 7, 518—524 (1972)
- 40) 金田尚志・植田伸夫 編集：過酸化脂質実験法 医歯薬出版 (1983)
- 41) 金子みち代 私信
- 42) 荒川信彦, 大塚 恵：ビタミンCの定量分析 臨床検査 vol. 26No.1, 1982年1月
- 43) 内山 充・松尾光芳・嵯峨井 勝 編著：過酸化脂質と生体 学会出版センター, 1985年



