

昭和61年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告
No.VII スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究
——第2報——

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

昭和61年度 日本体育協会スポーツ科学報告書

No.VII スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究 —第2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¹⁾

班 員 真田宏夫¹⁾ 高橋徹三²⁾ 長嶺晋吉³⁾

福場博保⁴⁾ 村岡功⁵⁾

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)

1. 研究成果の要約

前年度に引きつづき、本研究班はスポーツ選手が十分な健康を維持し、効率的なトレーニングを行い、競技においてより高いパフォーマンスをもたらすために、一般人のビタミン必要量にどのくらい付加ビタミン摂取量が必要かを明らかにすることを目標に研究をすすめてきた。

今回も前回同様、対象ビタミンとして代謝回転が速やかで、運動量の上昇に伴いその必要量が増加する水溶性ビタミン、すなわち B₁, B₂ 及び C, 並びに脂溶性ビタミン中で運動との関係が最も深く推測されているビタミン E を選んだ。

本年度はまた前年度の成果に基づいて、異なる運動負荷条件下での体内ビタミン水準の応答、定量的なビタミン投与実験等により、具体的にスポーツ選手に適切といえるビタミンの必要量提示を目標とした。

研究班全体としての研究結果は以下のように要約できる。なお、(1), (2), および(3)～(5)はそれぞれ共通の被験者群を対象とし、緊密な協力体制のもとに研究を実施した。

(1) 運動時のビタミン B₁, B₂, C の所要量に関する研究 (高橋班員担当)

被験者にビタミン B₁, B₂ 及び C の規制食を与え、自転車エルゴメーターの一過性運動負荷による応答状況をみたが、特にこれらビタミンの必要量にかかる大きな変化は見られなかった。次に生活活動強度 II の水準にビタミン B₁, B₂ 及び C 摂取量を規定し、60% VO_{2max} の運動負荷 3 時間連続条件で 7 日間連続負荷し、血液及び尿のビタミン濃度の応答状況をみたところ、明らかに B₁, B₂ とも不足であることがわかった。さらに摂取ビタミン水準を消費エネルギー量に連動させ、従来の基準、及び基準量の 1.5 倍摂取条件下に運動負荷をほぼ上記同様 7 日間連続条件で行ったところ、B₁については従来通り 0.4mg/1,000kcal では十分であること、B₂については従来の基準 0.55mg/1,000kcal で

1) 国立栄養研究所

2) 東京家政大学

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

は不足し、その1.5倍すなわち0.83mg/1,000kcalで充足することが明らかとなった。

(2) 運動負荷によるビタミンB₁, B₂栄養状態の変化（真田班員担当）

(1)の被験者について、身体内のビタミンB₁及びB₂の充足状況の指標とされる補酵素添加効果率による判定法で評価した。具体的には(1)の結果を裏付ける観察結果であった。すなわち60% VO₂max 1日3時間連続7日間の負荷条件では、中等度の生活活動強度水準のビタミンB₁、及びB₂摂取量では両者とも不足という判定結果が得られるが、従来知られているように、エネルギー消費量に運動して摂取量を増加させた場合、B₁については充足、B₂についてはこのままに運動が1ヶ月ほどの長期に亘る場合、従来の所要量水準では欠乏をきたすおそれが推測される判定結果を得た。なおビタミンCはどの運動負荷条件においても欠乏を示唆する所見は得られなかった。

(3) トレーニング期におけるビタミンB₁及びB₂の栄養状態評価（小林、長嶺班員担当）

合宿訓練中の大学漕艇選手を対象に生活活動調査、食物調査、(2)と同一の方法を用いてビタミンB₁及びB₂の栄養状態判定、及び5mg/日のビタミンB₁投与による判定値の応答状況を検討した。ビタミンB₂が欠乏状態にあると判定された者は摂取量の側からも従来の基準による所要量を充足していないかったが、ビタミンB₁については摂取量は所要量水準を十分充足しているにも拘わらず、血液生化学的には欠乏と判定された者が4名(25%)もあり、しかもこれらの者はすべて5mg/日、5日間のビタミンB₁投与で血液生化学値も正常となったところから、激しいトレーニング期にあるスポーツ選手は、従来の所要量を上まわるB₁摂取量、おそらく5mg/日程度が必要との示唆を得た。

(4) 長時間運動に及ぼすビタミンE多量投与並びに血中ビタミンE濃度に及ぼす各種運動の影響（村岡班員担当）

大学漕艇部選手を被験者とし、長時間(40日)大量ビタミンE投与の運動パフォーマンスに与える効果をATレベルでの長時間運動及び引きつづ

きに行われた漸増運動で観察したが特にergogenic effectを示さなかった。しかし上記被験者にさらに自転車競技選手の6名を対象として、運動負荷中の血漿又は血清α-トコフェロール濃度を一般人と同水準維持するに十分なビタミンE投与量を食事からの摂取量も含め推計したところおよそ80mg/日という結果が得られた。

(5) 呼気中の炭化水素量測定によるビタミン栄養状態の判定（福場班員担当）

運動負荷によりビタミンE所要量がどのように変化するのかを、ヒト及び実験動物の呼気中の炭化水素量の変化を指標として検討した。呼気中のペントタン量は血中及び臓器中のα-トコフェロール量と有意に相関し、また肺及び肝臓のTBA値とも相関することから、体内的過酸化脂質量及びα-トコフェロール量を推測することが可能との示唆を得た。ヒトの場合でも呼気中ペントタン量と血漿中のα-トコフェロール量が相関することから、同様の推定法開発についての展望が得られた。動物実験では同時に抗生物質を投与して、これが呼気中ペントタン量に影響ないことから、このペントタンが腸内細菌由来のもとであるとの説を否定した。ビタミンEの抗酸化作用をセレンによるそれと比較し、前者の方が遙かに強力であるが、同時投与による相乗効果もあることが認められた。

2. 60年度、61年度2年間の研究成果の要約

本研究の目的は、未だ十分明らかになっていないスポーツ選手のビタミン必要量を明らかにすることにあった。研究方向は大別して2つの観点から行われたものである。すなわち、(1)ビタミンの所要量水準以上の摂取がパフォーマンスを高めるか、(2)スポーツ選手の体内に十分なビタミン栄養状態をもたらすビタミンの摂取量水準はどの位かということである。第一の問題については、多くの先行研究が否定的結論であったが、なお運動のタイプや環境条件によって、ビタミンの付加的摂取がパフォーマンスを高める可能性の追求を試みた。特にビタミンEについては、正常酸素分圧条件及び低酸素分圧条件下での自転車エルゴメータ漸増負荷、ATレベルでの長時間運動及びそれに

引き続く漸増運動負荷におけるビタミン E 大量投与 (300mg／日—米国一般人所要量の30倍) のパフォーマンスに与える効果を観察したが、いずれも対照群との間に全く差は見られなかった（村岡班員）。また、ビタミン B₁あるいは B₂の従来の所要量水準 (B₁ ; 0.4mg/1,000kcal, B₂ ; 0.55mg/1,000kcal) の1.5倍投与は60% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 3時間／日、7日間連続自転車エルゴメーター運動負荷後の諸疲労検査値にとくに影響をもたらさなかった（高橋班員）。したがって現在のところなおこれらのビタミンの所要量水準をこえた摂取が運動能力に促進的効果があるとの根拠は得られていない。

第2の問題についてはいくつかの肯定的観察結果が得られた。まずビタミン B₁は、合宿トレーニング中のボート選手の血液生化学的正常値維持のために、従来の所要量水準をこえた摂取が必要なこと（小林、長嶺班員）、ビタミン B₂は60% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 3時間／日の連続長期の運動条件では、血液中の正常値維持のため従来の所要量の1.5倍の摂取が必要なこと（高橋、真田班員）、ボートあるいは自転車の長時間運動がもたらす血中ビタミン E 濃度の低下を防ぐため、おそらくビタミン E 80mg程度の投与が必要と推測される結果（村岡班員）、そのようなビタミン E の必要量増加は、おそらく運動による組織及び血中過酸化脂質生成の促進によると思われる実験的観察結果（福場班員）などが得

られた。したがって、血液中のビタミンの存在状態を正常に維持することを目標とするならば、(1) ビタミン B₁については、4,000～5,000kcal／日ないしそれ以上の激しいトレーニングを行うスポーツ選手は現在の1.6～2.0mg／日という所要量水準をこえた摂取、5mg／日程度の摂取量が望ましい。(2) 中等度以上の速さの運動トレーニングが1ヶ月以上連続するような場合、ビタミン B₂の摂取量は従来の所要量の1.5倍、すなわち0.8mg/1,000kcal／日程度の摂取が望ましい。(3) 長時間の激しい運動トレーニングにあたっては、ビタミン E の摂取を多めになるよう配慮することが組織に有害な過酸化物の抑制に効果があると考えられる。という諸点が現時点における結論といえる。

なお、これらのビタミン必要量についての成果の他に、トレーニング中のスポーツ選手の栄養の適切な摂取のための給食上の問題点に関する指摘（長嶺、小林班員）、呼気中の炭化水素測定が、体内のビタミン E 及び過酸化脂質の状態を知る有力な手法であることの結果（福場班員）などの成果が得られたことを特に付記しておきたい。

最後に、本研究を支えて下さった多くの研究協力者、並びに被験者として協力を下さった早稲田大学漕艇部、同自転車競技部の各部員、筑波大学体育学群の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

1. 運動時のビタミンB₁, B₂, Cの所要量に関する研究

報告者 高橋 徹三¹⁾

研究協力者 山田 哲雄²⁾ 出海みどり¹⁾ 桜井 清²⁾

遠藤京子¹⁾

運動とビタミンとの関係、とくに運動能力との関係については古くから関心がもたれ、いくつかの総説^{1~5)}がある。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も報告⁶⁾されている。

運動とビタミン要求量に関しては、エネルギー発生との関連で、ビタミンB群、とくにB₁, B₂に関する研究がみられ、日本人の栄養所要量⁷⁾、米国の栄養所要量⁸⁾をはじめ多くの国の所要量において、摂取エネルギー1,000kcalあたりの基準量が用いられている。しかし、スポーツ選手のビタミンB₁, B₂要求量に関する研究はまだ少なく、ソ連⁹⁾ドイツ¹⁰⁾で示されている数値も、科学的根拠が明確でない。また、スポーツ選手のビタミンC必要量に関する高い数値が示されている。^{1,9)}が、その根拠も明確でない。

このようなことから、スポーツ選手のビタミンB₁, B₂, C要求量に関する基礎的な科学的な検討の必要性が考えられる。昨年度は、これらのビタミンの代謝に及ぼす運動の影響を主として経時的に観察した研究結果を報告した。本年度も引き続き運動の一過性の影響もとりあげたが、運動時のビタミンB₁, B₂, Cの要求量の検討のために、連日運動を負荷し、主として経日的な血中、尿中ビタミンB₁, B₂, Cの変動を観察する実験も2回にわたり実施した。

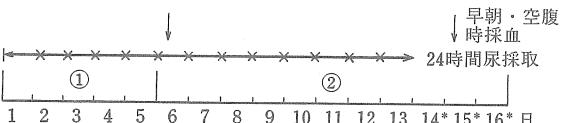
3つの実験を行ったので、以下、これら実験の方法、結果と考察を列挙し、終りに結論を述べる。

〔実験1〕

昨年度実施した実験（昨年度の第2実験）と同じ実験を再びくり返し行った。すなわち、栄養摂取を規定した上で、ビタミンB₁, B₂, C代謝に及ぼす運動の一過性の影響を検討した。

方 法

健康な成人男子5名（表-1）を被験者とし、16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、実験期間中激しい運動を禁じた以外は日常生活を行わせ、食事は7時～7時30分、13時～13時30分、19時～19時30分の3回摂取させた。食事は、実験1日目から5日目までは調整期として、主として日常食品より構成される規定食に、6日目から16日目まではビタミンB₁, B₂, Cをほとんど含まない実験食に、所要量のビタミン混合を加えて摂取させた（表-2）。運動日にも、エネルギー消費量の増大は考慮せず、食事条件は



① 主として日常食品により構成される規定食および所要量のビタミン混合を摂取

② ビタミンB₁, B₂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

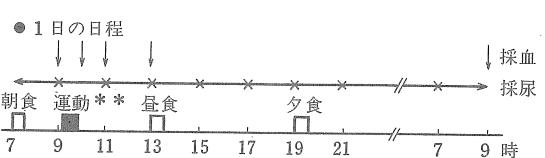


図1 実験日程（実験1）

1) 東京家政大学

2) 筑波大学体育科学系

対照日と同じである。なお、前年度の実験では調整期の5日間はビタミン剤を用いたが、今回の実験では全期間上記のビタミン混合を与えた。

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

実験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15日目および16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%および80%を目標強度とする運動を、自転車エルゴメータを用い、20分間（60回転／分）2回、5分間

表1 被験者の身体的特性（実験1）

被験者性	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	最大酸素摂取量(ml/min)	最大酸素摂取量(ml/kg/min)	スポーツ種目
J 男	30	170	65.3	2.513	38.5	—
I "	25	171	75.2	3.487	46.4	ラグビー
Y "	29	177	61.1	2.917	47.7	陸上(跳躍)
H "	23	177	65.7	2.533	38.6	陸上(跳躍)
A "	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2 実験食の組成（実験1）

	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** (g)	ベーキング パウダー*** (g)	カルボキシメ チルセルロースナトリウム (g)
				糖質 (g)	纖維 (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づく計算値、平均値±標準偏差(n=5)。

* : 0.5g中に、ビタミンB₁(塩酸塩として)1.0mg、ビタミンB₂1.4mg、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B₁₂0.003mg、パントテン酸カルシウム10mgを含有、ビタミンB₁、ビタミンB₂、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、このについてはビタミンA 5,000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、CaHPO₄·2H₂O 2g, CaCO₃ 0.9g, KH₂PO₄ 2g, KHCO₃ 3.5g, MgO 0.6g, FeSO₄·7H₂O 60mg, MnSO₄·4H₂O 3mg, CuSO₄·5H₂O 8mg, ZnCl₂ 5mg, KI 0.2mg, Na₂MoO₄·2H₂O 0.2mg, Cr₂(SO₄)₃·15H₂O 1mg, A1K(SO₄)₂·12H₂O 30mg, Na₂SeO₃ 0.008mg を含有。

*** : 10g中に、KHCO₃ 2.5g、クエン酸1.6g、コーンスター5.9gを含有。
用いた食品: コーンスター、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)。

表3 全血中ビタミンB₁, B₂, C濃度の経時変化(実験1)

	9:00	10:00	11:00	13:00	翌朝 9:00
ビタミンB ₁ (μg/dl) n=5	対照日 9.5 ± 0.9	10.2 ± 0.8	9.8 ± 1.2	10.0 ± 0.9	9.6 ± 1.0
	60%運動月 9.6 ± 1.0	10.4 ± 0.8	10.1 ± 0.7	10.5 ± 0.4	9.8 ± 1.0
	80%運動月 9.8 ± 1.0	9.8 ± 0.8	10.0 ± 0.8	10.2 ± 1.2	9.8 ± 0.9
	対照日 8.2 ± 1.6	7.8 ± 1.9	8.6 ± 2.6	9.0 ± 3.5	9.4 ± 2.6
	60%運動月 9.4 ± 2.6	8.0 ± 1.2	8.9 ± 2.2	8.8 ± 1.6	8.2 ± 2.3
	80%運動月 8.2 ± 2.3	9.1 * ± 2.4	8.9 ± 2.9	9.3 ± 2.3	8.4 ± 3.7
ビタミンB ₂ (μg/dl) n=5	対照日 0.57 ± 0.15	0.58 ± 0.18	0.59 ± 0.20	0.59 ± 0.19	0.53 ± 0.08
	60%運動月 0.53 ± 0.08	0.61 † ± 0.07	0.60 ± 0.12	0.59 † ± 0.10	0.61 ± 0.17
	80%運動月 0.61 ± 0.17	0.69 ± 0.10	0.68 ± 0.16	0.63 ± 0.11	0.56 ± 0.11
	対照日 0.57 ± 0.15	0.58 ± 0.18	0.59 ± 0.20	0.59 ± 0.19	0.53 ± 0.08
	60%運動月 0.53 ± 0.08	0.61 † ± 0.07	0.60 ± 0.12	0.59 † ± 0.10	0.61 ± 0.17
	80%運動月 0.61 ± 0.17	0.69 ± 0.10	0.68 ± 0.16	0.63 ± 0.11	0.56 ± 0.11

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

* : p < 0.05 (対照日との比較)

の休息をはさんで、9時10分から行わせた。以後15日目を60%運動日、16日目を80%の運動日と略す。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。

血液中、尿中ビタミンB₁, B₂, Cを測定した。測定法は前報と同じである。

結果と考察

全血中ビタミンB₁, B₂, C濃度の経時変化を表3に示した。血液中ビタミンB₁濃度は運動前の9時を基準とした場合の変動、対照日と運動日の比較、ともに有意な差を示さなかった。ビタミンB₂濃度は運動直後の10時、それから1時間後の11時では平均値が運動日の方が対照日より高く、80%運動日の10時の値は対照日に比べ有意に高かった。しかし翌朝には元の値にもどっていた。ビタミンC濃度は60%の運動日で運動前の9時に比べて10

表4 全血中ビタミンB₁, B₂, C濃度(実験1)

	実験日	
	6日目	15日目
ビタミンB ₁ (μg/dl) n=5	9.5 ± 1.5	10.1 ± 0.6
ビタミンB ₂ (μg/dl) n=5	9.2 ± 2.1	8.9 ± 2.6
ビタミンC(mg/dl) n=5	0.70 ± 0.11	0.56 ± 0.10

平均値±標準偏差。

時、13時に有意に上昇し、また、80%運動日では対照日に比べ10時に高値傾向(P<0.10)を示した。

実験6日目と15日目の早朝、空腹時の血液中ビタミンB₁, B₂, C濃度を表-4に示した。血液中ビタミンB₁, B₂のレベルはよく保たれていたが、ビタミンCのレベルは15日目の方が低かった。しかし、表-3の結果とも考え合わせると、一定の

傾向はみられないといえる。

尿中ビタミン B₁, B₂, C 排泄量の経日変化を表-5に示した。今回の結果は、前年度に比べて、ビタミン B₂, C の排泄量には大差がなかったのに対して、ビタミン B₁排泄量は低値を示した。この原因としては、前年度は実験 5 日目まで投与したビタミン B₁量が多かった（所要量の約10倍）ためにその影響が残っていたこと、前年度の実験（梅雨期）に比べて今回の実験（梅雨明け後）の方が気温が高かったことなどが考えられる。運動日と対照日（14日目）の比較では、ビタミン B₁, B₂は運動日の方が低く、ビタミン C は運動日の方が高い傾向がみられた。

尿中ビタミン B₁, B₂, C 排泄量の経時変化を表-6に、摂取量に対する24時間の累積排泄量の比率を表-7に示した。ビタミン B₁排泄量は経時的には 3 実験日の間に著しい差はなかった。運動日の夜間尿において排泄量が低く、1 日排泄量の比率は、対照日に比べ80%運動日において被験者 J を除く 4 名は低値を示した。被験者 J は昨年度の実験においても減少の程度が少なかった。ビタミン B₂排泄量は80%運動日に運動後の11時～13時の時間帯で高値傾向がみられたが、60%運動日、80%運動日ともに21時以後翌朝まで夜間の排泄量が有意に低く、1 日の排泄量としては、表-5, 表-

7 にみられるように運動日は対照日より低値を示した。ビタミン C 排泄量には運動後の一時的な増加傾向がみられ、1 日尿としては、個人差があるが、運動日の方が対照日より排泄量が高い場合が多かった。

前年度の結果とも合わせて考察すると、運動による一過性の影響としては、血液中ビタミン B₁には変化が少ないが、B₂, C は運動により一時的に上昇することが認められた。しかし翌朝はほぼ元の状態にもどっていた。尿中排泄量の経時的変動はビタミン B₁の場合は必ずしも一定の傾向がみられなかつたが、B₂の場合は運動による一時的な排泄増加の傾向がみられた。一方、B₁, B₂ともに夜間就寝時の排泄量の低下がみられ、1 日単位では、B₁, B₂ともに運動日の方が対照日（非運動日）より低値を示した。尿中ビタミン C 排泄量には、個人差があるが、80%運動日は 1 日単位では対照日より排泄量が高い場合が多かった。

〔実験 2〕

ビタミン B₁, B₂, C 代謝に及ぼす連日の運動の影響をビタミン B₁, B₂, C 摂取量を日本人の栄養所要量の生活活動強度IIの所要量に固定し、運動時のエネルギー摂取量の増大は考慮しない条件で検討した。

表5 尿中ビタミン B₁, B₂, C 排泄量の経日変化（実験 1）

	実験日															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14 ^a	15 ^b	16 ^c
ビタミン B ₁ (μg) n=5														99	85	87
														±	±	±
														31	26	28
ビタミン B ₂ (μg) n=5	487	686	801	780	739	787	720	647	708	680	676	708	614	674	550	514
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	193	288	335	411	228	247	296	194	236	217	143	166	169	202	215	242
ビタミン C (mg) n=5	5.4	4.0	5.1	7.7	8.5	6.3	4.1	5.2	5.2	4.0	3.6	3.8	3.8	4.1	5.3	5.2
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	2.2	2.6	4.2	9.8	9.8	5.8	2.4	2.7	3.3	2.0	1.8	2.1	2.1	1.6	4.0	2.7

平均値±標準偏差。a ; 対照日, b ; 60 %運動日, c ; 80 %運動日

表6 尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の経時変化（実験1）

	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 ₁ (μg/2h) n=5	対象日	6.0 ± 3.4	4.1 ± 1.6	4.5 ± 2.5	8.6 ± 4.2	4.2 ± 2.4	4.9 ± 2.6	8.9 ± 3.0	11.5† ± 3.6	5.7 ± 1.9
	60%運動日	5.7 ± 1.9	3.2† ± 0.7	3.7 ± 1.5	6.0 ± 2.2	4.2 ± 0.8	4.0 ± 1.6	6.2 ± 1.1	10.4 ± 4.4	4.8 ± 2.0
	80%運動日	4.8 ± 2.0	2.7 ± 1.4	5.3 ± 2.6	6.3 ± 2.0	4.9 ± 0.5	6.5 ± 5.2	7.0 ± 2.6	9.8 ± 5.1	3.9 ± 1.4
	対象日	36.6 ± 22.5	27.6 ± 13.3	24.4 ± 11.3	25.4 ± 14.0	21.2† ± 18.3	17.1† ± 10.0	33.0 ± 18.8	48.9 ± 15.8	36.1 ± 14.6
	60%運動日	36.1 ± 14.6	28.3 ± 14.2	26.2 ± 9.1	19.3† ± 12.5	24.4†† ± 15.1	29.9 ± 21.9	34.5 ± 15.9	35.1* ± 12.7	24.7 ± 15.4
	80%運動日	24.7 ± 15.4	28.8 ± 15.8	49.5 ± 42.1	27.1 ± 19.1	21.3 ± 13.3	19.6 ± 13.7	59.2 ± 42.8	28.4* ± 10.4	24.0* ± 11.0
	対象日	0.30 ± 0.18	0.29 ± 0.15	0.25 ± 0.09	0.78 ± 0.62	0.35 ± 0.21	0.31 ± 0.06	0.58† ± 0.31	0.25 ± 0.09	0.29 ± 0.15
	60%運動日	0.29 ± 0.15	0.17 ± 0.09	1.76 ± 3.49	1.16 ± 1.27	0.40 ± 0.36	0.24 ± 0.13	0.55 ± 0.47	0.14 ± 0.08	0.21 ± 0.03
	80%運動日	0.21 ± 0.03	0.22 ± 0.17	0.21 ± 0.05	2.10 ± 2.04	0.48 ± 0.43	0.35 ± 0.26	0.39 ± 0.25	0.23 ± 0.08	0.17 ± 0.11

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 (対照日との比較)

表7 ビタミンB₁, B₂, Cの摂取量に対する24時間尿中排泄量の比率(%)

	対象日	被験者					平均値 ±標準偏差
		J	I	Y	H	A	
ビタミン B ₁ n=5	対象日	6.8	13.9	11.0	8.8	15.1	11.1 ±3.5
	60%運動日	7.7	9.9	12.3	5.2	12.0	9.4 ±3.0
	80%運動日	10.7	8.8	10.2	5.0	13.4	9.6 ±3.1
ビタミン B ₂ n=5	対象日	63.5	32.4	54.2	33.1	57.4	48.1 ±14.4
	60%運動日	52.6	26.3	51.4	19.5	42.7	38.5* ±14.9
	80%運動日	30.1	29.4	52.9	15.5	55.5	36.7 ±17.0
ビタミン C n=5	対象日	4.1	11.5	5.5	10.7	9.3	8.2 ±3.3
	60%運動日	3.5	4.9	6.1	15.5	21.9	10.4 ±8.0
	80%運動日	4.6	9.5	6.3	12.1	18.5	10.2 ±5.5

平均値±標準偏差. *:p<0.05 (対象日との比較)

表8 被験者の身体特性（実験2）

被験者性	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	最大酸素摂取量(ml/min)	最大酸素摂取量(ml/kg/min)	スポーツ種目
S 男	25	177	75.0	3,487	46.5	ラグビー
H 男	23	177	66.3	2,533	38.2	陸上(跳躍)
M 男	22	172	65.0	3,170	48.8	サッカー
N 男	22	165	61.4	2,982	48.6	"
Y 男	30	171	59.0	2,917	49.4	陸上(跳躍)

表9 実験食の組成（実験2）

Sub. S.

エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂 質 (g)	炭水化物		ビタミン				ビタミン 混合*(g)	
			糖 質 (g)	織 繊 (g)	食 品 中					
					B ₁ (mg)	B ₂ (mg)	ナイアシン (mg)	C (mg)		
2,848	59.9	80.7	455.8	3.8	0.78	0.77	11.5	10	0.5	
± 259	± 3.9	± 8.2	± 43.6	± 0.2	± 0.04	± 0.01	± 0.8	± 0		

平均値±標準偏差 (n=5)

運動期のエネルギー增加分 : 1,591 ± 164 kcal

* 0.5 g 中にビタミン B₁ 0.2 mg, B₂ 0.7 mg, C 41 mg, B₆ (塩酸ピリドキシンとして) 3 mg, 葉酸 0.4 mg, B₁₂ 0.003 mg, パントテン酸カルシウム 10 mg 含有。

方 法

健康な成人男子 5 名（表-8）を被験者とし、7月下旬から 9月上旬にかけて14日間の実験を行った。実験日程を図-2 に示した。被験者には、実験 6 日目までは激しい運動を禁じた日常生活を行わせ、7～14日目の間運動を負荷した。また、6日目（対照期最終日）、7日目（運動期初日）および14日に尿中、血液中ビタミン B₁, B₂, C の経時変化についても検討した。

実験食の材料には、精白米、マッシュポテト、マヨネーズ、脱脂粉乳、ソーセージ、ケチャップ、乾燥みそ、チーズ、カレールー、マーガリン、コーンオイル、調味料などビタミン B₁, B₂, C の摂取量を比較的一定にしやすいものを用いた。ビタミンについては、食品（食品成分表¹⁰から計算）とビタミン混合（実験室において秤量、混合）からの合計のビタミン B₁, B₂, C, ナイアシンの摂取量が、20歳代男子、生活活動強度II（中等度）の栄養所要量になるようにした。また、ビタミン B₆,

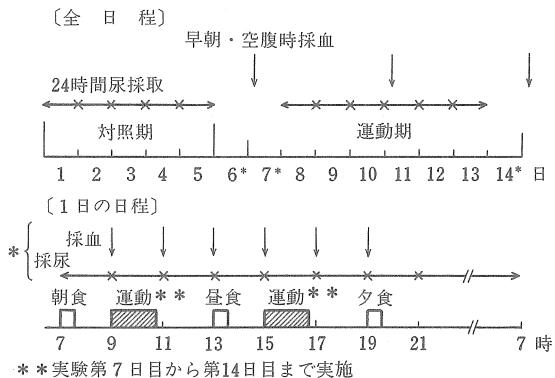


図2 実験日程（実験2）

B₁₂, 葉酸, パントテン酸は米国の所要量 (RDA, 1980年, 23～50歳) を与え、他に 1 日あたりビタミン A 5,000 単位、酢酸トコフェロール 50 mg を錠剤で与えた。なお、精白米のビタミン B₁, B₂ の水洗、炊飯による損失は 40% と見積もった。運動期には、運動により消費されるエネルギー量を推定し、補充したが、それにはビタミン B₁, B₂, C を含まない。

表10 血液中ビタミンB₁, B₂, Cの経日変化（実験2）

		S	H	M	N	Y	mean ± SD
ビタミンB ₁ ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	7日目 ^a	8.9	6.7	9.4	7.9	11.8	8.9 ± 1.9
	11日目 ^b	8.7	6.3	8.6	7.7	11.3	8.5 ± 1.8*
	15日目 ^c	8.5	6.5	9.9	8.0	8.7	8.3 ± 1.2
ビタミンB ₂ ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	7日目	7.7	7.2	7.4	7.4	5.2	7.0 ± 1.0
	11日目	8.5	6.3	7.5	6.1	4.9	6.7 ± 1.4
	15日目	7.4	7.1	6.6	7.6	5.6	6.9 ± 0.8
ビタミンC (mg/dl)	7日目	0.50	0.41	0.45	0.89	0.87	0.62 ± 0.24
	11日目	0.94	0.42	0.95	0.89	0.84	0.81 ± 0.22
	15日目	0.57	0.37	0.83	0.78	0.92	0.69 ± 0.22

a:運動期初日, b:運動期5日目, c:実験終了時

* p < 0.05 (7日目との比較)

いコーンスターク, ショ糖, マーガリン, コーンオイルを用い, ビタミン摂取量については運動期も対照期と同じとした。実験食の組成を表-9に示した。

運動期には, 予め測定した各被験者の最大酸素摂取量の60%を目標強度とした自転車エルゴメーターによる30分間, 3回の運動を, 間に5分間の休息をはさんで, 9時および15時から負荷した。すなわち, 1日の運動時間は午前, 午後それぞれ90分ずつの計3時間であった。

実験7日目(運動期初日), 11日目(運動期5日目)および15日目(実験終了時)に早朝・空腹時採血を実施した。また, 6, 7, 14日目以外の実験日には24時間単位で採尿を実施した。

経時変化について検討した実験6, 7, 14日目には, 9時から19時まで2時間ごとに採血を実施し, 7時から19時までの2時間ごとの尿と19時から翌朝7時までの12時間尿を採取した。

なお, 被験者には実験期間中できる限り冷房の効かない実験室に滞在させた。

結果と考察

運動期においては, いずれの被験者も最初の2~3日間は運動時に疲労困憊に陥ったが, その後は自覚的な生体負担がやや軽減された。

全血中ビタミンB₁, B₂, C濃度の経時変化を表-10に示した。全血中ビタミンB₁濃度は運動期初日(実験7日目)に比べ5日目(実験11日目)に有

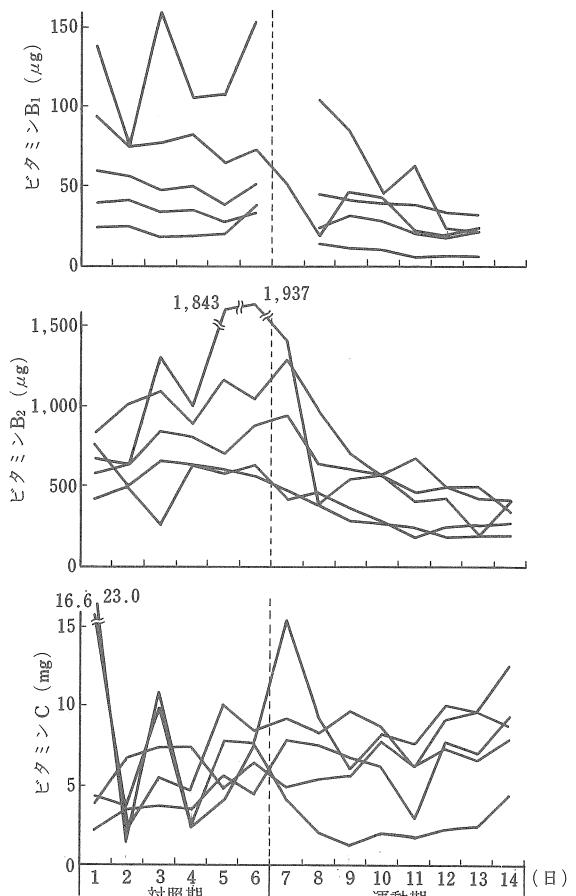
図3 尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の経日変化(実験2)

表11 尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の経日変化（実験2）

	対照期と運動期の比較													
	1	2	3	4	5	6 a	7 a	8	9	10	11	12	13	14 a
	対照期							運動期						
ビタミンB ₁ (μg) n=5	70 ± 46	54 ± 22	67 ± 56	58 ± 35	51 ± 35	70 ± 49	45 ± 16	41 ± 36	43 ± 26	33 ± 14	30† ± 22	20 ± 9	21 ± 9	32 ± 11
ビタミンB ₂ (μg) n=5	661 ± 159	658 ± 212	832 ± 405	794 ± 157	981 ± 538	1,008 ± 555	904 ± 456	565 ± 245	494 ± 169	448† ± 156	390†† ± 195	368† ± 139	308† ± 139	316† ± 93
ビタミンC (mg) n=5	10.0 ± 9.2	3.5 ± 2.0	7.4 ± 3.0	4.0 ± 2.1	6.4 ± 2.4	6.8 ± 1.5	8.2 ± 4.4	6.4 ± 2.9	5.8 ± 3.0	6.5 ± 2.7	4.9 ± 2.4	7.2 ± 3.0	7.0 ± 3.0	8.5 ± 2.9

平均値±標準偏差

a: 分割尿採取日。 †: p < 0.05, ††: p < 0.01 (対照期の最後の3日間の平均値との比較)。

表12 全血中ビタミンB₁, B₂, C濃度の経時変化（実験2）

	9:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00						
	6日目		9.6 ± 0.6		9.7 ± 0.6		8.8 ± 0.7
	(対照期最終日)	(運動期初日)	9.1 ± 0.7	8.3 ± 1.5	9.4 ± 1.5	9.6 ± 1.4	9.1 ± 1.4
ビタミンB ₁ (μg/dl) n=5	7日目	8.3 ± 0.7	9.5 ± 1.5	9.4 ± 1.5	9.6 ± 1.4	9.8 ± 1.1	9.0 ± 0.7
	(運動期最終日)	0.7	1.5	1.4	0.9	1.1	0.7
	14日目	9.1 ± 0.7	9.0 ± 0.7	7.5 ± 0.6	8.7 ± 0.9	8.3 ± 0.4	8.3 ± 1.5
	(運動期最終日)	0.7	0.7	0.6	0.9	0.4	1.5
	6日目	7.3 ± 0.7	7.0 ± 0.8	6.8 ± 1.0	7.1 ± 1.1	7.6 ± 1.6	7.3 ± 1.3
	(対照期最終日)	0.7	0.8	1.0	1.1	1.6	1.3
ビタミンB ₂ (μg/dl) n=5	7日目	7.9 ± 1.7	7.5 ± 0.7	8.4 ± 1.8	8.3 ± 1.3	9.9 ± 1.0	7.9 ± 1.2
	(運動期初日)	1.7	0.7	1.8	1.3	1.0	1.2
	14日目	7.3 ± 0.9	6.8 ± 1.5	6.4 ± 0.5	6.9 ± 1.0	7.5 ± 2.2	6.9 ± 0.5
	(運動期最終日)	0.9	1.5	0.5	1.0	2.2	0.5
	6日目	0.63 ± 0.21	0.74 ± 0.36	0.69 ± 0.23	0.72 ± 0.21	0.72 ± 0.18	0.77 ± 0.19
	(対照期最終日)	0.21	0.36	0.23	0.21	0.18	0.19
ビタミンC (mg/dl) n=5	7日目	0.63 ± 0.24	0.68 ± 0.23	0.67 ± 0.27	0.65 ± 0.26	0.77 ± 0.18	0.69 ± 0.23
	(運動期初日)	0.24	0.23	0.27	0.26	0.18	0.23
	14日目	0.65 ± 0.31	0.72 ± 0.28	0.69 ± 0.30	0.69 ± 0.25	0.74 ± 0.24	0.71 ± 0.24
	(運動期最終日)	0.31	0.28	0.30	0.25	0.24	0.24

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 (対照期との比較)。

表13 尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の経時変化（実験2）

		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 ～7:00
ビタミン B ₁ ($\mu\text{g}/2\text{h}$) n = 5	6日目 (安静期最終日)	5.1 ± 4.6	3.8 ± 1.5	4.2 ± 1.7	11.7 ± 11.3	7.8 ± 5.6	6.6 ± 4.3	5.1 ± 3.8
	7日目 (運動期初日)	4.7 ± 2.8	2.6 ± 1.0	3.8 ± 2.4	10.6 ± 8.8	4.5 ± 3.3	4.8 ± 1.6	2.3 ± 0.7
	14日目 (運動期最終日)	3.2 ± 1.7	1.9 † ± 0.9	2.9 ± 0.9	5.9 ± 2.8	2.3 ± 1.2	3.3 ± 1.3	2.1 ± 0.7
	6日目 (安静期最終日)	98.3 ± 44.2	62.0 † ± 30.3	67.3 ± 35.4	140.5 ± 125.6	81.0 ± 47.3	73.7 ± 31.7	80.9 ± 51.7
	7日目 (運動期初日)	89.1 ± 49.9	58.2 † ± 36.9	73.4 ± 42.2	122.0 ± 108.6	64.5 ± 41.9	98.4 † ± 45.4	66.3 ± 28.8
	14日目 (運動期最終日)	36.5 † ± 12.8	22.2 † ± 9.5	20.1 † ± 9.4	36.2 ± 17.3	27.3 ± 12.8	25.3 † ± 9.6	24.8 † ± 6.4
ビタミン B ₂ ($\mu\text{g}/2\text{h}$) n = 5	6日目 (安静期最終日)	0.60 ± 0.12	0.38 † ± 0.24	0.54 ± 0.26	1.32 ± 1.18	0.59 ± 0.27	0.49 ± 0.18	0.49 ± 0.23
	7日目 (運動期初日)	0.45 ± 0.19	0.33 ± 0.30	0.47 ± 0.30	3.11 ± 4.15	0.46 ± 0.28	1.00 ± 0.80	0.40 ± 0.16
	14日目 (運動期最終日)	0.75 ± 0.20	0.52 ± 0.27	0.53 ± 0.25	1.41 ± 0.99	0.62 ± 0.12	0.51 ± 0.09	0.69 ± 0.27
	6日目 (安静期最終日)	5.8 ± 1.3 mg ± 1.3 mg						
	7日目 (運動期初日)							
	14日目 (運動期最終日)							

平均値±標準偏差。†: p < 0.05 (各実験月の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)。

意に低下し、実験終了時（実験15日目）には平均値ではさらに低下したが、有意差はなかった。これらに対し、ビタミンB₂, C濃度は、有意な変動を示さなかった。

尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の経日変化を表-11および図-3に示した。対照期の最後の3日間のデータの平均値は、ビタミンB₁排泄量60±39 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、ビタミンB₂排泄量928±411 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、ビタミンC排泄量5.8±1.3mg/日であった。ビタミンB₂, C排泄量は実験1と大差がなかったのに対し、B₁排泄量はかなり低値であったが、この原因としては、調理によるビタミンB₁の損失が予想以上に大きかったこと、気温の影響などが考えられる。上記の対照期の最後の3日間のデータの平均値を基準として運動期の変動を検討すると、ビタミンB₁, B₂排泄量は著しく減少していた。ビタミンC

排泄量は有意な変動を示さなかった。

以上の尿中排泄量の経日変化の結果から、本実験におけるビタミンB₁, B₂摂取量でさらに長期にわたって激しい運動を継続した場合には、ビタミンB₁, B₂の欠乏状態を招来する可能性が考えられる。ことにビタミンB₁については尿中排泄量が非常に低い被験者も存在し、また、血中B₁レベルが11日目に有意に低下していた（表-10）ことを注目する必要がある。

全血中、尿中ビタミンB₁, B₂, Cの経時変化を、それぞれ表-12、表-13に示した。全血中ビタミンB₁濃度は運動期最終日は対照期最終日に比べてすべての時間帯で低値を示し、11, 13, 17時には有意差があった。ビタミンB₂, Cについては一定の傾向はみられなかった。尿中ビタミンB₁, B₂排泄量は、運動期最終日では対照期最終日、運動期

表14 被験者の身体特性（実験3）

被験者	性	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	最大酸素摂取量 (ml/min)	最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	スポーツ種目
Y	男	30	171	63.1	3,280	52.0	陸上(跳躍)
H	男	24	170	65.1	2,555	39.2	"
I	男	26	177	75.0	3,016	40.2	ラグビー
S	男	24	176	75.0	3,615	48.2	バレーボール

初日に比べ多くの時間帯で有意に低値を示した。ビタミンCに関しては運動による特記すべき動きはみられなかった。これらの経時変化は、運動日に夜間尿のビタミンB₁, B₂排泄量が低下したこと除いては、実験1でえられた結果とはかなり異なっている。これは運動負荷条件をはじめとする実験条件のちがいによるものと考えられる。

今回えられた実験結果と、今回の実験と同じ血液についてトランスケトラーゼ活性、グルタチオニレダクターゼ活性を指標として昨年度えられた結果とを合わせて考察すると、ビタミンB₁, B₂に関しては生活活動強度II（中等度）の所要量では今回の運動条件の下では不足である。今回の実験では、運動期にエネルギー摂取量は増大させたが、ビタミンB₁, B₂摂取量は増加させず対照期のままとした。しかし、本来の所要量の考え方では、運動によるエネルギー消費の増大に連動させてビタミンB₁, B₂の摂取量を増大させる必要がある。この点について検討するため、次の実験を行った。

〔実験3〕

前回の実験で、ビタミンB₁, B₂, Cを生活活動強度II（中等度）の1日あたり所要量を与え、運動時にエネルギー摂取量は増大させたがビタミン摂取量はそのままとしたところ、ビタミンB₁, B₂については栄養状態が悪化する可能性が示唆された。

いうまでもなくビタミンB₁, B₂, ナイアシンの所要量はエネルギー摂取量1,000kcalあたりの基準によって算定されている。そこで、ビタミンB₁, B₂については、運動時のエネルギー摂取量の増大に連動して、1,000kcalあたりの所要量の基準、さらに基準の1.5倍に相当するビタミンを与える、血中

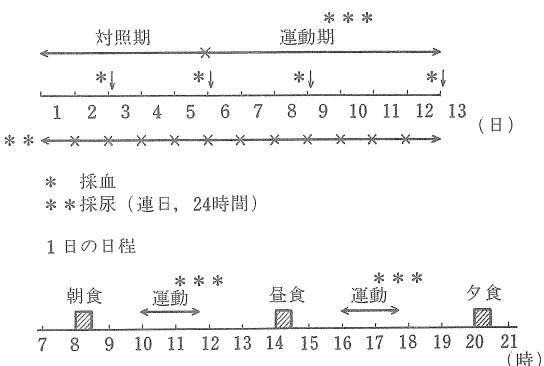


図4 実験日程（実験3）

ビタミンB₁, B₂, C含量、尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量、運動能力、疲労度などに及ぼす運動の影響を検討し、これらビタミンの要求量と運動との関係を明らかにすることを目的として、実験3を行った。

方 法

健康な成人男子4名（表-14）を被験者とし、各被験者は12日間の実験を2回繰り返して行った。実験日程を図-4に示した。

実験5日目までを対照期とし、特別の運動を禁止した比較的の安静な日常生活を行わせ、6日目以降12日目までを運動期とし、毎日運動を負荷した。予め測定された各被験者の最大酸素摂取量の60%を目標強度とした自転車エルゴメータによる30分間の運動を3セット、間に5分間の休息をはさんで、10時からと16時からの2回行わせた。すなわち、1日の運動時間は午前、午後それぞれ90分ずつの計3時間であった。

実験期間を通して実験食を朝食（8時～8時30分）、昼食（14時～14時30分）、夕食（20時～20時

表15 実験食の組成（実験3）

対照期

	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)	纖 維 (g)	B ₁ (mg)	B ₂ (mg)
朝 食	939	19.2	50.1	102.9	0.8	0.431	0.559
	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0.031	± 0.045
昼 食	1,083	33.8	40.9	141.5	2.0	0.441	0.677
	± 156	± 2.0	± 5.1	± 24.1	± 0.1	± 0.038	± 0.051
夕 食	855	29.0	7.4	139.6	1.2	0.420	0.592
	± 112	± 2.0	± 0.4	± 24.0	± 0.1	± 0.038	± 0.051
合 計		2,877	82.0	98.3	384.0	4.0	1.292
		± 268	± 3.9	± 5.5	± 48.2	± 0.2	± 0.107
							1.828
							± 0.148

運動期増加分

	エネルギー (kcal)	ビ タ ミ ン			
		B ₁ (mg)		B ₂ (mg)	
		× 1.0 ^a	× 1.5 ^b	× 1.0	× 1.5
運動期	1,712	0.741	1.663	1.021	2.303
1～3月	± 258	± 0.102	± 0.192	± 0.149	± 0.256
運動期	1,278	0.544	1.382	0.745	1.903
4～7月	± 225	± 0.092	± 0.175	± 0.127	± 0.235

a: 所要量 × 1.0, b: 所要量 × 1.5

30分) の3食として与えた。実験食の材料は実験2と同様である。実験食中のビタミンB₁, B₂含量は、実験2では食品成分表から計算によって求めたが、実験3では、米飯、分離大豆たんぱく質製品、乾燥みそ、ソーダクラッカー、そうめん、りんご、カレールーについてはビタミンB₁, B₂含量を実測した。実験食の組成を表-15に示した。表中のビタミン量は食品に由来するものと、ビタミン混合からとの合計である。被験者により体重が異なり、摂取量も異なるので、4人の平均値で示した。

運動期には、エネルギー摂取量の増加とともにビタミンB₁, B₂の摂取量も1,000kcalあたりの栄養所要量の基準、あるいはその1.5倍に基づいて増加させた。エネルギーの増加分は、米飯、そうめん、ソーダクラッcker、マーガリンで補い、ビタミンの増加分は上記の食品のほかにビタミン結晶を秤量し、1日分を3等分して食事の際に服用さ

せた。なお、表-15で運動期1～3日目と4～7日目で値が異なるのは1～3日目で体重増加の傾向がみられたので、4日目から、エネルギー摂取量を下げたためである。ビタミンC、ナイアシンは、運動期も対照期と同じく所要量を与えた。

運動期のビタミンB₁, B₂摂取量は、被験者Y, Hは1回目の実験では所要量、2回目の実験では所要量の1.5倍、被験者I, Sは1回目の実験では所要量の1.5倍、2回目の実験では所要量とした。

実験期間中、12日目まで連日24時間尿を採取し、実験3日目、6日目、9日目、13日目の朝食前8時に採血をした。血液中、尿中ビタミンB₁, B₂, Cを測定した。

実験3日目、6日目、9日目、12日目の9時30分～10時の間に握力、フリッカ値、全身反応時間を測定した。握力は左・右それぞれ2回測定し高い方の値をとり、フリッカ値、全身反応時間は5回測定し、最高値、最低値を除く3回の平均

表16 握力, フリッカ一値, 全身反応時間 (実験3)

		3日目	6日目	9日目	12日目
握力 (kg)	1.0 実験 ^a 1.5 実験 ^b	48.2 ± 4.7 ^c 48.2 ± 6.4	50.8 ± 5.0 47.9 ± 2.0	49.4 ± 4.2 48.8 ± 1.3	49.8 ± 2.9 48.8 ± 3.3
フリッカ一値 (rpm)	1.0 実験 {漸増 漸減 1.5 実験 {漸増 漸減	29.7 ± 1.3 29.7 ± 3.1 30.0 ± 3.5 30.2 ± 3.7	29.8 ± 1.8 28.9 ± 3.4 29.8 ± 3.7 30.1 ± 5.1	29.7 ± 1.7 29.6 ± 2.7 30.6 ± 3.4 30.5 ± 5.3	30.7 ± 2.7 29.9 ± 3.0 29.7 ± 4.3 30.0 ± 5.2
全身反応時間 (单一, sec)	1.0 実験 1.5 実験	0.467 ± 0.089 0.397 ± 0.023	0.414 ± 0.023 0.371 ± 0.018	0.403 ± 0.029 0.418 ± 0.023	0.393 ± 0.012 0.406 ± 0.021
全身反応時間 (選択, sec)	1.0 実験 {左 中 右 1.5 実験 {左 中 右	0.711 ± 0.074 0.688 ± 0.066 0.724 ± 0.044 0.637 ± 0.030 0.615 ± 0.038 0.668 ± 0.048	0.658 ± 0.027 0.635 ± 0.047 0.657 ± 0.041 0.685 ± 0.040 0.615 ± 0.062 0.658 ± 0.050	0.646 ± 0.050 0.628 ± 0.078 0.661 ± 0.066 0.686 ± 0.043 0.654 ± 0.068 0.675 ± 0.073	0.668 ± 0.088 0.621 ± 0.082 0.646 ± 0.045 0.664 ± 0.083 0.652 ± 0.069 0.674 ± 0.060

a : B₁, B₂, C の摂取量が所要レベルb : 運動期の B₁, B₂ 摂取量が所要量の 1.5 倍

c : 平均値 ± SD (n = 4)

表17 全血中ビタミン B₁, B₂, C (実験3)

		1.0 実験 ^a					1.5 実験 ^b				
		Y	H	I	S	M ± SD ^c	Y	H	I	S	M ± SD
ビタミン B ₁ (μg/dl)	3日目	10.8	6.9	8.8	10.0	9.1 ± 1.7	10.3	7.8	7.7	7.5	8.3 ± 1.3
	6日目	10.7	8.0	7.3	9.7	8.9 ± 1.6	9.9	5.9	7.9	10.7	8.6 ± 2.2
	9日目	8.8	5.8	8.1	6.1	7.2 ± 1.5	9.2	5.7	8.3	7.9	7.8 ± 1.5
	13日目	8.6	8.0	7.6	8.0	8.1 ± 0.4	9.2	6.7	8.6	8.8	8.3 ± 1.1
ビタミン B ₂ (μg/dl)	3日目	5.0	4.9	5.0	7.3	5.6 ± 1.2	5.2	5.4	5.2	5.7	5.4 ± 0.2
	6日目	5.6	7.4	6.4	6.8	6.6 ± 0.8	5.7	5.9	5.3	5.4	5.6 ± 0.3
	9日目	5.5	5.9	5.9	6.3	5.9 ± 0.3	5.6	6.1	5.7	6.0	5.9 ± 0.2
	13日目	5.9	6.2	5.9	6.0	6.0 ± 0.1	5.4	6.8	6.1	6.7	6.3 ± 0.6
ビタミン C (mg/dl)	3日目	0.54	0.51	0.88	0.69	0.66 ± 0.17	0.59	0.71	0.66	0.76	0.68 ± 0.07
	6日目	0.61	0.50	0.62	0.58	0.58 ± 0.05	0.47	0.52	0.71	0.75	0.61 ± 0.14
	9日目	0.52	0.45	0.74	0.57	0.57 ± 0.12	0.54	0.61	0.66	0.72	0.63 ± 0.08
	13日目	0.54	0.46	0.68	0.59	0.57 ± 0.09	0.56	0.55	0.53	0.64	0.57 ± 0.05

a : B₁, B₂, C の摂取量が所要量レベルb : 運動期の B₁, B₂ 摂取量が所要量の 1.5 倍

c : n = 4

値をとった。

結果と考察

握力 (左・右の平均値), フリッカ一値, 全身反

応時間の測定結果を表-16に示した。対照期と運動期との間にも、ビタミン B₁, B₂摂取量を所要量にした場合と所要量の1.5倍にした場合との間に差は認められなかった。

表18 尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の経日変化（実験3）

	ビタミン B ₁ (μg)		ビタミン B ₂ (μg)		ビタミン C (mg)	
	1.0 実験 ^a	1.5 実験 ^b	1.0 実験	1.5 実験	1.0 実験	1.5 実験 ^c
1日目	179 ± 41 ^d	178 ± 53	818 ± 434	413 ± 76	5.2 ± 2.9	7.3 ± 3.5
2日目	358 ± 178	234 ± 85	1398 ± 1074	649 ± 51	4.1 ± 2.0	3.7 ± 0.9
3日目	317 ± 75	188 ± 61	1077 ± 349	715 ± 183	4.3 ± 1.4	4.5 ± 1.3
4日目	264 ± 78	182 ± 29	975 ± 241	777 ± 132	3.8 ± 2.1	5.6 ± 2.7
5日目	239 ± 69	179 ± 14	892 ± 258	789 ± 140	3.3 ± 0.6	5.3 ± 2.2
6日目	330 ± 78	382 ± 120	1337 ± 500	1313 ± 563	5.2 ± 1.0	4.3 ± 0.4
7日目	248 ± 143	436 ± 127	956 ± 168	1321 ± 214	5.3 ± 0.6	5.4 ± 2.1
8日目	346 ± 99	564 ± 260	689 ± 123	1200 ± 416	5.7 ± 2.9	4.9 ± 1.0
9日目	308 ± 96	397 ± 158	649 ± 269	1034 ± 310	6.0 ± 3.6	4.5 ± 1.4
10日目	295 ± 97	359 ± 180	591 ± 251	1209 ± 393	6.8 ± 4.6	5.0 ± 2.1
11日目	362 ± 84	410 ± 191	742 ± 211	1115 ± 474	6.9 ± 4.1	5.2 ± 1.2
12日目	330 ± 194	392 ± 180	662 ± 256	1033 ± 304	5.2 ± 4.0	4.9 ± 1.1

a : B₁, B₂, C の摂取量が所要量レベル

b : B₁, B₂ の摂取量が対照期（5日目まで）所要量レベル、運動期（6日目以降）は所要量の1.5倍

c : 運動期の B₁, B₂ 摂取量は、所要量の1.5倍、C 摂取量は所要量レベル

d : 平均値 ± SD
(n = 4)

表19 1日尿中ビタミンB₁, B₂, C排泄量の対照期と運動期の比較（実験3）

			Y	H	I	S	平均 値
ビタミン B ₁ (μg)	1.0 実験 ^a	対照期	281	267	313	145	252
		運動期	413	353	340	244	338
	1.5 実験 ^b	対照期	167	206	174	174	180
		運動期	544	385	419	201	387
ビタミン B ₂ (μg)	1.0 実験	対照期	1103	723	1180	728	934
		運動期	895	434	820	510	665
	1.5 実験 ^c	対照期	842	710	935	611	783
		運動期	1277	1039	1527	631	1119
ビタミン C (mg)	1.0 実験	対照期	2.0	4.7	4.7	2.9	3.6
		運動期	4.8	12.5	4.4	3.6	6.3
	1.5 実験 ^c	対照期	2.9	3.9	7.7	7.4	5.5
		運動期	3.2	5.6	6.3	5.0	5.0

a, b, c : 表-18の注を参照。

血液中ビタミンB₁, B₂, Cの測定結果を表-17に示した。ビタミンB₁, Cの変動に関しては一定の傾向はみられず、運動負荷による明らかな影響は認められなかった。ビタミンB₂に関しては、被験者Yは摂取量が所要量レベルの場合、所要量の1.5倍のレベルの場合ともに対照期（6日目）と運

動期（9日目、13日目）とで大差がないが、他の被験者は所要量レベルの場合には運動期の方が対照期より低値を示し、所要量の1.5倍レベルの場合は運動期の方が高値を示した。このことはビタミンB₂に関しては、運動期には所要量レベルの摂取量では不足の可能性を示唆している。所要量の1.5

倍レベルの摂取量では十分であろうと思われる。尿中ビタミンB₁, B₂, Cの連日の排泄状況を表-18に、対照期、運動期の代表値として、それぞれ4日目、5日目の平均値、10日目、11日目、12日目の平均値をとて比較した結果を表-19に示した。

尿中排泄量の経日変化（表-18）をみると、ビタミンCについては、1.0実験(B₁, B₂の摂取量を所要量レベルとした実験)において、被験者Hが8～12日目の間排泄量が高かったため（表-19参照）4人の平均値が、この間やや高くなっているが、これ以外には特記すべき傾向はみられなかった。ビタミンB₁は1.0実験で5日目までの対照期と6日目以降の運動期とで大差なく、1.5実験(B₁, B₂の摂取量を運動期に所要量の1.5倍にした実験)では6日目以後は5日目までより高値を示している。ビタミンB₂では1.0実験では運動期に減少傾向がみられ、1.5倍実験では運動期の方が対照期より排泄量が高かった。

表-19の対照期と運動期の比較でも上述と同じ傾向がみられた。

以上の血液中、尿中ビタミンB₁, B₂, Cの運動期における変動から、Cについては所要量レベルの摂取でも運動時にとくに問題はなく、B₁, B₂については、1,000kcalあたりの所要量およびその1.5倍量を用いて、運動時のエネルギー摂取量に運動させてビタミンを摂取させた場合、B₁については所要量の基準で足りると考えられるが、B₂については不足であり、所要量の基準の1.5倍を摂取すれば十分であると考えられる。なお、Belko^{11,12)}らは運動はビタミンB₂の必要量を高めると報告している。

結論

昨年度に引き続き行った実験1の結果では、運動による一過性の影響としては、血液中ビタミンB₁は変化が少なく、B₂, Cは運動負荷により一時的に上昇することが認められた。尿中排泄量は、最大酸素摂取量の80%強度の運動時には、B₁排泄量の一時的減少、B₂排泄量の一時的増加がみられ、また、B₁, B₂ともに夜間就寝時の排泄量の低下がみられ、1日単位ではB₁, B₂ともに運動日の

方が対照日（非運動日）より低値を示した。尿中ビタミンC排泄量は80%運動日に高くなる傾向がみられた。これらの実験1の結果と、その後の実験2, 3において得られた結果とは必ずしも一致しなかった。その原因は運動負荷条件をはじめとする実験条件のちがいにあると考えられる。

連日運動を負荷し、主として血液中、尿中のビタミンB₁, B₂, Cの経日的な変動を観察した実験2, 実験3の結果から次の結論が得られた。

ビタミンCについては所要量レベルの摂取でも運動時にとくに問題はない。

ビタミンB₁, B₂は、生活活動強度II（中等度）の所要量では、今回の運動条件の下では不足である。

ビタミンB₁は、0.40mg/1,000kcal、ビタミンB₂は0.55mg/1,000kcalという所要量の基準を用い、運動によるエネルギー摂取量の増大に運動させて、1日摂取エネルギー量に応じてビタミンB₁, B₂を摂取させた場合、ビタミンB₁は十分であるが、ビタミンB₂は不足である。

摂取エネルギー1,000kcalあたりのビタミンB₁, B₂所要量の基準の1.5倍を用いて摂取させた場合には、運動期において、ビタミンB₁はもちろんビタミンB₂も十分である。

文 献

- 1) Williams, M.H., Ed : Nutritional Aspects of Human Physical and Athletic Performance, Charles C Thomas, 1976.
- 2) 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)
- 3) Williams, M.H., Ed : Erogogenic Aids in Sports, Human Kinetics, 1983.
- 4) 伊藤信義：運動とビタミン，永井書店，1960.
- 5) 高橋徹三：スポーツとビタミン，からだの科学，No.129, P54, 1986.
- 6) Grandjean, A.C. : Vitamins, Diet and the

- Athlete, Clinics in Sports Medicine, 2, 105, 1983.
- 7) 厚生省：第三次改定日本人の栄養所要量，1984。
- 8) National Academy of Sciences : Recommended Dietary Allowances, Ninth Revised Edition, 1980.
- 9) 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
- 10) 科学技術庁資源調査会：四訂 日本食品標準成分表，1982
- 11) Belko, A.Z., Obarzanek, E., Kalkwarf, H.J., Rotter, M.A., Bogusz, S., Miller, D., Haas, J.D., Roe, D.A. : Effects of exercise on riboflavin requirements of young women, Am. J., Clin. Nutr., 37, 509, 1983.
- 12) Belko, A.Z., Obarzanek, E., Roach, R., Rotter, M., Urban, G., Weinberg, S. and Roe, D.A. : Effects of aerobic exercise and weight loss on riboflavin requirements of moderately obese, marginally deficient young women, Am. J. Clin. Nutr., 40, 553, 1984.

2. 運動負荷によるビタミン B₁, B₂栄養状態の変化 (その2)

報告者 真田 宏夫¹⁾

研究協力者 高橋 徹三²⁾ 山田 哲雄³⁾

スポーツ選手のビタミン B₁, B₂要求量を決めるために、昨年度に引き続き、運動負荷によるビタミン B₁, B₂の栄養状態の変化について検討した。前報¹⁾では、生活活動強度II(中等度)における成人男子の所要量に相当するビタミン B₁, B₂を摂取している青年男子に、連続した2日間あるいは8日間の運動負荷を行い、B₁, B₂栄養状態の変化を報告した。その結果から、短期の運動はこれらの栄養状態には有意な影響は与えないが、長期の運動では影響を与える可能性があることが示唆された。このため、今回は比較的長期に激しい運動を継続した場合にこれらの栄養状態がどのように変化するかを検討した。また今回の実験においては、被験者のビタミン B₁, B₂摂取量を摂取エネルギー当たりの所要量と同量とした場合と、その1.5倍にした場合の比較検討を行った。ビタミン B₁, B₂の栄養状態の比較は、前回と同様に、現在最も勝れたこれらビタミンの栄養状態判定法とされている赤血球酵素活性に対する各ビタミン補酵素添加効果を指標した。すなわち、ビタミン B₁栄養状態については赤血球トランスクレターゼ活性(TKA)に対するチアミンピロリン酸添加効果(TPP効果)を、ビタミン B₂栄養状態については赤血球グレタチオンレダクターゼ(EGRA)に対するFADの添加効果を指標とした。

実験方法

被験者は健康な青年男子4名とした。実験期は5日間の非運動安静期とそれに続く7日間の運動

期とした。最初の12日の実験期間においては、2名の被験者に成人男子のエネルギー1,000kcal当たりのビタミン B₁, B₂所要量に相当する B₁, B₂量を毎日摂取させ、他の2名にはその1.5倍量を摂取させた。この実験期が終了した後少なくとも9日間は通常の食生活にもどし、再度12日間の同様の実験を繰り返した。ただし、先に所要量相当量を摂取した者は次の実験期にはその1.5倍量を摂取させ、先に所要量の1.5倍量を摂取した者は次には所要量相当量の摂取量とした。各ビタミンの所要量は B₁が0.4mg/1,000kcal/day, B₂が0.55mg/1,000kcal/dayとした。実験開始6日目からは最大酸素摂取量の60%強度の自転車エルゴメーターによる運動を30分間づつ3セットで1回として、午前10時から1回、午後4時から1回、1日合計2回の運動負荷を行った。実験開始より3日目には、8時(早朝空腹時), 11時, 17時の3回採血を行い、安静期のサンプルとした。さらに実験6日目(運動初日), 9日目(同3日目), 12日目(同7日目)にも安静期の場合と同時刻に採血し、運動期のサンプルとした。なお、この実験の被験者は高橋班の被験者と同じである。

赤血球の TKA および TPP 効果は Brin のマイクロ法により測定した。²⁾また、EGRA 及び EGRAC 係数(EGRAC) は Nichoalds の方法によって測定した。³⁾

結 果

安静期と運動期の各々について、同一日の採血時刻によって測定値に有意な差が認められるか否かを、各測定項目毎に検討した。その結果、4名の被験者の TKA, TPP 効果, EGRA, EGRAC

1) 国立栄養研究所基礎栄養部

2) 東京家政大学

3) 筑波大学体育科学系

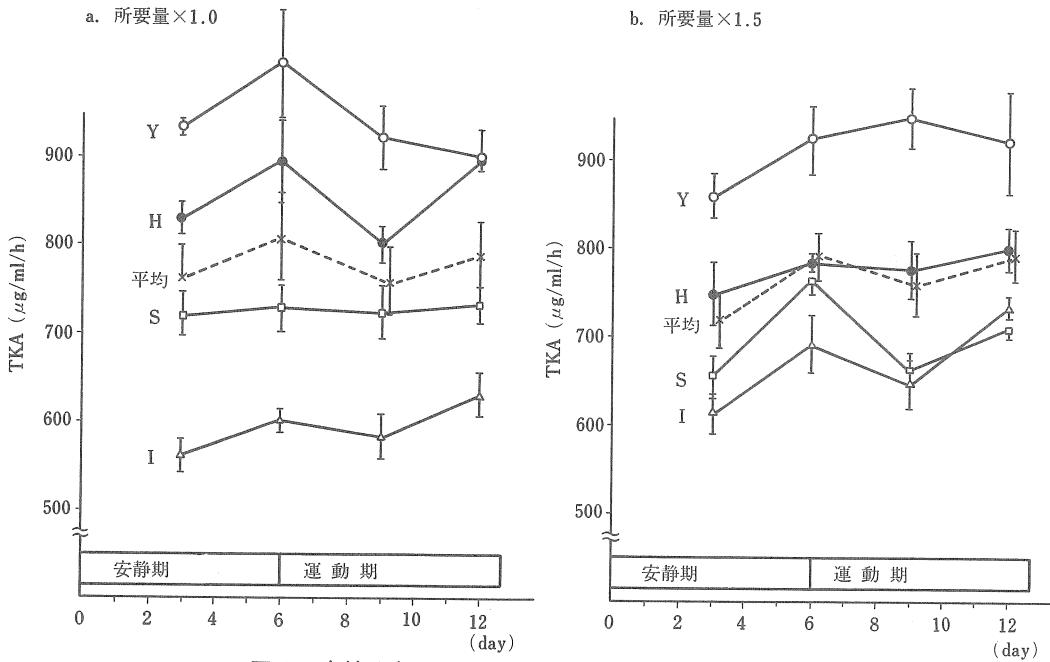


図1 各被験者の赤血球トランスクレターゼ活性の変化
(M±SE)

の各平均値は運動負荷の有無、ビタミン摂取量の相違にかかわらず、採血時刻による差は認められなかった。この結果より、以後は3時刻の平均値をその日の測定値として相互比較をすることにした。

TKA値の経日変化を図1に示す。TKA活性の個人差は大きく、安静期に高値を示す者は運動期においても高値を示す傾向が認められた。運動のTKAに及ぼす影響については、ビタミン摂取量が所要量相当量の場合(図1-a)でもその1.5倍量の場合(図1-b)でも、安静期と運動期の間に有意な差は認められなかった。また、ビタミン摂取量を所要量の1.5倍にした場合も、安静期、運動期のTKA値とも所要量相当量摂取群との間に有意な差は認められなかった。最初の実験期においては被験者YとHが所要量相当量の摂取量、SとIがその1.5倍量の摂取量であったが、これらの被験者の運動初日(実験開始より6日目)のTKA値はいずれも一過性に高値を示した。

TPP効果の経日変化を図2に示す。TPP効果の値は各実験期の安静期に個人差が大きく、後期にはその差が小さくなる傾向が認められた。この結

果は各実験期初期のビタミンB₁栄養状態に個人差が大きかったことを示唆するものである。TPP効果の平均値は所要量相当量摂取群では全実施期間中比較的一致しており、運動による影響は認められなかった。しかし、所要量の1.5倍摂取群では安静期に高値を示し、運動後期に向かって低下する傾向がみられる。この結果は被験者Sが安静期に特に高値を示し、運動後期には最低値を示すことによるものと考えられ、他の3名ではこのような明確な傾向は認められない。一方、ビタミン摂取レベルによるTPP効果の差は安静期と実験6日目(運動初日)に認められるが(P<0.05)、運動後期には認められない。この結果も各実験初期のビタミンB₁栄養状態が各被験者で一定していなかつたためと考えられる。しかし運動後期においては両摂取レベル間で有意差がないということは、運動時においてもビタミンB₁摂取量は所要量相当量で十分充足されていることを示唆するものである。

EGRAの経日変化を図3に示す。B₂摂取量が所要量相当量の場合(図3-a)は安静期、運動期の全期間を通じてEGRA値はほぼ一定に保たれた。しかし摂取量が所要量の1.5倍の場合(図3-b)は

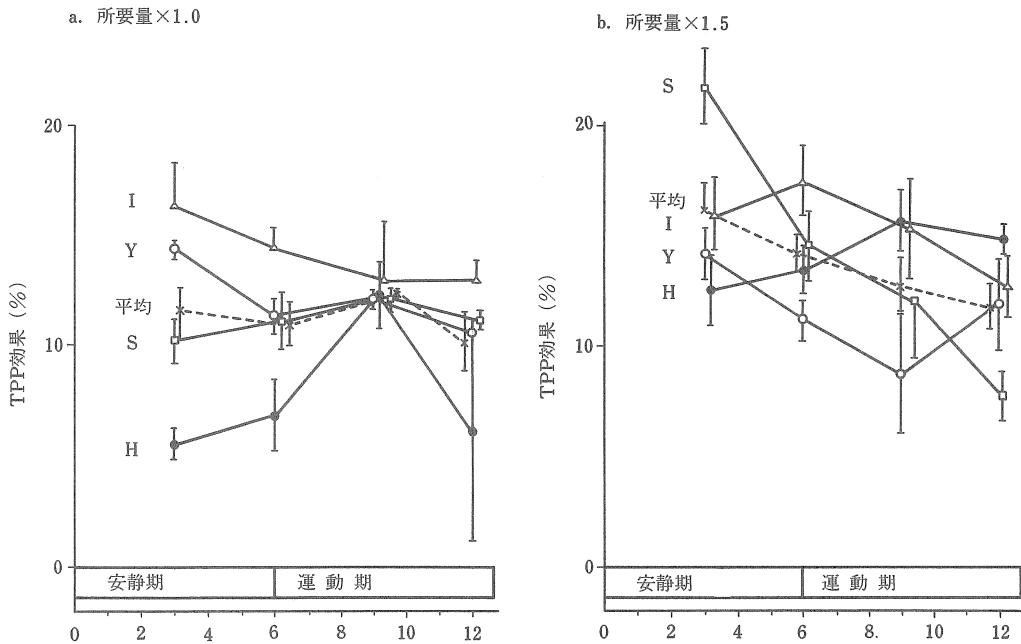


図2 各被験者の赤血球トランスケトラーゼ活性に対するTPP効果の変動
(M ± SE)

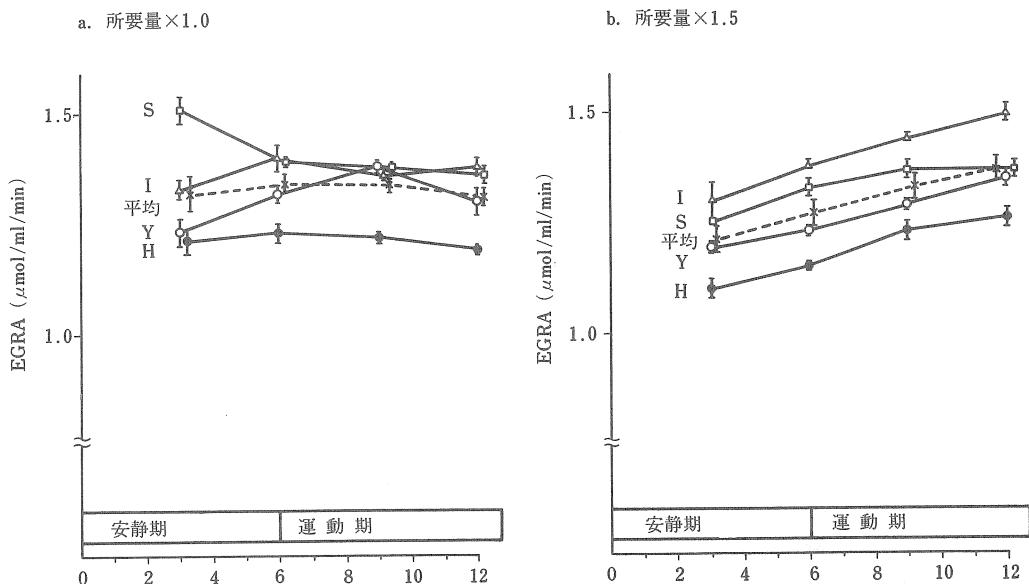


図3 各被験者の赤血球グルタチオンレダクターゼ活性の変化
(M ± SE)

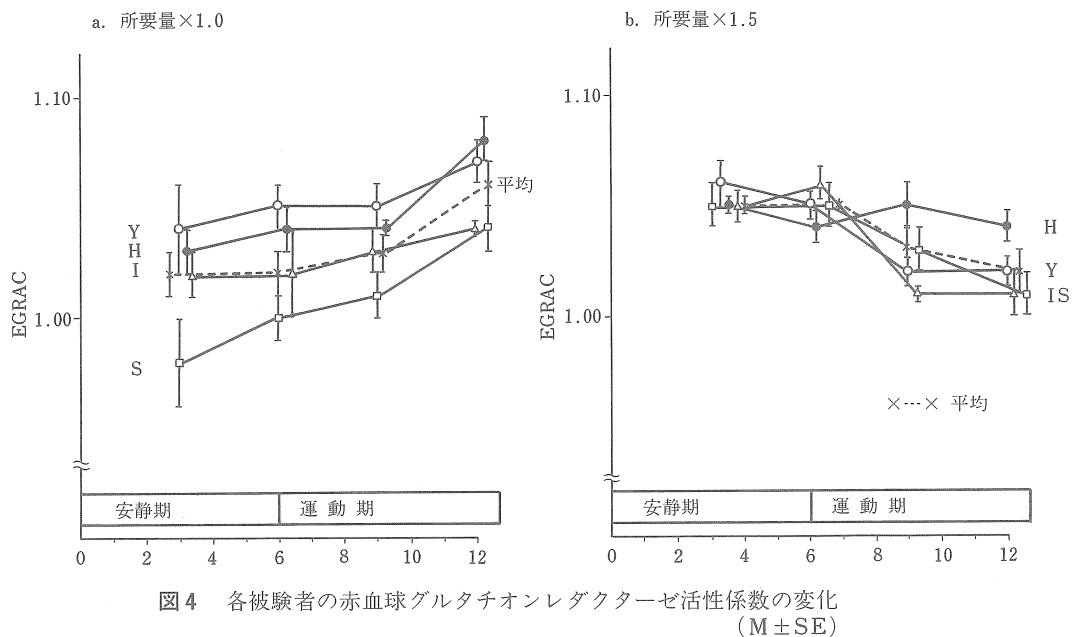


図4 各被験者の赤血球グルタチオンレダクターゼ活性係数の変化
(M±SE)

EGRAの平均値、各個人値はともに運動後期になるほど高値を示す傾向がみられた。この場合も安静期 EGRAは両摂取レベル間で有意な差が認められ ($P<0.05$)、しかも摂取量の多い群が低値を示すことなどから、各実験期初期、安静期のビタミン B_2 栄養状態が一定していなかった可能性がある。運動後期(実験12日目)における EGRA 値は所要量の1.5倍摂取群が所要量相当量摂取群よりやや高値となるが、有意差は認められない。

EGRAC 値の経日変化を図4に示す。ビタミン B_2 を所要量相当量摂取した群では、EGRAC の平均値、各個人値とも安静期から運動後期にかけて上昇しており、運動継続によりビタミン B_2 栄養状態が悪くなる傾向が示された(図4-a)。一方、所要量の1.5倍の摂取群では逆に EGRAC の平均値、個人値ともに安静期から運動期に向かって低下しており、 B_2 栄養状態が改善する傾向が認められた(図4-b)。しかし、この場合も、両 B_2 摂取レベル間で比較すると所要量の1.5倍摂取群の方が所要量相当量摂取群に比べ安静期の EGRAC 値が有意に高く($P<0.05$)、各実験期初期の B_2 栄養状態の差がその後の経時変化に影響を与えた可能性もある。しかし、運動後期(実験12日目)には安静期とは逆に所要量の1.5倍摂取群の方が EGRAC 値が

有意に低値を示している($P<0.05$)。これらの結果から、ビタミン B_2 を所要量相当量しか摂取していない場合は、運動を長期間継続することによって B_2 が不足する可能性があることが示された。また所要量の1.5倍の摂取では運動によるビタミン B_2 栄養状態の悪化は認められず、 B_2 は充足していることが示された。

考 察

前報においては、生活活動強度IIにおける成人のビタミン B_1 所要量と等量の B_1 を摂取している青年男子被験者では、長期間の運動継続により B_1 が不足する可能性のあることを指摘した。しかし、今回の実験においては、摂取エネルギー当たりのビタミン B_1 所要量と同量の B_1 を摂取させ、長期間運動を継続させてもビタミン B_1 栄養状態の悪化する傾向は認められなかった。この結果は成人男子が長期間運動を継続する場合のビタミン B_1 要求量は、一般成人男子の生活活動強度IIにおける所要量(1.0mg/日)より高くする必要があるが、摂取エネルギー当たりの所要量(0.4mg/1,000kcal)と同等であれば充足されることを示している。Yakovlevはスポーツ選手の B_1 要求量を5~10mg/日としているが⁴⁾、今回の実験からはこのような高い要

求量は推定されなかった。今回の実験では、実験初期のB₁栄養状態に大きな個人差があり、このことが実験の精度をやや低くする結果となった。このため、より長い期間の運動継続の場合をこの実験から推定することは困難であった。

一方、ビタミンB₂については、前報で一般成人の生活活動強度IIにおける所要量と同量のB₂摂取だけでは長期の運動継続によってB₂が不足する可能性を指摘した。さらに、今回の実験により、摂取エネルギー当たりの所要量(0.55mg/1,000kcal)では運動継続時にまだ不足する可能性があり、その1.5倍量であれば充足されるものと考えられた。しかし、摂取エネルギー当たりの所要量相当量のB₂を摂取した場合の本実験期間つまり9日間程度の運動によるB₂栄養状態の悪化は实际上ほとんど問題にならないほど小さな変化である。この実験期の9日目から12日目までのEGRAC値の上昇率がこのまま続くものと仮定した場合、1日約0.01のEGRAC値の上昇が起こることとなり、さらに9日間の運動継続によって正常値の上限である1.15に達し、それからさらに15日間の運動継続によりGlatzle等⁵⁾が欠乏状態の下限値として定めた1.30に達することとなる。このような推定から、20日間程度の運動継続では所要量レベルのB₂摂取でも問題が起こるとは考えられず、1ヶ月以上に及ぶ非常に長期の運動の場合のみ所要量レベルでも不足の生じる可能性が考えられる。このような非常に長期の運動においてもビタミンB₂栄養状態が悪化しないようなB₂の摂取レベル、あるいは要求量をこの実験だけから推定することは困難である。しかし、もし、安静期の正常なEGRAC値を長期の運動期間中一定に保つに必要なB₂摂取量を最小要求量と仮定すると、この実験における安静期から運動最終日までの9日間の所要量相当量摂取群のEGRAC値の変化は+0.04であり、所要量の1.5倍摂取群の変化は-0.03であるから、B₂摂取レベルとこの値の減少率が比例するものと仮定して計算すると $1.0 + 0.04 / (1.5 - 1.0) = (0.04 +$

0.03) = 1.28

となり、所要量の1.28倍(0.70mg/1,000kcal)を要することになる。Belko等も長期の運動によってビタミンB₂摂取量が高まることを報告している。^{6),7)}その報告によれば、長期間(3週間以上)ジョギングを毎日続けている青年女子は、1.1mg/1,000kcalのビタミンB₂を必要とし、運動をしていない青年女子では0.96mg/1,000kcalを必要とすることを示している。この値は今回の実験から推定された量よりかなり高値である。

長期間の運動継続に対するビタミンB₁, B₂の要求量を正確に求めるためには1ヶ月以上に及ぶ長期間の実験が必要であり、実際にスポーツ選手のために必要な要求量を追求するためには各種スポーツに見合った運動の種類や運動強度についてさらに研究を進める必要がある。

文 献

- 1) 真田宏夫, 高橋徹三, 山田哲雄, 昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告No.IV, p.p.16-19. (1986)
- 2) Brin, M., Methods in Enzymology, Vol. 18 (A) pp.125 (ed. by D.B. McCormic and L.D. Wright) Academic Press, (1970)
- 3) G.E. Nichoalds and J.D. Lawrence, Clin. Chem., 20, 624-628 (1974)
- 4) Yakovlev, N.N., Dietary for Sportsmen of the XVII Olympic Games in Rome, Vap. Pitam., 20, 47-51 (1961)
- 5) Glatzle, D., Int. J. Vitamin Res. 40, 166-183 (1970)
- 6) 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)
- 7) 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)

3. 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 —第2報—

報告者 小林修平¹⁾ 長嶺晋吉²⁾

研究協力者 山川喜久江¹⁾

スポーツ選手の健康を保持し、訓練効果を高め、競技能力を向上するためのビタミン必要量については、欧米選手を中心に補助食品としてのビタミン剤を多用する傾向が一般化しているにもかかわらず、研究も少なく十分明らかになっていない。^{1),2)}われわれは前報において、大学ボート選手を対象に摂取栄養水準及び血液生化学の両面から激しいトレーニング中におけるビタミンB₁及びB₂の栄養状態を調べ、いわゆる境界域欠乏状態 (Marginal deficiency) にある者が少なくないことを明らかにしたが³⁾、今回はこれらの選手について、これらビタミンの必要量を具体的、定量的に検討する目的で、最もトレーニング水準が高く、また発汗等栄養的に条件が悪くなる夏期を選び、被験者のビタミンB₁及びB₂等摂取量と血液中の栄養状態を調査するとともに、特に欠乏傾向の強いB₁について一定量の投与実験を行い、血液生化学的応答状況を観察した。

方 法

被験者は全日本選手権決勝で入賞したエイトメンバー全員を含む都内大学男子漕艇部員16名で、うち14名は前報の被験者と同一である。一般的な身体状況を表1に示した。これらの値については、前報のものと大きな差はなかった。皮下脂肪厚の測定法、体脂肪の算出法は前回³⁾のものと同一である。調査期間は全日本選手権を控え集中合宿中の昭和61年8月2日より同8月15日まで、同大学艇庫（合宿所）にて実施した。

一部の被験者については生活時間調査を実施し、1日のエネルギー消費量を算出した。対象にはエイトのストロークサイド4名を選び8月2、9両日の各24時間について実施した。日中のトレーニング時間中には、験者が対象者の行動を追跡して記録し、乗艇中は験者による追跡が困難なため、コックスの号令をテープレコーダーにて録音し、被験者の動作内容と時間を把握記録した。激しく身体活動を行っている昼間トレーニング時間にはほぼ秒単位で行動記録を行い、自由時間内（自室及び外出中）については被験者自身に記録させ、調査終了時に聞きとりを行って補充した。バウサイドの4名は、ほぼ対応するストロークサイドの者と同じ動きをしているので、後者4名の平均をエイト漕手の平均と考えた。エネルギー消費量の算出には文献^{1),4),5)}のRMR値を用い、基礎代謝量は「日本人の栄養所要量」⁴⁾に示されている体表面積当たりの基準値に、日常生活活動強度の補正として6%を加算したものを用いた。

表1 被験者の一般的な身体状況 (n=16)

項目	数値(平均)	S. D.
年齢(歳)	21.8	1.4
身長(cm)	175.8	4.0
体重(kg)	70.9	3.5
皮下脂肪厚(mm)		
上腕	8.3	5.2
背	9.5	2.2
脇横	8.2	2.2
3部計	25.5	5.4
体脂肪(%)	11.3	1.5

1) 国立栄養研究所健康増進部

2) 大妻女子大学

食物調査は8月5, 6, 7の3日間にわたり、部員が調理する給食、自由摂取による間食及び保健食品など摂取したものすべてについて実施した。給食については各人のものを摂食前後で秤量し、調理前の材料の使用量を参考にしつつ調理前食品としての摂取量を算出した。間食その他については、被験者自身に食品名と摂取量を記録させ、験者の聞きとりによって補正した。エネルギー摂取量並びに各摂取栄養素量は「四訂日本標準食品成分表」¹⁰⁾及び「会社別製品別市販食品成分表」¹¹⁾により算出した。ビタミンの調理による損耗率が必要な場合、ビタミンAについては20%、同B₁については30%、B₂は25%、Cは50%とし、給食由来の食品についてのみ考慮した。

血液生化学的評価法も前報³⁾と同一でB₁についてはBrin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による判定法⁸⁾、ビタミンB₂についてはSanberlichらによるグルヌチオン還元酵素のFAD添加効果率による判定法⁹⁾を用いた。採血はいずれも早朝空腹時に3回実施した。第1回はビタミン投与前の8月5日、第2回はクロス投与の日に当たる8月10日、第3回は投与終了直後の8月15日に行った。血液試料はヘパリン存在下に低温（-5°C）にて遠心し血漿を分離した沈殿を2回づつ冷生食水で洗浄し、バッフィコートを除去したのち、ほぼ等容量の水で溶血させた後凍結保存した。ビタミンB₁及びB₂の栄養状態の判定基準は、前報同様B₁については添加効果率15~24%を境界域欠乏、25%以上を欠乏とし⁸⁾、ビタミンB₂については活性促進度(AC) 1.20~2.00を境界域欠乏、2.01以上を欠乏とした。⁹⁾

結果

1. エネルギー消費量

生活時間調査によるエイトメンバーの平均1日当たりエネルギー消費量は4,049kcal(3,751~4,374kcal)であった。練習時間内のエネルギー消費量は2,231kcalであり、この内容は1日2回の乗艇訓練及びランニングや筋肉トレーニングを含む陸上トレーニングから成り立っている。1日のトレーニングメニューは天候等種々の条件に左右されるが、表2には両日の平均、トレーニ

表2 ポート選手のエネルギー消費量

2日間の平均消費量 (kcal)

ポジション	自由時間内	練習時間内	1日の消費エネルギー
2	1,717	2,249	3,956
4	1,907	2,209	4,116
6	1,906	1,845	3,751
8	1,753	2,620	4,374
平均	1,818	2,231	4,049

トレーニング量の多い日の消費量 (kcal)

ポジション	自由時間内	練習時間内	1日の消費エネルギー
2	1,156	3,559	4,716
4	1,779	3,684	5,462
6	1,818	2,762	4,580
8	1,776	3,779	5,554
平均	1,632	3,446	5,078

トレーニング量の少ない日の消費量 (kcal)

ポジション	自由時間内	練習時間内	1日の消費エネルギー
2	2,256	939	3,195
4	2,034	735	2,769
6	1,994	929	2,922
8	1,730	1,462	3,192
平均	2,003	1,017	3,020

ングの強い日及び弱い日の3種についてエネルギー消費状況を示した。なおトレーニングの激しい日のエネルギー消費量は約5,000kcalにも達していた。

2. 栄養摂取状況

1日当たりの平均エネルギー及び栄養素摂取量を表3に示した。エネルギー摂取量は4,327kcal/日(3,670~4,877kcal/日)で、前項に述べたトレーニング期のエネルギー消費水準4,049kcal/日を上まわるが、調査期間中選手の体重に有意な変化は認められていない。前報の結果(4,619kcal/日)よりむしろ低目であるが、季節差が影響しているかも知れない。

蛋白質の摂取量は148.7g(112.1~171.7g)であった。体重当たりでは前報同様2.1g/kgとなり、トレーニング期に摂取すべきとされている2 g/kg¹²⁾を充足している。動物性蛋白質の摂取比は53.7%で、

表3 1日平均栄養摂取量 (n=16)

Energy and Nutrient		Mean	± S. D.
Energy	kcal	4,327	± 385
	kcal/kg. wt.	61.0	± 6.3
Protein	Total. (g)	148.7	± 13.6
	g/kg. wt.	2.1	± 0.2
	Animal. (%)	53.7	± 5.8
Fat	Total (g)	142.6	± 22.0
	Animal. (%)	44.9	± 6.5
Calcium	(mg)	728	± 371
Iron	(mg)	16.7	± 2.0
Vitamin	A (IU)	2,789	± 576
	B ₁ (mg)	3.25	± 0.8
	B ₂ (mg)	2.78	± 1.0
	Niacin (mg)	36.3	± 5.6
	C (mg)	264	± 161
Calorie percents (%)	Carbohydrate	53.8	± 2.9
	Protein	13.8	± 1.1
	Fat	29.6	± 2.9
	Alcohol.		

同じくスポーツ選手の望ましいとされている範囲(50~60%)内にある。

脂肪の摂取量は142.6g/日(108.4~182.9g/日)で、うち動物性脂肪は44.9%を占めていた。総摂取エネルギーのうち脂肪の占める割合は29.6%で、トレーニング期における推奨比率である30%~35%にはほぼ近い値であった。動物性/植物性脂肪比はほぼ1で、バランスのとれた摂取状況といえる。

カルシウムの摂取量は728mg/日(452~7,971mg/日)で、発汗量がそれほど多くない場合の所要量(700~800mg/日)範囲に入るが、今回は夏期であること、トレーニング期においては1,000~1,200mg/日程度が望ましいとする考え方であることからみると、必ずしも十分とは言えない。

鉄の摂取量は16.7mg/日(6.1~19.6mg/日)であり、スポーツ選手の所要量とされる20~30mgには全員が不足状態であった。調理のめんどうな野菜類、とくに緑黄色野菜類が敬遠されがちであることが鉄の摂取不足の主たる原因と思われる。

本研究の主目標であるビタミン類についてみる

と、まずビタミンAの摂取量は2,789I.U./日(2,165~4,036I.U./日)である。トレーニング期においては4,000~5,000I.U./日の摂取を望ましいとする考えもあるが、わが国の栄養所要量においては特に身体活動の強さに連動してビタミンAの所要量を増加させる考えを示していない。調理損失20%を見込んで2,319I.U./日(1,800~3,356I.U.)で、所要量水準の2,000I.U./日を平均的には充足している。

ビタミンB₁の摂取量は3.25mg/日(2.08~4.68mg/日)であったが、調理による損失30%を見込むと2.47mg/日(1.48~3.96mg/日)である。ビタミンB₁の望ましい摂取水準は、エネルギー摂取量1,000kcal当たり0.4mgとされているので、本対象者の場合これは4,000~5,000kcalと考え、ビタミンB₁所要量1.6~2.0mgに相当する。したがって平均的にはこれを充足しているものと考えられるが、給食から摂取されたものについてのみ言えば、1.82mg/日(1.40~2.12mg/日)となり、給食では望ましい量を取りきれていないようである。

ビタミンB₂の摂取量は2.78mg/日(1.54~4.75

表4 摂取栄養に占める給食・間食・スポーツ飲料などの割合

	給 食	間 食	ス ポーツダイエット ド リン ク 及び 保 健 剤
Energy	86.0	12.5	1.5
Protein	92.2	7.7	0.1
Fat	92.0	8.0	0.0
Calcium	54.9	44.0	1.1
Iron	90.4	8.4	1.2
Vitamin A	84.3	12.8	2.9
B ₁	80.0	8.0	12.0
B ₂	64.4	17.6	18.0
Niacin	89.5	3.6	6.9
C	31.8	26.1	42.0

表6 各選手の赤血球トランスクレターゼ活性のチアミンピロリン酸(TPP)添加効果率(%)
(n=14)

対象者番号	TPP 添加効果率 (%)		食事によるビタミンB ₁ 摂取量(mg) (調理による損失込み)
	ビタミンB ₁ 投与前	ビタミンB ₁ 5 mg/日 5日間投与後	
1	※25.0	2.4	3.83
2	0	9.2	2.29
3	※20.9	0	2.61
4	10.3	3.0	3.44
5	0	0	2.43
6	※26.3	9.6	▲ 1.48
7	※22.0	6.2	2.17
9	2.0	0	▲ 1.85
11	0	0	2.05
12	※16.9	8.9	2.05
13	4.9	0	3.96
14	※22.3	0	▲ 1.97
15	※21.4	8.1	▲ 1.94
16	0	0	3.01

* 界域欠乏状態

※ 欠乏状態

▲ 所要量を充足していない者

mg/日)であったが、調理による損失25%を見込むと2.33mg/日(1.36~4.44mg/日)である。B₂もB₁同様エネルギー摂取量に所要量が運動し、前者が4,000~5,000kcalの場合2.2~2.75mgとなる。従って平均的には充足されているが、個人別では望ましい摂取量に達していない者が16名中9名(56

表5 食品群別平均摂取量(1人1日あたりg)

食 品 群		摂 取 量 (g)
穀類	米類	492.4
	めん類	19.6
	その他の	49.3
いも類	生	35.8
	加工品	11.1
砂糖類		8.8
菓子類		34.5
油類脂	植物油	10.5
	マヨネーズ	41.4
種実類		0.5
豆類	みそ類	15.1
	大豆及び大豆製品	98.6
魚介類		38.6
獣鳥肉類		294.9
卵類		68.3
乳類	牛乳	167.7
	その他	113.4
野菜類	緑黄色	34.3
	その他	377.2
果実類		213.3
海草類		5.9
嗜好飲料		206.4
加工食品		102.9
スポーツ飲料		210.2

%)と半数以上であった。給食からの摂取量は調理損失を見込んで1.72mg/日(1.22~4.30mg/日)で、ビタミンB₁同様給食のみでは十分取りきれないことがわかる。

ナイアシンの摂取量は36.3mg/日(25.0~48.6mg/日)で、個人別にみてもスポーツ選手の望ましい量とされている30mg/日をほぼ充足していた。

ビタミンCの摂取量は264mg/日(100~700mg/日)であったが、調理による平均損失とされている50%を見込むと222mg/日(84~596mg/日)となって、スポーツ選手の望ましい量100~200mg/日を平均的には充足している。しかし損失を考慮した給食からのビタミンC摂取量は平均73mg/日であり、やはり給食からは充足されていないようである。参考のために、給食、間食、スポーツダイエット及びドリンク・保健剤による栄養素の摂取割合を表4に示した。ビタミンC、カルシウムを

表7 各選手の赤血球中のグルタチオン還元酵素のFAD添加効果

対象者番号	FAD効果指数*			判定**
	1回目採血	2回目採血	3回目採血	
1	1.09	1.08	1.13	○
2	1.04	1.05	1.00	○
3	1.12	1.09	1.08	○
4	1.17	1.14	1.12	○
5	1.03	1.04	1.05	○
6	1.18	1.19	1.26	△
7	1.19	1.08	1.19	○
8	1.10	1.07	1.13	○
9	1.18	1.13	1.10	○
10	1.09	1.14	—	○
11	1.06	1.00	1.08	○
12	1.03	1.04	1.05	○
13	1.08	1.07	1.10	○
14	1.22	1.38	1.27	△
15	1.09	1.06	1.00	○
16	1.02	1.12	1.02	○

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

** 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)

はじめ、各ビタミン及びミネラルの1日の摂取量中、かなりの部分が給食以外の食事に依存していることが明らかである。栄養摂取上の問題点をさらに明らかにするために、1人1日当たり食品群別摂取状況を表5に示した。全般的傾向として、マヨネーズの多用、肉類特に豚肉類への依存、牛乳・乳製品摂取量の低さと著しい個人差、緑黄色野菜の著しい摂取不足などが指摘されるようである。

3. 血液生化学的手法によるビタミンB₁及びB₂の栄養状態評価

前回に引き続き、ビタミンの境界域欠乏状態を検出する目的で補酵素添加効果によるビタミンB₁及びB₂の栄養状態評価を試みた。ビタミンB₁については、投与実験を行う前に実施した第1回採血からの結果を表6の第1列の欄に示した。対象者16名中5名(31%)が境界域欠乏状態、2名(13%

%)が欠乏状態と判定された。すなわち、対象者の約44%, 半数近くが潜在的ビタミンB₁欠乏状態にあると推察される。表6の右欄に示したビタミンB₁摂取量と対比させると、血液生化学的に欠乏傾向とされた7名中3名は摂取量の上からも不足と考えられた者と一致し、逆に摂取不足とされたうちの1名は血液生化学的には正常であった。これはビタミンB₁の体内利用能における個体差、食物調査期間と採血日の若干のずれ、投与実験前、すなわち日常服用していたビタミン剤の影響、採血前日のトレーニング量などにより修飾されたためと思われる。

ビタミンB₂の血液生化学的栄養状態判定については3回の採血試料による平均結果として表7に示した。対象者16名中2名(13%)が境界域欠乏状態と判定されたが、この2名のビタミンB₂摂取量は1.76mg/日及び1.36mg/日(調理損失込)で、

いざれも所要量とされるている水準(2.2~2.75mg/日)に達していない者であった。

4. ビタミンB₁投与実験結果

全対象者16名を8名づつA, B 2群に分け、特にエイト及びフォアの各ペアは同じ群に入らぬよう配慮し、8月5日(第1回採血日)より9月まではA群にはビタミンB₁、(チアミン塩酸塩)5mg/日を各人に内服させ、B群にはプラセボとして基剤の乳糖2gのみを与えた。8月10日(第2回採血日)には投与群とプラセボ群を入れかえ、A群にはプラセボ、B群にはビタミンB₁を同様に5日間投与し、8月15日に第3回の採血を行った。実施期間中、下剤や個人的事情で一時帰省したもの除き、ビタミンB₁投与前と投与後のTPP効果率による血液性化学的判定結果をみると、大勢において欠乏者、あるいは境界域欠乏者がビタミンB₁の投与により正常なビタミンB₁栄養状態になったことが表6および図1から明らかである。なお、投与群とプラセボ群との間に、主観的疲労感などの自覚的徴候に差は認められなかった。

考 察

ポート選手はスポーツの各種目中でも、最も激しいトレーニングを行い種目の1つとされており、スポーツ選手の栄養必要量をその最上限を設定するという立場からはきわめて好適な研究対象と考えられる。今回の対象者は1日の平均エネルギー消費量は4,049kcalで、鈴木ら⁵⁾が昭和35年に測定した大学漕艇選手の例(4,899kcal)に比べ低い値であったが、調査日の2日のうち、一方が練習量の少ない特殊な日に当たり、エネルギー消費量も3,020kcal/日と極端な低いことから、トレーニング期間の平均としてはほぼ鈴木らの調査例に近いものと思われる。

1日平均栄養摂取量は、前回の調査と比較するとビタミン類を中心にやや改善の傾向がみられた。このことは、血液生化学的栄養評価の結果、B₁, B₂いざれについても前回に比べ境界域欠乏ないし欠乏と判定された者が少なかった事実とよく対応している。しかし、多くのビタミンについてはなお提供されている給食のみでは十分供給しきれない事実もまた今回の調査から明らかになっている。

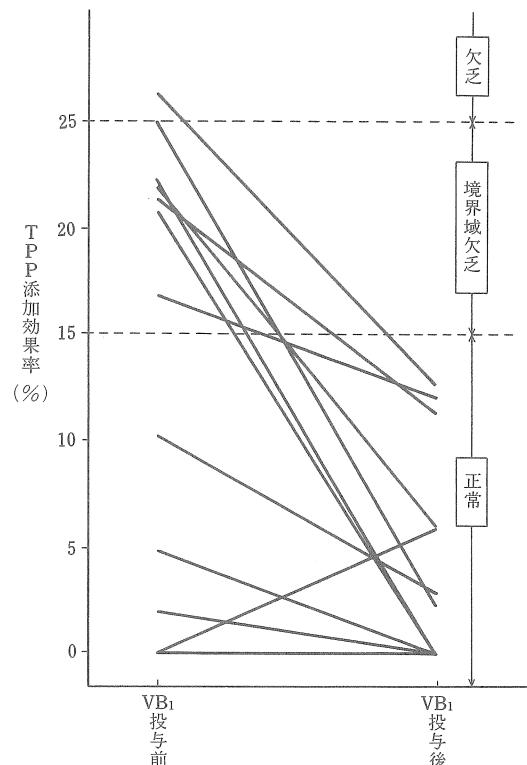


図1 各選手の赤血球トランスケトローゼ活性のチアミンピロリン酸(TPP)添加効果(%)

対象者16名いざれも、給食の残食はほとんどないので、給食からの摂取栄養量に個体差は少ないが、間食やダイエット・ドリンク、保健剤のとり方は各人さまざまであり、特にミネラルやビタミンの摂取水準の維持は給食以外の部分にも依存するところが大きく、摂取量の充足状況の個人差をもたらしている。給食でこれらの栄養素が十分供給されない理由は、給食を部員自身で調理していることもあり、調理しやすい食品に偏っていることが主たるもの1つであろう。魚介類、緑黄色野菜などがこのため著しく少くなり、牛乳・乳製品もほとんど間食等からとることとなり、カルシウム摂取不足などの結果をもたらしている。一般論としても、専門の知識をもった調理、給食担当者を配置することが望まれるゆえんである。

血液生化学的にみたビタミンB₁の栄養状態は16名中7名に境界域欠乏ないし欠乏との判定結果であった。この欠乏状態と判定された者の中には、

一般成人の所要量基準(摂取エネルギー1,000kcalあたり0.4mgとして、本対象の場合は2mg)を超える量を摂取している者も含まれており、しかもこれらの者はビタミンB₁5mg/日を5日間投与の結果正常状態に改善されたことから考えると、今回の対象のように日常激しいトレーニングを行う種目のスポーツ選手には、上記所要量を上まわる量、安全率をみておそらく4mg程度とするのが適当という考え方を支持するものである。

ビタミンB₂については、血液生化学的に境界域欠乏状態と判定された2名はいずれもその摂取量がこれまで知られている所要量水準に達していない者であった。従って現在のところビタミンB₂については従来からこのようなトレーニング水準のスポーツ選手に望ましいとされて来た2.2~2.75mg/日を充足するよう配慮すればよいものと思われる。

これらのビタミンをはじめ、諸必須栄養素の摂取必要量をスポーツ選手に適切な水準に確保するためには、上述の給食内容の改善はもちろんであるが、間食の内容や量については、給食計画の中に組み入れるなど、重視して行く必要があると思われる。

まとめ

前回に引き続き、激しいトレーニングを行うスポーツ選手の栄養必要量を、ビタミンB₁及びB₂を中心として検討する目的で、合宿訓練中の大学漕艇部選手16名を対象に3日間の食事調査、生活活動調査、ビタミンB₁及びB₂栄養状態の血液生化学的評価及びビタミンB₁投与による同栄養状態の応答状況について検討し、次の結果を得た。

1. 栄養摂取状況は、3大栄養素及びその比率についてはスポーツ選手として望ましいとされている状態であったが、望ましいとされている量に達していない者がカルシウムで88%，鉄は全員、調理による損失を考慮すると、ビタミンAは94%，ビタミンB₁は25%，B₂は50%，Cは44%であった。これに対する改善策として、毎日の給食の欠陥を改めるため、専門家による調理、献立指導の必要性を指摘した。

2. 血液生化学的方法(補酵素添加効果率)で調べたところ、ビタミンB₁については7名(44%)、B₂については2名が境界域ないしそれ以上の欠乏状態と判定された。
3. これらビタミンB₁欠乏者のうちには、ビタミンB₁摂取量が同様の高レベルのエネルギー消費を行っているとして算定した一般成人の所要量水準を上まわる者がいたこと、またビタミンB₁を5mg/日、5日間投与することによって上記欠乏状態の7名が正常状態に改善されたことから考えて、従来の一般成人の所要量では激しいトレーニングを行うスポーツ選手に対しては不十分である可能生が考えられる。
4. ビタミンB₂の境界域欠乏と判定された2名を含む数名が摂取量においても望ましいとされている水準に達していないことから、このビタミンについては、従来の所要量水準を充足することが必要と思われる。

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, I.H. and Freund, B.J. : Nutritional enhancement of athletic performance, Nutrition Abstr, Rev., 54, 1~16, (1984)
- 3) 小林修平、長嶺晋吉、山川喜久江：食物接種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、昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学報告書, pp28~33, (1985)
- 4) 厚生省：第3次改定日本人の栄養所要量, pp25~42, (1984)
- 5) 鈴木楨次郎他：スポーツ栄養に関する研究(第1報), 栄養学雑誌18, 17~22, (1960)
- 6) 科学技術庁：四訂日本標準食品成分表(1985)
- 7) 香川牙子：会社別製品別市販食品成分表(最新版), (1983), 女子栄養大学出版部
- 8) Brin, M. et al : Am, T. Clin. Nutr. 17, 240~258, (1965)
- 9) Sanberlich, H.E. et al : Am, T. Clin. Nutr. 25, 756~762, (1972)

謝 辞

本研究には被験者として、早稲田大学漕艇部員の方々、験者として田口康子、加藤由佳の両者、栄養調査あるには生活時間調査には石井恵子、長

久保恭子、湊久美子、山下久美子の諸氏の多大の御協力を頂いた。稿を終るに当たり、感謝の意を表したい。

4. 長時間運動に及ぼすビタミンE多量投与ならびに血中ビタミンE濃度に及ぼす各種運動の影響

報告者 村岡 功¹⁾

研究協力者 吉野貴順¹⁾ 横関利子¹⁾ 湊久美子²⁾

安田耕太郎³⁾

1. 長時間最大下運動および引き続き行われる漸増最大運動に及ぼすビタミンE多量投与の影響

われわれは昨年度の研究において、Normoxia および Hypoxia (酸素濃度16.6~16.8%) 条件下におけるビタミンE (E) 多量摂取の影響を検討した。¹⁰⁾しかしながら、約20~25分間で終了する漸増最大運動のパフォーマンス、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ および OBLA に関して両条件下ともビタミンE投与に伴う有意な改善は観察されなかった。

従って、現時点においては、平地での比較的短時間運動で、Eがergogenic effectをもたらすという客観的データは存在しないと言えよう。

しかしながら、Eの薬理作用、すなわち有酸素的運動によって産生される過酸化脂質を抑える抗酸化作用を持つこと⁴⁾に加えて、末梢循環の改善や酸化的リン酸化の効率を高めること¹¹⁾を考えた時、主に有酸素的過程からのエネルギー供給によって遂行される長時間運動に対して、E多量摂取は何らかのergogenic effectをもたらす可能性を残している。

そこで、本研究では“Anaerobic threshold (AT)”を基準とした45分間の定常運動、および引き続き行われる漸増最大運動に及ぼすビタミンE多量摂取の影響を明らかにすることを目的とした。

実験方法

早稲田大学漕艇部員14名を本研究の被験者とした。彼らの年齢は19~21歳であり、身長および体重は、それぞれ175.5±3.5cmおよび71.5±3.2kg(平

均値土標準偏差)であった。

被験者は、本実験に先立ち、自転車エメゴメータ（モナーク社製）を用いた負荷漸増テストを行い、換気性閾値(AT)および最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2\text{max}}$)が測定された。テストは、ペダル回転数を60rpmに固定し、2分間の空こぎの後、2分毎に負荷を0.5kpずつ漸増してexhaustionに至らしめるものであった。

テスト中、ダグラス・バッギ法により、各負荷の後半1分間、ならびにexhaustion近くでは連続して1分毎に呼気ガスが採取された。採取された呼気ガスは直ちに湿式ガスマータで計量とともに、その一部を既知濃度の標準ガスで較正したBeckman LB-2およびOM-11を用いて、それぞれCO₂およびO₂濃度について分析した。

ATは、Wassermanら¹²⁾、Davisら³⁾、およびReinhardら¹³⁾に従って、漸増運動中に換気量(VE)および二酸化炭素排出量($\dot{V}CO_2$)が非直線的な上昇を開始し、かつ酸素排出濃度(F_{EO_2})が最低値を示す点として決定された。

このテストの結果から、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、ATおよび形態計測値が両群でほぼ等しくなるように、被験者をE投与群(E群)およびプラセボ投与群(P群)に振り分けた(表1および表2)。

E群には、d-α-トコフェロール・アセテートを1日300mg(417I.U.)、一方、P群には外見上同一のプラセボを同量服用するように指示した。服用は原則として毎食後30分以内に100mg(1カプセル)とし、その服用状況を配布した調査表に記入させた。なお、投与期間は、1986年11月から12月にかけての40日間であった。

Eあるいはプラセボ投与前後で、同じプロトコー

1)早稲田大学教育学部

2)東京学芸大学

3)鳳川診療所

表1 被験者の身体特性

ビタミンE群				プラセボ群			
被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
I G	19	175.0	78.0	M N	19	170.3	67.0
S T	21	179.6	71.5	O G	22	174.5	69.0
S Y	21	175.2	70.6	N N	21	174.9	72.0
O Z	21	173.0	69.7	O S	19	175.5	70.0
M H	20	184.5	75.5	O K	22	170.8	70.5
H M	19	173.4	70.5	S D	22	174.9	72.5
T K	21	176.3	67.0	I T	20	178.6	77.0
平均	...	174.2	71.8	平均	...	176.7	71.1
標準偏差	...	2.6	3.4	標準偏差	...	3.7	2.4

表2 被験者の Anaerobic threshold と最大酸素摂取量

ビタミンE群					プラセボ群						
被験者	Anaerobic threshold			最大酸素摂取量 (ml/kg/分)	被験者	Anaerobic threshold			最大酸素摂取量 (ml/kg/分)		
	$\dot{V}O_2$	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	work (kpm/分)			$\dot{V}O_2$	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	work (kpm/分)			
I G	30.1	49.3	900	4279	61.1	M N	25.8	41.0	720	4209	63.0
S T	28.0	46.4	810	4296	60.4	O G	24.0	40.6	720	4136	59.1
S Y	26.0	41.3	810	4446	63.0	N N	21.4	37.8	630	4044	56.6
O Z	25.1	44.2	720	3975	56.8	O S	26.3	46.5	720	3868	56.5
M H	22.5	41.5	720	4091	54.2	O K	24.0	45.8	720	3717	52.4
H M	23.7	43.7	630	3742	54.2	S D	23.3	46.3	720	3710	50.3
T K	24.9	.....	720	.....	.....	I T	26.5	50.9	900	4008	52.1
平均	25.8	44.4	760	4138	58.4	平均	24.5	44.1	734	3956	55.7
標準偏差	2.4	2.8	83	233	3.4	標準偏差	1.7	4.2	76	182	4.2

ルの運動テストを行った。すなわち、運動テストは、先に求めた AT に相当する負荷で自転車エルゴメータを45分間ペダリング（定常運動）し、引き続き負荷を毎分0.5Kp ずつ増加し、exhaustion に至らしめるものであった。なお、ペダリング頻度は60rpm に固定した。

テスト中、ダグラス・バッグ法による採気を、定常運動では定期的に、exhaustion 近くでは連続して1分毎に行った。得られた呼気ガスは前述の方法で計量、分析された。

また、運動開始直前、定常運動中（定期的に5回）および運動終了直後、回復5分目に、前腕静脈中に留置したカテーテルより採血を行った。

得られた血液サンプルは、血中乳酸濃度分析のため0.6N の過塩素酸で除蛋白された後、上澄液を分析まで凍結保存した。分析はベーリンガー・マンハイム社製ラクテート・テスト用キットを用いて酵素法によって行った。

一方、運動開始前の血液サンプルの一部は、遠心分離され血漿中 α -トコフェロール濃度測定まで凍結保存された。分析は高速液体クロマトグラフィーを用いて行った。

研究はすべて二重盲検法で行われた。なお、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。

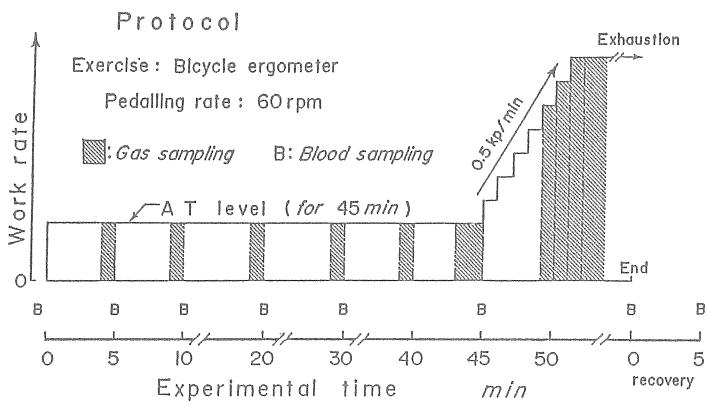


図1. 実験運動プロトコール

表3 投与前後の血漿中 α -トコフェロール量と服用率

ビタミンE群			プラセボ群				
被験者	投与前 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	投与後 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	服用率 (%)	被験者	投与前 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	投与後 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	服用率 (%)
I G	6.64	12.85	78	M N	6.89	7.51	94
S T	7.10	9.16	99	O G	9.01	8.84	70
S Y	5.23	16.42	100	N N	10.61	9.04	74
O Z	5.25	9.05	91	O S	5.39	5.74	96
M H	6.48	20.52	100	O K	6.12	6.58	85
H M	6.37	14.06	88	S D	7.62	11.94	87
T K	5.91	11.48	96	I T	5.73	5.46	73
平均	6.14	13.36	*☆ 93	平均	7.34	7.87	82
標準偏差	0.66	3.80	8	標準偏差	1.76	2.16	8

Significant difference * vs. 投与前 p < 0.01
☆ vs. P 群 p < 0.01

結果

E群およびP群におけるEあるいはプラセボの服用状況ならびに投与前後の血漿中 α -トコフェロール濃度を表3に示した。自己申告による実験期間中の服用状況はE群で93%およびP群で82%であった。

40日間のE摂取の結果、E群の血漿中 α -トコフェロール濃度は投与前の $6.14 \pm 0.66 \mu\text{g}/\text{ml}$ から $13.36 \pm 3.80 \mu\text{g}/\text{ml}$ へと上昇した。この値は、投与前およびP群の投与後のそれと比較して、統計的に有意($p < 0.01$)なものであった。これに対してP群の血漿中 α -トコフェロール濃度には投与前後

で変化は見られなかった。

定常運動中に得られたE群およびP群の投与前後における酸素摂取量($\text{ml}/\text{分}$, $\text{ml}/\text{kg} \cdot \text{分}$), % of $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$, 換気量(BTPS), 呼吸交換比, 心拍数および血中乳酸濃度を表4に示した。これらの値は、いずれも45分間の定常運動中の測定値を平均したものである。

酸素摂取量($\text{ml}/\text{分}$, $\text{ml}/\text{kg} \cdot \text{分}$), % $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$ および換気量には、グループ間およびグループ内において、投与前後で何ら差は見られなかった。一方、呼吸交換比は両群とも投与後増加する傾向がうかがわれ、P群では投与前後の値に有意差($p <$

0.05) が観察された。しかし、両群について投与前後の差を求めて比較すると、両群の変化分には統計的有意差は認められなかった。

心拍数は、E 群では投与前後で変化が見られなかつたが、P 群では投与後有意 ($p < 0.05$) に減少した。逆に血中乳酸値は両群とも投与後減少する傾向が見られ、E 群では投与前後に統計的有意差 ($p < 0.05$) が認められた。しかし、いずれもグループ間では有意差が認められず、また両群の変化分にも有意差は認められなかつた。

45分間の定常運動後に引き続き行われた漸増最大運動時に得られた酸素摂取量 (ml/分, ml/kg·分), 換気量, 心拍数および血中乳酸濃度のそれぞれ最高値ならびに定常運動終了後から exhaustion に至るまでの時間 (総運動時間 - 45分) を表 5 に示した。これら全ての項目については、グループ間およびグループ内で何ら有意差は観察されなかつた。

考 察

本研究の被験者の血漿中 α -トコフェロール濃

度は、E 投与前、E 群および P 群でそれぞれ $6.14 \pm 0.66 \mu\text{g}/\text{ml}$ および $7.34 \pm 1.76 \mu\text{g}/\text{ml}$ であり、両群に統計的有意差は認められなかつた。

40日間の E 投与に伴い、E 群の血漿中 α -トコフェロール濃度は $13.36 \pm 3.80 \mu\text{g}/\text{ml}$ へと上昇した。この上昇は E 群の投与前および P 群の投与後と比較して統計的に有意 ($p < 0.01$) なものであった。

本研究の被験者の投与前における血漿中の α -トコフェロール濃度が、一般成人よりもかなり低い値^{2), 5)} であったことは、実験条件設定上、重要な意味を持つかも知れない。なぜなら、通常の場合、倫理的にあるいは人道上、被験者を意図的に E 欠乏状態にすることは困難であるからである。本研究では期せずして、血漿 α -トコフェロール濃度の低い被験者を用いて、運動能力に及ぼす E 多量摂取の影響を検討することが可能となつた。

E の多量摂取が ergogenic aid として注目されるようになった理論的根拠の 1 つは、E 欠乏ラットのデータであったという。¹⁹⁾ すなわち、E 欠乏ラットでは、貧血、ミトコンドリアにおける酸化的リン酸化の減少および筋肉の衰弱などが観察されてお

表 4 定常運動中に得られた呼吸循環系パラメータおよび血中乳酸濃度

被験者	酸素摂取量						換気量		呼吸交換比		心拍数		乳酸値	
	(ml/分)		(ml/kg/分)		(% of $\dot{V}\text{O}_{2\text{ max}}$)		(l/分)				(拍/分)		(mg/dl)	
	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後
I G	1932	1958	27.8	27.8	45.5	45.5	44.4	46.7	0.85	0.87	118	121	14.1	11.1
B S T	1918	1811	27.0	25.3	44.6	41.9	49.3	49.7	0.89	0.94	131	134	14.8	12.3
T S Y	1811	1849	25.7	26.1	40.7	41.3	43.4	44.2	0.87	0.87	118	121	9.1	5.9
M O Z	1656	1745	23.7	24.9	41.7	44.0	48.5	53.0	0.89	0.92	113	120	13.0	12.8
E M H	1741	1642	22.6	21.7	41.7	40.1	40.9	40.1	0.88	0.89	128	121	14.3	11.5
群 H M	1545	1483	22.4	21.0	41.3	38.8	36.4	40.0	0.81	0.92	125	125	11.9	12.1
T K	1599	1697	23.7	25.3	.....	.....	43.9	43.4	0.92	0.91	126	132	17.3	8.4
平均	1700	1741	24.7	24.6	42.6	41.9	43.8	45.3	0.87	0.90	123	125	13.5	10.6
標準偏差	158	142	2.0	2.2	1.8	2.3	4.1	4.5	0.03	0.02	6	5	2.4	2.3
M N	1736	1687	25.9	25.2	41.1	40.0	44.7	46.5	0.86	0.94	119	114	13.0	13.7
P O G	1726	1654	25.1	24.0	42.6	40.5	41.9	43.1	0.87	0.93	123	125	9.1	9.7
群 P R	1600	1560	22.1	21.7	39.0	38.3	45.0	43.4	0.87	0.90	118	114	14.5	11.3
S O S	1843	1666	26.9	23.8	47.6	42.1	52.4	50.9	0.86	0.91	132	126	.....	.....
ボ O K	1620	1526	22.8	21.6	43.6	41.3	43.8	42.0	0.90	0.92	122	116	11.1	10.8
S D	1641	1672	22.3	23.1	44.2	45.8	44.5	51.3	0.88	0.86	123	121	9.3	6.8
I T	2088	1959	27.1	25.2	52.1	48.5	49.8	52.0	0.79	0.92	131	117	11.6	10.8
平均	1751	1675	24.6	23.5	44.3	42.3	46.0	47.0	0.86	0.91	124	119	11.4	10.5
標準偏差	158	129	2.0	1.4	4.0	3.3	3.4	4.0	0.03	0.02	5	5	1.9	2.1

り、このデータを外挿法的に健常人に当てはめ、さらには E 多量摂取が欠乏ラットと逆の効果をもたらすであろうと推測され現在に至っている。

もし、この仮説が正しいならば、血漿中濃度の低い本研究の被験者において、より顕著な ergogenic effect を生ずる可能性が潜在するであろう。

また、Dillard ら⁴⁾は E が有酸素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を明らかにし、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。¹⁷⁾これらのこととは、E 多量摂取が有酸素的運動に効果を及ぼすことを推測させる。

そこで本研究では、特に長時間の有酸素的運動に及ぼすビタミン E 多量摂取の影響を検討することに焦点を当てた。一般に、本研究で用いた AT 以下の強度での運動は、ほぼ有酸素的エネルギー代謝によって遂行される。³⁾¹³⁾¹⁸⁾

しかし、表 4 および表 5 に示した通り、40日間にわたる 1 日 300mg の E 摂取は45分間の AT レベル

での定常運動および引き続き行われる漸増最大運動において、プラセボ以上の効果を何らもたらさなかった。

二重盲検法でなされた最近の平地での研究は、E 多量摂取が何ら ergogenic effect をもたらさないことを報告している。すなわち、Shephard ら¹⁶⁾は、1 日 1,200I.U. の E を競泳中距離選手に対して、高強度トレーニング期（平均 20,000yards/week）に約 85 日間にわたって投与した。しかし、 $\dot{V}O_{2\max}$ 、回復期心拍数および筋力のいずれにも効果を見い出せなかった。同様に Lawrence ら⁹⁾は、競泳選手に対して 1 日 600mg の α -トコフェロールを 6 カ月間にわたって投与したが、約 15 分間の間欠的な 100 ヤード泳、酸素負債量および回復期血中乳酸に、何ら ergogenic effect は得られなかつたことを報告している。同様の結果は Sharman ら¹⁵⁾によっても示されている。

われわれもまた、Normoxia および Hypoxia (酸素濃度；16.6~16.8%) 条件下で、38 日間にわたる E 多量摂取 (300mg/day) が漸増最大運動 (約 20~25 分間) のパフォーマンス、 $\dot{V}O_{2\max}$ および

表 5 実験運動中に得られた最高値

	酸 素 摂 取 量				換 気 量		心 拍 量		乳 酸 値		定常運動終了後の運動時間		
	(ml/分)		(ml/kg/分)		(l/分)		(拍 / 分)		(mg/dl)		(分)		
	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	投与前	投与後	
ビ タ ミ ン E 群	I G	4203	4319	60.5	61.3	131.7	157.3	182	186	76.2	72.5	8.08	9.05
	S T	4296	3923	60.4	54.9	154.7	163.9	192	194	80.1	70.0	8.34	8.12
	S Y	4446	4493	63.0	63.3	130.8	163.2	192	198	64.4	62.1	9.09	9.11
	O Z	3853	3574	55.0	51.3	154.9	156.7	194	194	83.7	79.4	8.17	8.21
	M H	3988	3834	51.8	50.8	147.1	142.3	196	196	103.4	81.1	8.19	8.37
	H M	3742	3349	54.2	47.5	136.7	134.5	194	196	87.5	94.0	8.24	8.39
	T K	.....	.....	.....	.....	.....	....	....	.....	.....	.....	.....	.....
	平均	4088	3915	57.5	54.9	142.7	153.0	192	194	82.6	76.5	8.35	8.54
ボ ボ 群	標準偏差	248	396	4.0	5.7	10.1	10.9	5	4	11.8	10.0	0.34	0.39
	M N	4221	4066	63.0	60.7	184.6	190.2	186	178	99.5	94.8	8.77	8.77
	O G	3925	3924	57.2	57.2	159.8	166.7	188	188	99.1	88.8	7.87	8.13
	N N	3923	3894	54.1	54.1	155.0	167.9	192	194	100.2	109.1	9.14	9.11
	S O	3868	3707	56.5	53.0	155.6	150.5	194	188	85.0	76.4	7.36	7.41
	O K	3717	3487	52.4	49.5	163.6	162.1	194	194	90.7	83.2	7.30	8.17
	S D	3710	3720	50.3	51.3	163.2	160.1	182	178	90.1	63.5	7.47	8.06
	I T	4008	3645	52.1	47.0	135.7	124.3	180	179	71.3	68.1	7.04	7.50
	平均	3910	3781	55.1	53.3	159.6	160.3	188	186	90.8	83.4	7.79	8.17
	標準偏差	163	183	3.9	4.3	13.4	18.5	5	7	9.6	14.6	0.71	0.57

乳酸性閾値に何ら効果をもたらさないことを観察した。

比較的長時間運動を対象とした本研究においても、前述の先行研究同様に ergogenic aid としての E 多量摂取の有効性は否定された。従って、要約すれば、無酸素的な要素を含む高強度運動、筋力系、運動からの回復能力、 $V_{O_2\text{max}}$ 、Anaerobic threshold の出現、漸増最大運動のパフォーマンスおよび 60 分程度の有酸素的運動、あるいは中等度の Hypoxia での漸増運動に対しては、E 多量摂取の ergogenic effect はないと言えよう。

これに対して、寒冷環境下あるいは中等度以上の低酸素（高地）環境下（標高 2,700m 以上あるいは、それに相当する酸素分圧）で、E の多量摂取が ergogenic aid として有効に作用することをみた研究がいくつかある。^{8,11),12)}

これらのこととを総合すれば、E 多量摂取が ergogenic aid として有効に作用するのは、中等度以上の高地（低酸素）や寒冷などの特殊環境下に限定され、通常の環境下では、ほとんどの場合好影響をもたらさないと結論される。このことは、Williams¹⁹⁾、および Shephard¹⁷⁾の見解と一致する。

しかしながら、通常の環境下で行われる運動であっても、本研究で用いたよりも、さらに時間が長く、より過酷な運動に対して、E 多量摂取がいかなる影響を及ぼすかについては未だ検討が行われていないことも付加えなければならない。

以上の結果から、40 日間に及ぶ 1 日 300mg の α -トコフェロール投与は、AT レベルでの 45 分間の定常運動およびその後引き続いての漸増最大運動に対して、何ら ergogenic effect をもたらさないと結論された。

ま　と　め

1) 本研究の目的は、AT レベルでの長時間運動および引き続き行われる漸増運動に及ぼす 40 日間のビタミン E (E) 多量摂取の影響を検討することであった。

2) 被験者は早稲田大学漕艇部員 14 名であり、E 投与群 (E 群) およびプラセボ投与群 (P 群) に分けられた。

3) E 群 ($n=7$) は 1 日 300mg の d- α -トコフェ

ロール・アセテートを、一方、P 群 ($n=7$) は同量の外見上同一のプラセボを二重盲検法により、40 日間服用した。

- 4) 実験に先立って、自転車エルゴメータを用いた負荷漸増最大運動を行い、被験者の Anaerobic threshold (AT) および最大酸素摂取量を測定した。
- 5) 実験運動は、各被験者の AT レベルで 45 分間および引き続き負荷漸増法により exhaustion に至るまで、自転車エルゴメータをペダリングするものであった。なお、ペダル回転数は 60 rpm に固定した。
- 6) E 投与前、両群の血漿中 α -トコフェロール濃度に差は見られなかつたが、投与後 E 群に統計的に有意な上昇が見られた。
- 7) 45 分間の定常運動中の酸素摂取量、換気量、呼吸交換比、心拍数および静脈血中乳酸濃度、ならびに漸増運動時の酸素摂取量、換気量、心拍数、静脈血中乳酸濃度の最高値および exhaustion 時間に、E 投与に伴うと思われる変化は何ら観察されなかつた。
- 8) 以上の結果から、40 日間にわたる 1 日 300mg の α -トコフェロール投与は、AT レベルでの 45 分間の定常運動および引き続き行われた負荷漸増最大運動に対して、何ら ergogenic effect をもたらさないと結論された。

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) Bieri, J.G., L.Teets, B.Belavady and E.L. Andrews : Serum Vitamin E levels in a normal adult population in the Washington, D.C. area. Proc. Soc. Exptl. Biol. Med., 117 : 131—133, 1964.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Haymes, E.M. : Protein, vitamins, and iron. In Williams, M.H., ed., *Ergogenic aids in sports*. pp.27-55, Human Kinetics : Champaign, 1983.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Lawrence, J.D., R.C. Bower, W.P. Riehl and J.L. Smith : The effect of α -tocopherol acetate on the swimming endurance of trained swimmers. *Am. J. Clin. Nutr.*, 28 : 205-208, 1975.
- 10) 村岡功, 吉野貴順, 横関利子, 渕久美子 : 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。日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告書, No.VI : 20-27, 1986.
- 11) 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.
- 12) 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的研究報告書, No.XV : 1-8, 1969.
- 13) Reinhard, U., P.H. Müller and R.M. Schmulling : Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration*, 38 : 36-42, 1979.
- 14) 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。日本体育学第35回大会号 : 367, 1984.
- 15) Sharman, I.M., M.G. Down and N.G. Norrigan : The effect of vitamin E on physiological function and athletic performance of trained swimmers. *J. Sports Med.*, 16 : 215-225, 1976.
- 16) 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.
- 17) Shephard, R.J. : Vitamin E and athletic performance. *J. Sports Med.*, 23 : 461-470, 1983.
- 18) 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.
- 19) Williams, M.H. : Nutritional aspects of human physical and athletic performance. 2nd ed. pp.176-182, Charles C Thomas Publisher : Springfield, 1985.

2. 血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度に及ぼす各種運動ならびにビタミン E 投与の影響

スポーツ選手のビタミン要求量を考える場合に重要なのは、ひとつには多量摂取が果たして競技成績（パフォーマンス）にプラスの効果をもたらすか否か、また、効果をもたらすとした場合に、その量的問題を検討することである。第2に、身体活動に伴う代謝亢進は、ある種のビタミン消費量を増大することから、スポーツ選手が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であろう。

われわれは昨年度の研究¹⁰⁾において、前者の立場からビタミン E (E) を取りあげた。E はその薬理作用から、1950年代以降、運動能力を改善するものとして注目されており、従って、この観点からの研究は数多く報告されている。⁹⁾¹³⁾¹⁶⁾

一方、一過性の運動あるいはトレーニングが、生体内の E 濃度に及ぼす影響、あるいは、スポーツ選手に必要とされる 1 日の E 量に関する研究は少ない。

そこで本研究では、血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度に及ぼす各種運動の影響を明らかにするとともに、スポーツ選手の E 要求量を推定することを目的とした。

実験方法

(1) 血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度に及ぼす各種運動の影響

①およそ 1 時間の自転車エルゴメータ運動の影響

被験者は早稲田大学漕艇部員 16 名であった。運動は 45 分間の “換気性閾値 (AT)” レベルでの最大下運動と、引き続いての exhaustion に至るまでの漸増最大運動から成っていた（詳細については本報告 1. 参照）。運動前および exhaustion 直後に、肘静脈より採血を行い、血漿中 α -トコフェロール濃度について分析した。

②150km 自転車ロード・レースの影響

被験者は大学男子自転車競技部員 10 名であった。彼らの年齢および体重は、それぞれ平均 20.4 ± 0.8 歳および 65.0 ± 5.1 kg であった。

被験者はレース前日に集合して同一夕食を摂り、翌日、千葉県館山周辺での 1 周 29.8 km コースを 5 周するロード・レースに参加した。血漿 α -トコフェロール濃度分析のための採血は、レース当日の起床時およびレース終了直後に肘静脈より行われた。

③トレーニング日と非トレーニング日との比較
被験者は早稲田大学自転車競技部および漕艇部に所属する男子各 8 名ずつであった。自転車部員の年齢、身長および体重は、それぞれ平均 21.5 ± 0.9 歳、 $170.4 \pm 2.7\text{ cm}$ および $66.1 \pm 3.5\text{ kg}$ であった。一方、漕艇部員のそれらは、それぞれ、 21.6 ± 1.4 歳、 $176.2 \pm 3.3\text{ cm}$ および $71.7 \pm 3.1\text{ kg}$ であった。

採血はいずれの被験者群の場合も、トレーニング日と非トレーニング日とともに、起床時および夕方の同一時刻に、肘静脈より行われ、血清中 α -トコフェロール濃度について分析された。

なお、両被験者群とも、食事からの E 摂取量をほぼ等しくするために、両日の朝食および昼食は同一メニューとした。

一方、トレーニング日および非トレーニング日の実験中のエネルギー消費量を推定するために、HEART RATE MEMORY (VINE 社製) を用いて心拍数を連続記録した。エネルギー消費量は、得られた平均心拍数を、あらかじめ求めておいた心拍数 - 酸素摂取量関係式に代入することによって算出された。

④ 5 日間遠漕の影響

被験者は早稲田大学男子漕艇部員 14 名であった。彼らの年齢、身長および体重は、それぞれ平均 19.8 ± 0.8 歳、 $178.0 \pm 4.0\text{ cm}$ および $70.7 \pm 4.3\text{ kg}$ であった。

遠漕は戸田～銚子間を 5 日間で往復するものであった。採血は遠漕第 1 日目の早朝、1 日目のローイング後、2 日目の早朝、4 日目のローイング後、5 日日の早朝、および 5 日日のローイング後に、肘静脈より行われ、血清中 α -トコフェロール濃度について分析された。

なお、実験②、③および④については、運動に伴う血液濃縮の度合いを知るために、採血時にヘマトクリット (Hct) 値を求めた。得られた Hct 値に基づいて、安静時に対する運動後の % Δ 血漿量を次式¹⁴⁾ に従って算出し、それによって、運動後に

表1 およそ1時間運動後の血漿中 α -トコフェロール濃度

被験者	血漿中 α -トコフェロール量 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	
	運動前	運動後
岩 畑	6.64	7.45
柴 田	7.10	3.74
島 谷	5.23	6.33
岡 崎	5.25	5.96
三 橋	6.48	7.39
橋 本	6.37	5.92
近 藤	9.94	9.53
高 倉	5.91	7.03
松 浪	6.89	10.49
大 黒	9.01	9.58
金 子	5.53	6.09
西 根	10.61	9.53
大 沢	5.39	6.96
尾 崎	6.12	6.17
下 田	7.62	8.10
伊 藤	5.73	6.09
平均	6.86	7.27
標準偏差	1.60	1.73

表2 150km自転車ロード・レース前後の血漿中 α -トコフェロール濃度

被験者	血漿中 α -トコフェロール量 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)		運動前・中の ビタミンE摂取量 (α -トコフェロール 当量mg)
	運動後	運動後	
八木	7.31	7.66 (6.21)	18.16
岡	5.15	5.32 (4.89)	18.10
高畠	5.04	5.73 (5.22)	18.26
片山	7.96	8.60 (8.19)	18.23
飯島	7.07	6.55 (6.06)	8.17
小林	5.73	6.58 (6.24)	104.69
西沢	5.44	6.09 (4.65)	84.75
南雲	5.04	8.57 (6.39)	74.56
田中	6.13	8.69 (8.05)	164.53
児川	6.72	6.87 (6.31)	74.58
平均	6.16	7.07 (6.22)	58.40
標準偏差	1.00	1.18 (1.12)	48.60

() 補正值

清分離後、血清中 α -トコフェロール濃度に対して分析された。

なお、すべての測定において、血漿あるいは血清中 α -トコフェロールの分析は、高速液体クロマトグラフィを用いて行われた。

結果および考察

(1) 血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度に及ぼす各種運動の影響

①およそ1時間の自転車エルゴメータ運動の影響

ATレベルでの45分間運動に引き続いての、exhaustionに至るまでの漸増最大運動に伴う、血漿中 α -トコフェロール濃度の変化を表1に示した。運動前および運動後の血漿中 α -トコフェロール濃度は、平均 $6.86 \pm 1.60 \mu\text{g}/\text{ml}$ および $7.27 \pm 1.73 \mu\text{g}/\text{ml}$ であった。およそ1時間の運動後、血漿中 α -トコフェロール濃度は上昇する傾向にあったが、統計的な有意差はみられなかった。

本実験の場合、血液濃縮の度合いは測定していない。しかし、このわずかな上昇傾向は、多分発汗に伴う血液濃縮のためであったと思われる。このことを考慮に入れると、およそ1時間の運動(エネルギー消費量は平均およそ540kcal)は、血漿中

実測された血漿中あるいは血清中 α -トコフェロール濃度を、安静時と同一の血漿量での濃度に補正した。

$$\left(\% \Delta \text{ 血漿量} = \frac{100}{100 - \text{Hct pre}} \times \frac{100 (\text{Hct post}) \%}{\text{Hct post}} \right)$$

(2) 血清 α -トコフェロール濃度に及ぼすE投与(1週間連投)の影響

E投与量と血清 α -トコフェロール濃度との関係を明らかにするために、5種類の投与量でEを投与した。

被験者は早稲田大学漕艇部員であり、50mg, 100mg, 150mg, 200mgおよび300mg/日のd- α -トコフェロール・アセテート投与群ならびにコントロール群(食事だけからの群)に分類した。投与は食後30分以内とし、1週間にわたって連続経口投与した。

採血は投与前および1週間投与後の翌朝に、いずれも空腹状態で肘静脈より行われた。血液は血

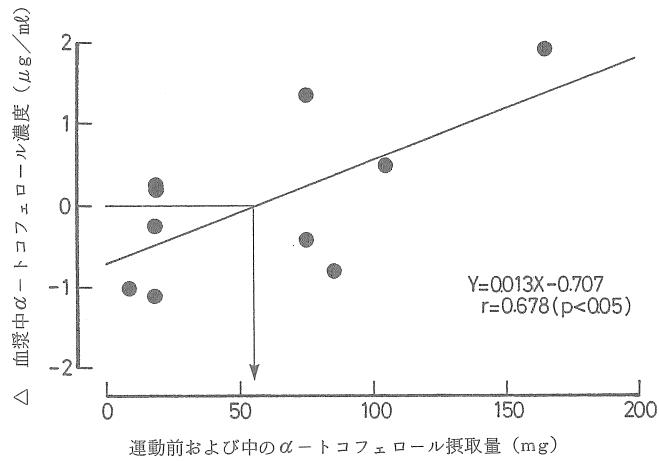


図1 運動前・中の α -トコフェロール摂取量とレース後の△血漿中 α -トコフェロール濃度

表3 自転車競技選手のトレーニング日と非トレーニング日の血清中 α -トコフェロール濃度およびエネルギー消費量

被験者	血清中 α -トコフェロール量 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				エネルギー消費量 (kcal/10h)	
	非トレーニング日 61.9.13		トレーニング日 61.9.11		非トレーニング日 61.9.13	トレーニング日 61.9.11
	朝	夕	朝	夕		
高畠	4.72	6.48 (5.54)	6.27	6.05 (6.17)	.....	2397.2
片岡	7.71	8.03 (7.34)	8.27	7.70 (7.16)	.....	.....
西沢	6.61	6.72 (6.25)	6.56	7.13 (7.22)	.....	2527.3
石田	6.22	5.79 (7.51)	7.36	7.16 (7.49)	1272.2	2597.9
林	7.13	8.59 (7.86)	7.16	8.96 (9.48)	.....	3115.2
山下	7.34	7.13 (7.13)	7.72	8.34 (8.93)	1023.2	3144.0
梶川	6.50	7.47 (6.72)	7.11	8.17 (7.29)	.....	1435.6
八木	6.03	—	6.85	5.75 (5.14)	.....	1229.3
平均	6.53	7.17 (6.91)	7.16	7.41 (7.36)	1147.7	2349.5
標準偏差	0.87	0.88 (0.74)	0.60	1.04 (1.29)	124.5	697.3

—測定せず推定不可

の α -トコフェロール濃度にはほとんど影響しないと思われる。

②150km自転車ロード・レースの影響

150km自転車ロード・レースに要した時間は、平均4時間28分20秒±13分56秒であり、その時の心拍数から推定されるエネルギー消費量は、平均3,757±417kcalであった。¹⁾

レース前後の血漿 α -トコフェロール濃度を表2に示す。レース前および後の血漿中 α -トコフェロール濃度は、平均でそれぞれ、 $6.16 \pm 1.00 \mu\text{g}/\text{ml}$ および $7.07 \pm 1.18 \mu\text{g}/\text{ml}$ であった。一方、血液濃縮を考慮してレース後の値を補正すると、その値は $6.22 \pm 1.12 \mu\text{g}/\text{ml}$ と、レース前とほぼ同様であり、これらレース前後の値に統計的な有意差はみられ

表4 ポート選手のトレーニング日と非トレーニング日の血清中 α -トコフェロール濃度およびエネルギー消費量

被験者	血清中 α -トコフェロール量 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				エネルギー消費量 (kcal/12h)	
	非トレーニング日 61.8.4		トレーニング日 61.8.9		非トレーニング日 61.8.4	トレーニング日 61.8.9
	朝	夕	朝	夕		
永田	5.26	5.01 (5.50)	4.48	4.93 (4.89)	884.5	1474.6
松浪	7.07	7.89 (7.11)	6.60	6.50 (7.08)	1209.6	1412.6
大黒	8.47	7.57 (6.70)	8.70	7.55 (7.05)	1046.9	2813.8
島谷	5.72	6.15 (6.35)	5.99	4.61 (4.55)	-----	-----
柴田	7.08	7.19 (7.87)	6.37	6.53 (6.50)	895.3	1178.6
金子	7.13	6.85 (6.61)	6.42	6.67 (7.20)	-----	1521.7
西根	6.86	6.68 (5.61)	5.34	5.91 (5.74)	1135.1	1336.3
岩畔	7.14	7.15 (7.18)	5.17	6.43 (6.94)	1018.1	3532.7
平均	6.84	6.81 (6.62)	6.13	6.14 (6.24)	1031.6	1895.8
標準偏差	0.91	0.84 (0.75)	1.19	0.90 (0.99)	117.6	836.7

—測定不可 ……推定不可

なかった。

一方、表2に示したように、起床後からレース終了時までに摂取した α -トコフェロール量は、平均58.4mgであった。図1はこの摂取量とレース前後の α -トコフェロール濃度差(補正值)との関係を示したものである。明らかに摂取量の多い者ほど、レース後の血漿中 α -トコフェロール濃度の低下は少ない。このことはまた、4時間30分に及ぶレース後の平均血漿中 α -トコフェロール濃度に低下がみられなかつことを説明するものであると思われる。

③トレーニング日と非トレーニング日の比較

自転車競技部員のトレーニング日および非トレーニング日の一定時間(10時間)内に消費されたエネルギー量ならびに血清中 α -トコフェロール濃度は表3に示されている。

心拍数から推定したトレーニング日のエネルギー消費量は、10時間で平均2,350±697kcalであった。これはおよそ、非トレーニング日の2倍強のエネルギー消費量に相当すると思われる。

漕艇部員のエネルギー消費量、ならびに血清中 α -トコフェロール濃度は表4に示されている。心拍数から推定される漕艇部員のトレーニング日(12

時間)におけるエネルギー消費量は1,896±837kcalであり、これは非トレーニング日の2倍弱であった。

一方、血清中 α -トコフェロール濃度の変化には、いずれの場合も、トレーニング日と非トレーニング日で差はみられなかった。これは自転車部員のトレーニング時間は、わずかに133分でしかなかったこと、また、漕艇部員では381±25分とトレーニングに要した時間は長かったにもかかわらず、表4に示したように、エネルギー消費量からみて、激しい内容のトレーニングではなかったことによると思われる。

④5日間遠漕の影響

戸田～銚子間往復における実際のローイング時間は、第1日目で6時間30分(距離にして61.5km)、2日目で7時間40分(77.5km)、3日目で4時間30分(47.5km)、4日目で6時間(55.5km)、および5日目で3時間(36km)であった。また、この時のそれぞれのローイング速度は、1日目9.46km/時、2日目10.11km/時、3日目10.56km/時、4日目9.25km/時、および5日目12.00km/時に相当した。

表5はその時の血清中 α -トコフェロール濃度

表5 5日間遠漕の血清中 α -トコフェロール濃度の変化

被験者	血清中 α -トコフェロール量 ($\mu\text{g}/\text{ml}$)					
	10/29 朝	10/29 夜	10/30 朝	11/1 夕	11/2 朝	11/2 夕
佐野	11.73	12.52 (12.03)	9.58	10.21	11.54	5.96 (5.70)
熊谷	8.81	8.39 (6.82)	11.56	10.70	10.58	10.32 (11.18)
深井	8.64	4.41 (3.77)	6.18	6.43	6.31	4.25 (3.83)
佐藤	10.67	9.65 (8.30)	10.18	7.63	8.33	7.95 (7.63)
川辺	9.45	5.73 (5.24)	5.27	6.83	4.35	4.69 (4.18)
吉田	7.70	5.75 (5.26)	6.82	5.63	6.08	5.60 (5.29)
高野	4.87	7.75 (7.47)	6.55	7.20	3.75	3.33 (3.67)
釜瀬	4.93	6.34 (3.66)	9.38	10.13	9.64	7.92 (7.73)
永田	6.56	5.39 (5.75)	4.85	6.29	4.04	5.56 (5.79)
高砂	6.42	6.76 (5.96)	6.93	7.92	6.74	6.50 (6.37)
磯崎	8.63	5.39 (4.64)	9.07	5.73	9.30	6.21 (6.23)
原田	5.79	6.23 (5.23)	5.39	5.53	6.25	5.84 (5.91)
飯島	8.54	5.73 (5.02)	5.39	6.14	6.47	4.04 (4.56)
前田	6.53	5.33 (3.91)	7.15	7.25	6.70	6.36 (6.33)
平均	7.81	6.81 (5.93)	7.45	7.40	7.15	6.04 (6.03)
標準偏差	1.99	2.07 (2.14)	2.04	1.69	2.33	1.75 (1.87)

の変化を示したものである。ローイング前後の値が得られた1日目および5日目において、ローイング後の濃度はいずれも有意に低下していた。また、ローイング前の早朝の血清中 α -トコフェロール濃度は、日程が進むにつれて有意ではなかったが減少する傾向にあった。

これらの結果は、数日間にわたる長時間のローイング(運動)は、選手のE必要量を増大させることを示唆するものである。この知見は、激しいトレーニングが血中および尿中 α -トコフェロールを低下させることを示したSakaevaとEfremovの結果¹³⁾、および練習量が増大する時期に、ヒトの血漿 α -トコフェロール濃度が減少することを観察した佐藤と青木¹²⁾の結果と一致する。また、Aikawaら²⁾、および福場と熊谷は⁵⁾、トレーニングおよび水泳負荷がラットの骨格筋、肝臓あるいは血漿中の α -トコフェロール濃度を低下させることを報告している。本研究の結果はまた、これらの結果を支持するものである。

一方、2年間にわたる研究において、われわれは延べ64名のスポーツ選手(同じ測定年の重複は

除く)を対象として、安静時血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度の測定を行ったことになる。その値は4.72~14.26 $\mu\text{g}/\text{ml}$ の範囲にあり、平均 $7.3 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{ml}$ であった。

表6は本研究で得られたスポーツ選手の血漿あるいは血清E量分布を、わが国の一般男子のそれ⁴⁾と比較したものである。明らかに、スポーツ選手は低いE量レベルに多く分布しており、特に、E欠乏とされる $5.0 \mu\text{g}/\text{ml}$ 以下の者が3名もいたことは注目に値する。

また、本研究の被験者と同年代(20歳代)のわが国男子の血清E量は、 $9.7 \pm 2.6 \mu\text{g}/\text{ml}$ であることが福場⁴⁾によって報告されている。この値と比較しても、本研究で得られたスポーツ選手の血清E量は、平均でおよそ $2.4 \mu\text{g}/\text{ml}$ 低い。

小林らの資料(未発表)に基づいて計算すると、本研究で用いた被験者の大部分を占める漕艇部員の食事によるE摂取量(α -トコフェロール当量)は、3日間の平均で $11.72 \pm 6.99 \text{mg}/\text{日}$ であった。この1日のE摂取量は、諸外国で示されている同年代のE摂取量⁴⁾と同様であり、また、わが国の一

表6 スポーツ選手の血清ビタミンE量分布表

ビタミンE量レベル (mg/100ml)	日本人標準(福場)		本研究	
	人數	%	人數	%
0.59 and below	9	3.5	16	25.0
0.60 ~ 0.69	17	6.6	14	21.9
0.70 ~ 0.79	23	8.9	15	23.4
0.80 ~ 0.89	33	12.8	10	15.6
0.90 ~ 0.99	36	14.0	3	4.7
1.00 ~ 1.09	36	14.0	3	4.7
1.10 ~ 1.19	30	11.6	2	3.1
1.20 ~ 1.29	21	8.1	0	0.0
1.30 ~ 1.39	20	7.7	0	0.0
1.40 ~ 1.49	11	4.2	1	1.6
1.50 ~ 1.59	11	4.2	0	0.0
1.60 ~ 1.69	3	1.2	0	0.0
1.70 ~ 1.79	3	1.2	0	0.0
1.80 ~ 1.89	2	0.8	0	0.0
1.90 ~ 1.99	2	0.8	0	0.0
2.00 and over	1	0.4	0	0.0
Total	257		64	
Average	1.15 ± 0.24		0.73 ± 0.18	

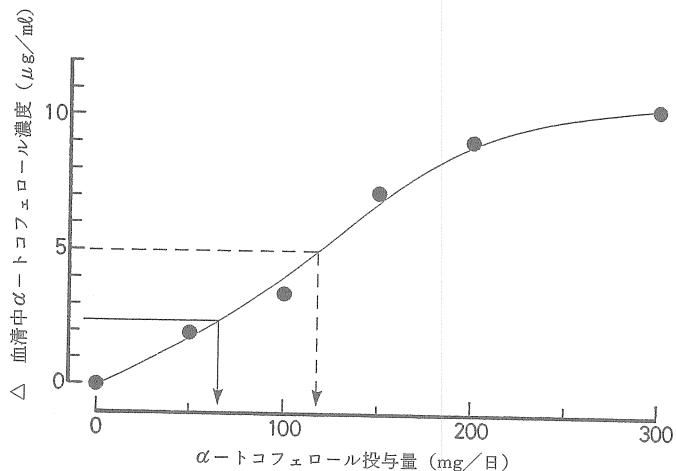


図2 α-トコフェロール投与量と△血清中α-トコフェロール濃度

般人のそれよりやや多い。^{6,7)}

従って、本研究で用いたスポーツ選手のα-トコフェロール濃度の低さは、食事によるものではなく、身体活動によって多量に消費された結果であると考えられる。このことはまた、身体活動の多い選手は、多目にEを摂取することが必要である

ことを示唆すると言えよう。この知見は Sakaeva と Efremov¹³⁾の見解と一致する。

(2) 血清 α-トコフェロール濃度に及ぼす E 投与の影響

脂溶性ビタミンである E は体内に貯蔵されるから、特に、スポーツ選手のその必要量を決定

することは、水溶性ビタミンに比べてかなり困難である。その決定方法のひとつは、スポーツ選手の血清中 α -トコフェロール濃度を、一般人のそれと等しくするための必要量を明らかにすることであると思われる。本研究ではこの観点から、スポーツ選手の E 要求量を推定した。

図 2 はスポーツ選手に対する E 投与量と、血清中 α -トコフェロール濃度の変化との関係を示したものである。なお、本研究では E の連続投与日数は 7 日間であった。E 連投のシミュレーション³⁾によると、血清中 α -トコフェロール濃度は 6 ~ 7 日目でほぼ定常状態に達することが示されている。それ故、本研究で用いた 7 日間の連投によって、血清中 α -トコフェロール濃度は定常状態に達していたと考えてよいと思われる。

E 投与量と血清中濃度の投与前からの変化分との関係は非直線的な関係にあった。前述したように、スポーツ選手は平均値で、一般人よりも $2.4\mu\text{g}/\text{ml}$ 低い血中 α -トコフェロール濃度を示していた。従って、スポーツ選手が一般人と同じ血清中濃度を維持するためには、図 2 から平均的におよそ $65\text{mg}/\text{日}$ の E を余分に摂取することが必要であると推定される。同様にして、E 欠乏 ($5.0\mu\text{g}/\text{ml}$ 以下) にあるスポーツ選手は、およそ $117\text{mg}/\text{日}$ の E を余分に摂ることが必要とされよう。

一方、本被験者の 1 日に食事から摂取する E 量は、平均でおよそ 12mg であった。これらのことから、スポーツ選手に要求される E 量は、平均的に、1 日およそ 80mg であり、特に欠乏状態にある場合には、およそ 130mg 程度必要であろうと思われる。この値はトレーニングによる血中および尿中 α -トコフェロールの低下を防ぐためには、 $100 \sim 150\text{mg}/\text{日}$ の摂取が必要であることを述べた Sakaeva と Efremov¹³⁾の考え方近いものであった。

小林らは本被験者となった漕艇部員の 1 日のエネルギー摂取量が、平均 $4,619\text{kcal}$ であったことを報告している。また、某大学ボート部合宿中のエネルギー消費量は、平均 $4,889\text{kcal}$ であったことが示されている。⁸⁾これらのことから、ボート部員の 1 日のエネルギー消費量は、同年代の一般成人のおよそ 2 倍程度であると思われる。従って、身体活動の為に消費されるエネルギー量 $1,000\text{kcal}$ あた

りに必要とされる E 量は、およそプラス $33\text{mg} \sim 54\text{mg}$ 程度であると推察される。

ビタミン欠乏はさまざまの欠乏症を引き起こすばかりでなく、時として、パフォーマンスを低下させることにもつながる。¹⁵⁾ E 欠乏時の影響については必ずしも明らかではないが、十分な配慮が必要であることは論をまたない。E は寒冷期にその必要量が増大することが知られている。^{11), 17)} 従って、長時間に及ぶ激しいトレーニング時および寒冷期のトレーニング時には特に配慮が必要であると思われる。

ま と め

- 1) 本研究の目的は血漿あるいは血清 α -トコフェロール濃度に及ぼす各種運動、およびビタミン E (E) 投与の影響を明らかにし、スポーツ選手の E 要求量を推定することであった。
- 2) 被験者は大学男子ボート選手および自転車競技選手延べ 76 名であった。
- 3) 長時間のローイング運動は血清 α -トコフェロール濃度を低下させた。また、選手の安静時血漿あるいは血清 α -トコフェロール濃度は、平均 $7.3 \pm 1.8\mu\text{g}/\text{ml}$ (範囲: $4.72 \sim 14.26\mu\text{g}/\text{ml}$) であり、同年代の一般男子と比べて低かった。
- 4) E 投与は選手の血清中 α -トコフェロール濃度を上昇させた。なお、投与量と血清中 α -トコフェロール濃度との関係は、非直線的であった。
- 5) この関係から、選手の安静時血清中 α -トコフェロール濃度を、一般人のそれと同じにするためには、平均的におよそ $65\text{mg}/\text{日}$ の E を余分に摂取すること（食事からのものを含めると、およそ $80\text{mg}/\text{日}$ ）が必要であると推定された。

稿を終えるにあたり、被験者として御協力戴いた早稲田大学漕艇部および自転車競技部の方々、未発表資料を提供戴いた国立栄養研究所小林修平先生、 150km 自転車ロード・レース時に採血の機会を与えて戴いた順天堂大学青木純一郎、高岡郁夫両先生、ビタミン E およびプラセボを提供戴いたエーザイ株式会社、ならびに、 α -トコフェロール濃度分析に御協力戴いたメディセル研究茂呂光男氏に深謝致します。

文 献

- 1) 青木純一郎, 形本静夫, 矢野成敏, 村岡 功, 高岡郁夫, 堀田 昇, 吉野貴順, 西野美智子, 清水達雄, 前嶋 孝, 沢木啓祐, 米田継武, 永江 競, 福原広次, 佐藤 栄: 自転車競技選手の体力(7)およびロードレースの直前食(2). 昭和60年度 日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告, No.II 競技種目別競技力向上に関する研究—第9報—, No.21自転車競技, 313—330, 1986.
- 2) Aikawa, K.M., A.T. Quintanilha, B.O. De Lumen, G.A. Brooks and L. Packer : Exercise endurance-training alters vitamin E tissue levels and red-blood-cell hemolysis in rodents. *Biosci. Rep.*, 4 : 253—257, 1984.
- 3) 朝野芳郎, 鈴木京子, 長谷川二郎, 田中 充, 堤 淳三, 藤田 孟: ヒトにおけるユベラニコチネートの血中動態の研究. 基礎と臨床, 16(11) : 104—109, 1982.
- 4) 福場博保: ビタミンEの必要量. 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.
- 5) 福場博保, 熊谷美智世: V 運動によるビタミンE所要量の変化について. 昭和60年度 日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告, No.IV スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究—第1報—, 34—50, 1986.
- 6) 日高公雄, 吉田宏三, 井崎やゑ子, 戸田和子: 食品中のビタミンE, コレステロール, 脂肪酸—含有量調査および1日摂取量の推定—. 日本栄養・食糧学会誌, 39 : 308—320, 1986.
- 7) 市川富夫, 富岡和久: 未調理ならびに調理食品中のトコフェロール含量とトコフェロール1日推定摂取量について. 日本栄養・食糧学会誌, 37(4) : 291—299, 1984.
- 8) 小林修平, 長嶺晋吉, 山川喜久江: 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. 昭和60年度 日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告, 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—, 28—33, 1986.
- 9) 村岡 功, 青木純一郎: ビタミンの摂取と運動. *Jap. J. Sports Sci.*, 5(3) : 186—191, 1986.
- 10) 村岡 功 吉野貴順, 横関利子, 渡久美子: 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. 昭和60年度 日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告書, No.VI スポーツ選手のビタミン要求量に関する野研究—第1報—, 20—27, 1986.
- 11) 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的研究報告書, No.XV : 1—8, 1969.
- 12) 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 : pp.367, 1984.
- 13) Shephard, R.J. : Vitamin E and athletic performance. *J. Sports Med.*, 23 : 461—470, 1983.
- 14) Van Beaumont, W., J.C. Strand, J.S. Petrofsky, S.G. Hipskind and J.E. Greenleaf : Changes in total plasma content of electrolytes and proteins with maximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 34 : 102—106, 1973.
- 15) Van der Beek, E.J., W. Van Dokkum, J. Schrijver, J.A. Wesstra, H. Van de Weerd and R.J.J. Hermus : Effect of marginal vitamin intake on physical performance of man. *Int. J. Sports Med.*, 5, Suppl. : 28—31, 1984.
- 16) Van der Beek, E.J. : Vitamins and endurance training. Food for running or faddish claims? *Sports med.*, 2 : 175—197, 1985.
- 17) Weiser, H. and W.H. Weihe : Effect of cold on the vitamin E requirement of rats. *Nature*, 215 : 1512—1513, 1967.

3. スポーツ選手のビタミンE要求量……2年間のまとめ

「スポーツ選手のビタミン要求量に関する研究」の一環として、われわれはビタミンEを取りあげた。

本研究の目的は血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度に及ぼす各種運動の影響およびビタミンE投与の影響を明らかにし、スポーツ選手のビタミンE必要量を推定するとともに、E多量投与が呼吸循環機能およびパフォーマンスに及ぼす影響を検討することであった。

被験者は大学男子ボート選手および自転車競技選手（延べ91名）であった。

選手の安静時血漿あるいは血清中 α -トコフェロール濃度は、平均 $7.3 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{ml}$ であり、同年代の一般男子のそれと比べておよそ $2.4 \mu\text{g}/\text{ml}$ 低かった。また、長時間のローリング（運動）は血清中 α -トコフェロール濃度を低下させた。これらのことから、激しいトレーニングを要求されるスポーツ選手は、一般人よりも多目にビタミンE（E）を

摂取することが必要であると思われた。

一方、Eの投与は選手の血清中 α -トコフェロール濃度を上昇させた。なお、E投与量と血清中 α -トコフェロール濃度との間には、非直線的な関係が認められた。この関係から、選手の安静時血清中 α -トコフェロール濃度を、一般人のそれと同じにするためには、平均的におよそ $65 \text{mg}/\text{日}$ のEを余分に摂取すること（食事からのものを含めると、およそ $80 \text{mg}/\text{日}$ ）が必要であり、また、E欠乏状態にある選手の場合には、 $117 \text{mg}/\text{日}$ のEを余分に摂取する必要があると推定された。

しかし、Normoxia および Hypoxia（酸素濃度 $16.6 \pm 16.8\%$ ）条件下での漸増最大運動、ならびに、およそ1時間の長時間運動時の呼吸循環機能およびパフォーマンスに対して、1日 300mg のE多量投与は何らプラスの効果をもたらさなかった。これらの結果は、運動能力を改善する目的でのE多量投与は、通常の条件下では意味がないことを示すものである。

5. 呼吸中の炭化水素量測定によるビタミンE栄養状態の判定

報 告 者 福 場 博 保

<緒 言>

生体内における過酸化脂質は動脈硬化を始め、肝臓病、糖尿病、癌、老化等の際に増加することが報告され、最近、基礎及び臨床医学の面で非常に注目されている。

過酸化脂質は、主にリン脂質中の高度不飽和脂肪酸が生体内の酸素によって自動酸化を受けることにより生成し、膜構造を破壊して膜機能を低下させたり、酸素やタンパク質を変性させたり、核酸を切断したり、更にはホルモンやビタミンの失活を引き起こす。更に亢進すると、細胞の機能障害や変性、壞死、ひいては臓器障害を起こすことが知られており、生体にとっては、極めて有害な物質である。

この過酸化脂質の蓄積を防ぐために、生体内には、いくつかの生化学的保護機能を備えている。抗酸化性物質の非タンパク性SHやビタミンE、また、Glutathione peroxidaseの様な過酸化脂質代謝酵素や活性酸素のスーパーオキシド(O_2^-)を異性化する Superoxide dismutaseなどがその例である。中でもビタミンEは、有効に過酸化を防ぎ、不足すると過酸化脂質が増加することが報告されている。また、ビタミンEは食物中から容易に摂取することができる。

1974年に Rielu らは四塩化炭素を投与したマウスが呼気中に多量のエタンを放出することを報告し、エタン測定法が過酸化脂質の指標として有用であることを示した。また、1977年に Dillard らは、ビタミンE欠乏食を与えて、脂質の過酸化を進行させたラットが、エタンの2倍量のペンタンを放出することを報告し、ペンタンも脂質過酸化の指標となり得ることを示した。

昨年度に引き続き、運動負荷によりビタミンE所要量がどのように変化するかをこの呼気中のペントン等の炭化水素量がどのように変化するかを指標として研究を行った。

本実験では、ラットにビタミンE欠乏食を与えて飼育し、食事性ビタミンE量と臓器のTBA値及び呼気中ペントン量の相関を検討し、ペントン量から体内のビタミンE存在量を知り、さらにビタミンEの不足している量を推定することの妥当性を検討した。また、抗生素を投与して、腸内細菌の作用を抑制した場合に、呼気中ペントン量に、どの様な変化が現れるかについての実験も行い、ペントンが生体膜過酸化脂質の分解生成物でなく、腸内細菌の作用に由来するものであるとしている Gelmont の説の再検討した。さらに、今回の実験では肺の過酸化脂質代謝系酵素を測定し、ビタミンE添加食群と欠乏食群について比較した。肺は、脂質代謝が活発であり、食事の影響も受け易い、臓器であることが最近になって報告されており、特に肺について酵素活性等を検討した。

最後に、体内ビタミンE存在量と、呼気中ペントン相関をヒトについても検討を行った。

<方 法>

実験に用いた動物は、3週令の Sprague-Dawley 系雄ラットで、室温を22~24°Cに保った飼育室で飼育し、水及び飼料は、自由に摂取させた。

実験Ⅰでは飼料中のビタミンE含量の違いによって炭化水素の産生に、どの様に差異が認められるか、及び腸内細菌の炭化水素産生に対する影響を調べる為に行った。ラットを8匹ずつ2群に分け、各々にビタミンE欠乏食と、ビタミンEを飼

料 1 kgあたり 500I.U. 含む飼料を 8 週間与えて、4 週目以後、各週呼気中のペンタン量の測定を行った。呼気の分析は嵯峨井らの方法に従った。飼育期間中の最後の 1 週間に抗生物質を投与し、腸内細菌の作用を抑制した場合の呼気中ペンタン量を測定した。用いた抗生物質は、グラム陽性菌に効果のあるメデマイシン (2 mg/100gb.w.) とグラム陰性菌に効果のあるコリスチン (5.6mg/100gb.w.) で、各々少量の蒸留水に溶かし、胃ゾンデを用いて、ビタミン E 添加食群のラット 4 匹ずつに各々の抗生物質を投与した。

呼気分析実験終了後に、ラットを一夜絶食させ翌日腹部大動脈から失血死させて解剖した、採血した血液は、血清と赤血球の α -トコフェロールの定量に用いた。また、肝臓と肺は灌流して、肝臓は TBA 値の測定、 α -トコフェロールの定量に、肺は、TBA 値の測定、 α -トコフェロールの定量、また、各種過酸化脂質代謝系の酵素活性の測定に用いた。測定した酵素とその測定法は、Glutathione peroxidase を Little らの方法で Glutathione reductase を Bergmeyer の方法で、6-Phosphogluconate dehydrogenase と Glucose-6-phosphate dehydrogenase を Wilhelm らの方法で、Glutathione Stransferase を Habig らの方法で Superoxide dismutase を McCord らの方法に従って各々測定した。

また、ジアルル酸溶血テストを飼育開始後 21 日

目に池畠らの方法に従って行った。

実験 II は、飼料にビタミン E 欠乏飼料とビタミン E を飼料 1 kgあたり 20I.U. 含むもの、更に各々に Se を 1 ppm 加えた飼料を用いて、ラットに与え、呼気炭化水素量と臓器内ビタミン E 量にどの様な影響が現れるかを調べた。飼育期間は 7 週間で 1 群 6 匹ずつ 4 群について呼気分析を行った。その他の測定項目と測定方法は実験 I に準じた。

最後に、ヒトの血中 α -トコフェロール量と呼気中炭化水素量の相関を求める実験を行った。血清および赤血球の α -トコフェロールの定量は、ラットの場合と同様に行い、呼気採取は嵯峨井の方法を少し改変して行った。まずフェースマスクを顔に押し付け、炭化水素を除いた清浄空気を 3 分間呼吸して肺の中を洗った後、呼気を採取した。ここから 100cc をシリンジで取り、先に用いたラットの呼気分析装置のドリーライトの手前から注入して、呼気中炭化水素を定量した。

＜結果＞

実験 I において、解剖時に測定した血中及び臓器中の α -トコフェロール量と臓器の TBA 値、飼育開始後 21 日目に行ったジアルル酸溶血テストの結果を Table. 1 に示す。その結果、全部の項目で、ビタミン E 欠乏食群は添加食群に対して各 0.1% の危険率で有意差が認められた。

次に肺の過酸化脂質代謝酸の測定結果を Table.

Table. 1 CHANGES OF α -TOCOPHEROL CONTENT, TBA VALUE, AND HEMOLYSIS RATIO DUE TO THE ADDITION OF TOCOPHEROL TO V. E DEFICIENT FEED.

	V. E-deficient	MEAN \pm S. D. V. E 500 I. U./kg
α -Tocopherol		
SERUM μ g/ml	0.4 \pm 0.03	4.9 \pm 0.8 c
RBC μ g/ml packed cell	0.2 \pm 0.04	5.9 \pm 0.6 c
LIVER μ g/mg protein	0.005 \pm 0.002	0.58 \pm 0.14c
TBA value		
LIVER n-moles/mg protein	1.80 \pm 0.54	0.78 \pm 0.20c
LUNG n-moles/mg protein	1.13 \pm 0.29	0.71 \pm 0.15b
Hemolysis ratio (%)	89.7 \pm 12.0	0.7 \pm 0.8 c

Significantly different from the V. E-deficient group

a, p < 0.05 b, p < 0.01 c, p < 0.001

Table. 2 CHANGES OF SOME ENZYME ACTIVITIES DUE TO THE ADDITION OF TOCOPHEROL TO V. E DEFICIENT FEED.

MEAN \pm S. D.

	V. E-deficient	V. E 500 I. U./kg
GSH-Px-Cumene ¹⁾	80.3 \pm 7.7	90.7 \pm 12.5
GSH-Px-H ₂ O ₂ ¹⁾	59.3 \pm 7.3	58.3 \pm 7.1
GSH-R ¹⁾	103.3 \pm 16.9	128.7 \pm 19.4
G6PDH ¹⁾	188.6 \pm 22.7	189.8 \pm 18.6
6PGDH ¹⁾	44.7 \pm 9.2	48.1 \pm 7.3
GSH-Tase ¹⁾	83.8 \pm 5.9	108.2 \pm 13.1
SOD ²⁾	29.0 \pm 1.8	34.4 \pm 1.3a

1) n-moles/mg protein/min

2) units/mg protein

a. Significantly different from the V. E-deficient group p < 0.05

2に示す。Glutathione peroxidase (PSH-Px) Cumeneの活性が、ビタミン欠乏食群で添加食群より低い値で測定されたが、他の酵素では添加食群の値の方が高かった。有意差は Superoxide dismutase (SOD) 以外では認められなかった。

飼育開始後 4週目から 8週目まで行った呼気分析の結果を Fig. 1に示す。その結果、すべての週でビタミンE欠乏食群の方が添加食群より多量のペンタンを呼気中に放出しており、4週目では5%，5週目で1%，7週目と8週目で0.1%の危険率で有意差が認められた。また、週を追って呼気中のペンタン量が増加し、脂質の過酸化が亢進していることが分かる。産生するペンタンが腸内細菌由来であるか否かを調べる為に7週目の呼気分析実験後、ビタミンE欠乏食群のラットに、1日1回7日間にわたり、抗生素質を投与した。その結果8週目の呼気中ペンタン量はグラム陽性菌の効果のあるメデマイシン投与群では、10,415 \pm 1,676 p-moles/min/100gb.w., グラム陰性菌に効果のあるコリスチン投与群では11,413 \pm 1,758 p-moles/min/100gb.w.であった。尚、これらに2つの投与群の間に有意差は認められなかった。また、これら抗生素質の投与によって前週より呼気中ペンタン量が著しく低下するようなことはなく、Gelmontによって報告されている様にペンタンが腸内細菌の作用によって発生するものであるとする説

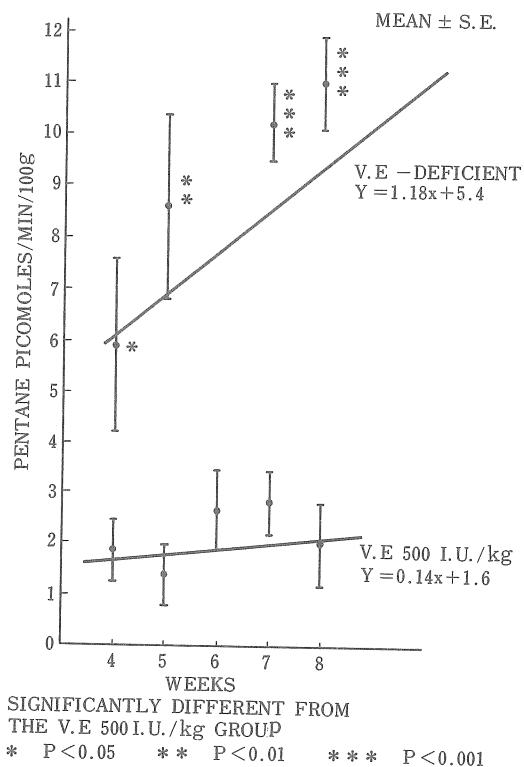


図1 PENTANE PRODUCTION

Table. 3 CORRELATIONSHIP BETWEEN ITEMS

	Pentane	Serum α -Tocopherol	Lung α -Tocopherol	Liver α -Tocopherol
Serum α -Tocopherol	0.884 ^c	*	*	*
RBC α -Tocopherol	0.904 ^c	*	*	*
Liver α -Tocopherol	0.879 ^c	*	*	*
Lung TBA value	0.685 ^a	0.642 ^a	0.672 ^a	0.611 ^a
Liver TBA Value	0.669 ^a	0.775 ^b	0.803 ^b	0.725 ^a

	G6PDH	GSH-R	GSH-Px Cumene	GSH-Px H ₂ O ₂	GSH-Tase	SOD
Liver TBA value	0.125	0.662 ^a	0.574	0.574	0.635 ^a	0.560
Lung TBA value	0.346	0.317	0.096	0.077	0.485	0.445

a, Significant Correlation ($p < 0.05$)b, Significant Correlation ($p < 0.01$)c, Significant Correlation ($p < 0.001$)

を否定する結果となった。

次に、各項目間の相関を Table. 3 に示す。血中及び臓器 α -トコフェロール量は、臓器の TBA 値と有意の相関が認められ、 α -トコフェロールが不足すると、体内過酸化脂質量が増加することが示された。また、呼気中ペンタン量は臓器 TBA 値、血中、臓器中 α -トコフェロール量と有意な相関が認められ、呼気中ペンタン量が体内過酸化脂質量、更に体内ビタミン E 存在量の指標になり得ることが示された。

実験 II における血中、臓器中 α -トコフェロール量、臓器の TBA 値、飼育開始後 36 日目に行なったジアルル酸溶血テストの結果を Table. 4 に示す。その結果、血中及び臓器中 α -トコフェロール量は、ビタミン E 添加食の 2 群が欠乏食の 2 群に対して有意に高い値を示した。また、各々 Se 添加食群と非添加食群を比較すると、Se 添加食群の α -トコフェロール量の方が多い、Se を添加すること

によってビタミン E の消費が少なくなることが示された。次に臓器の TBA 値はビタミン E 添加食の 2 群が欠乏食の 2 群より有意に低かった。更に、ビタミン E 添加食の 2 群を比較すると、Se を添加した群の方が TBA 値が低く過酸化脂質産生の防止に対して、ビタミン E と Se の相乗効果が示された。ただ、ビタミン E 欠乏食の 2 群を比較すると Se 添加群の方が非添加群より、 α -トコフェロール量が多いにもかかわらず TBA 値は高い値が測定された。今後、脂質の過酸化が亢進している場合の TBA 測定法の信頼性について検討が必要であると思われる。ジアルル酸溶血テストの結果は、ビタミン E 添加食群が欠乏食群より有意に低かった。

過酸化脂質代謝系酵素の活性測定結果を Table. 5 に示す。測定したすべての酵素活性はビタミン E 欠乏食群でビタミン E 添加食群より低かった。またビタミン E 欠乏食の 2 群を比較すると、Se 添加群の方が非添加群より、すべての酵素で高い活

Table. 4 CHANGES OF α -TOCOPHEROL CONTENT, TBA VALUE, AND HEMOLYSIS RATIO DUE TO THE ADDITION OF TOCOPHEROL AND Se TO V. E DEFICIENT FEED.

	V.E-deficient	V.E-deficient 1 ppm Se	V.E 20 I.U./kg	MEAN \pm S.D. V.E 20 I.U./kg 1 ppm Se
α -Tocopherol				
SERUM μ g/ml	1.0 \pm 0.3	1.3 \pm 0.1	2.4 \pm 0.1 ^c	3.1 \pm 0.3 * [*]
RBC μ g/ml packed cell	0.3 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1	3.2 \pm 0.9 ^a	2.8 \pm 0.5
LUNG μ g/mg protein	0.01 \pm 0.006	0.008 \pm 0.004	0.184 \pm 0.039 ^c	0.235 \pm 0.061*
LIVER μ g/g LIVER	1.7 \pm 0.2	1.8 \pm 0.2	12.1 \pm 0.9 ^c	15.7 \pm 1.2***
TBA Value				
LUNG n-moles/mg protein	2.6 \pm 0.8	4.6 \pm 0.5 ^c	1.5 \pm 0.2 ^a	1.4 \pm 0.3
LIVER n-moles/g·LIVER	31.6 \pm 5.6	34.8 \pm 3.8	24.3 \pm 1.8 ^a	18.6 \pm 3.2 *
Hemolysis ratio (%)	77.7 \pm 22.5	94.1 \pm 6.7	1.8 \pm 1.7 ^a	1.5 \pm 1.3

Significantly different from the V. E-deficient group

a, p<0.05 b, p<0.01 c, p<0.001

Significantly different from the V. E 20 I.U./kg group

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

Table. 5 CHANGES OF SOME ENZYME ACTIVITIES DUE TO THE ADDITION OF TOCOPHEROL AND Se TO V. E DEFICIENT FEED.

	V.E-deficient	V.E-deficient 1 ppm Se	V.E 20 I.U./kg	MEAN \pm S.D. V.E 20 I.U./kg 1 ppm Se
GSH-Px-Cumene ¹⁾	60.5 \pm 7.4	81.3 \pm 9.3 ^b	71.0 \pm 10.8	97.5 \pm 20.4**
GSH-Px-H ₂ O ₂ ¹⁾	33.8 \pm 9.9	45.7 \pm 6.4	66.8 \pm 29.0 ^b	53.7 \pm 9.1
GSH-R ¹⁾	120.4 \pm 22.9	144.7 \pm 54.7	137.2 \pm 27.9	149.7 \pm 25.5
G6PDH ¹⁾	151.0 \pm 8.6	160.9 \pm 17.1	152.9 \pm 8.1	166.0 \pm 8.5
6PGDH ¹⁾	25.5 \pm 3.5	33.8 \pm 2.7 ^b	36.6 \pm 2.3 ^c	24.2 \pm 5.5***
GSH-Tase ¹⁾	112.0 \pm 10.2	124.2 \pm 6.4 ^a	124.4 \pm 16.8	149.0 \pm 10.2*

1) n-moles/mg protein/min

Significantly different from the V. E-deficient group

a, p<0.05 b, p<0.01 c, p<0.001

Significantly different from the V. E 20 I.U./kg group

* p<0.05 ** p<0.01 *** p<0.001

性が測定された。ビタミンE添加食にSeを添加した群は、6 PGDH, GSH-Px-H₂O₂を除いて4群の中で一番高い酵素活性が測定された。

飼育開始後4週目から7週目の呼気分析実験の結果をFig. 2に示す。ビタミンE欠乏, Se非添加食群は、ビタミンE添加食Se非添加食群よりすべての週で多量のペンタンを呼気中に放出していた。また各々にSeを添加した群の呼気中ペンタン量は、顕著な結果が示されなかったが、全般的に見ると

呼気中ペンタン量は、ビタミンE欠乏Se非添加、ビタミンE欠乏Se添加、ビタミンE添加Se非添加、ビタミンE添加Se添加の順に多かった。

次に各項目間の相関をTable. 5に示す。血中及び臓器中 α -トコフェロール量は、臓器中のTBA値と負の相関を示し、ビタミンEが不足すると確かに体内に過酸化脂質が増加していることが分かる。呼気中ペンタン量は体内ビタミンE存在量と有意に負の相関を示した。

最後の実験IIIではヒトの血漿および赤血球の α -トコフェロール量は呼気中ペンタン量の相関を求めた。その結果をFig. 3, 4に示す。血中 α -トコフェロール量は呼気中ペンタン量の逆数の間に正の相関が示されていた。特に血漿($r=0.658$)の α -トコフェロール量は赤血球($r=0.603$)より有意に高い相関が認められ、ヒトについても呼気中ペンタン量が体内ビタミンE存在量の指標となり得ることが示された。

＜考 察＞

ビタミンEの体内存在量は栄養学的あるいは、生化学的研究から、多くの因子によって左右されることが明らかにされている。

食物に由来する因子としては、摂取脂肪の種類及びその量、含硫アミノ酸量、セレン量、また、ビタミンAなど他の脂溶性ビタミン類の摂取量などをあげることができる。これらの因子のうち、ビタミンE存在量に最も強い影響を持つものは、不飽和脂肪酸の種類とその量であると言われている。Damらは、栄養性脳軟化症の発症には不飽和脂肪酸の中でも、リノール酸、アラキドン酸の様なりノール酸系列の不飽和脂肪酸は影響があるが、リノレイン酸は影響がないことを報告している。その後、Weberらは、1gのリノール酸を添加することによって、dl- α -トコフェロール酢酸エステルの必要量は0.5mg増加することを報告し、Wissらも類似の結果を報告している。また、Harrisらは1963年に高度不飽和脂肪酸(PUFA)摂取量とビタミンE必要量に関してアメリカ人の食事調査を基にしてV.E/PUFA(mg/g)=0.6が一応適正比率であることを報告している。

これらのことから考えて、呼気中ペンタン量から体内 α -トコフェロールの存在量を推定し、摂取PUFA量を求めて、ビタミンEの必要量を知ることができると、食物から摂取したPUFA量を求ることは容易でない。呼気中ペンタン量だけから、ビタミンEの必要量を求めるには多くの健康なヒトの呼気中ペンタン量と α -トコフェロール量を測定してペンタン量の基準となる値を出しこの値と比較することによって必要量を知ることができる。このことを目的として、本研究ではビタ

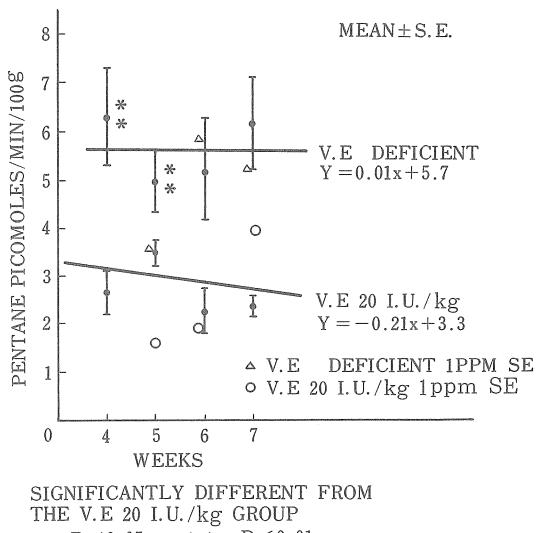


図2 PENTANE PRODUCTION

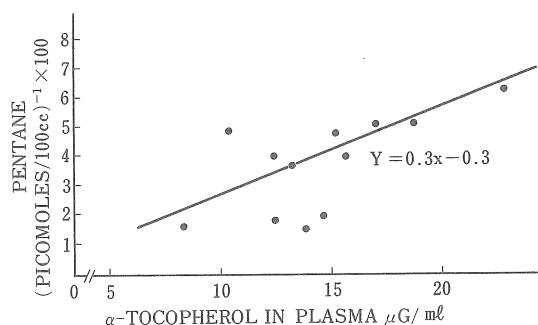


図3
RELATIONSHIP BETWEEN PENTANE IN BREATH AND α -TOCOPHEROL IN PLASMA

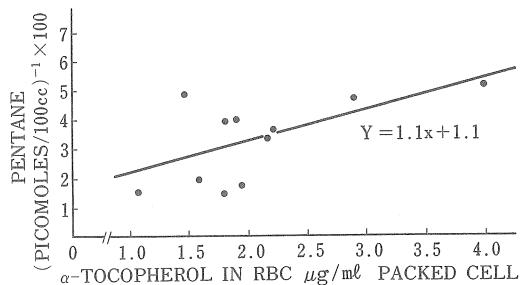


図4
RELATIONSHIP BETWEEN PENTANE IN BREATH AND α -TOCOPHEROL IN RBC

Table. 6 CORRELATIONSHIP BETWEEN ITEMS

	Pentane	Serum α -Tocopherol	Lung α -Tocopherol	Liver α -Tocopherol
Serum α -Tocopherol	0.590 ^a	*	*	*
Lung α -Tocopherol	0.722 ^b	*	*	*
Liver α -Tocopherol	0.657 ^b	*	*	*
Lung TBA value	0.299	0.620 ^a	0.706 ^b	0.701 ^b
Liver TBA value	0.363	0.769 ^c	0.678 ^b	0.813 ^c

	G6PDH	6PGDH	GSH-R	GSH-Px Cumene	GSH-Px H_2O_2	GSH-Tase
Liver TBA value	0.487	0.154	0.266	0.499	0.342	0.716 ^b
Lung TBA value	0.009	0.229	0.126	0.104	0.295	0.400

a, Significant Correlation ($p < 0.05$)b, Significant Correlation ($p < 0.01$)c, Significant Correlation ($p < 0.001$)

ミンE含量, セレン含量の異なる飼料をラットに与えて, 呼気中ペンタン量と血清, 赤血球, 臓器中の α -トコフェロール量の相関性を求め, ペンタン量から生体内 α -トコフェロールの存在量を推定することの妥当性を検討した。さらにヒトについて, 呼気中ペンタン量と α -トコフェロール量の相関を調べて, ラットの結果のヒトへの応用を試みた。その結果, 呼気中ペンタン量と血中及び臓器中の α -トコフェロール量の間に有意な相関が認められ, また実験Iでは, 呼気中ペンタン量と, 肺及び肝臓のTBA値とも正の相関が認められたことから, 放出される呼気中ペンタン量から体内の過酸化脂質量と α -トコフェロール量を推定することは可能であると考えられる。また, ヒトの血漿中の α -トコフェロール量と呼気中ペンタン量が有意な相関を示したことから, ヒトの場合も呼気中ペンタン量から, 体内の α -トコフェロール量と過酸化脂質量を推定することは, 可能なのではないかと思われる。しかし, ペンタン量

だから, 体内で必要とされているビタミンEの量を知るには先の基準値を設定するなど, 今後より多くの研究が必要であると思われる。

次に実験Iの最後の週で抗生素を投与したが呼気中ペンタン量に減少は見られなかった。この実験は, Gelmontらがペンタンを腸内細菌由来のものであるとしている報告の追試として行ったが, 本実験ではGelmontらの説を否定する結果となった。GelmontらはWhole bodyを密閉して, 呼気を採集しているために尾部から発生する気体も採取してしまうことが, 腸内細菌由来説となった理由ではないかと思われる。今回の実験結果からは, 呼気中ペンタンは, Tappelらの報告の通り, 生体内過酸化脂質の分解によって生じたものと考えられる。

過酸化脂質代謝酵素の活性には, 本実験の結果ではビタミンE欠乏群で添加食群より低かった。GSH-Px活性と α -トコフェロールの相関については, 研究者により異なった結果が得られていた

が一般には、ビタミンE欠乏動物の肝臓ではGSH-Pxの活性は高まることが認められている。肺についての研究では Chow らがラットを低濃度のO₃を連続8日間曝露して過酸化脂質を増加させた場合、GSH-Px, GSH-R, G6PDHの活性が上昇することを報告している。また Crappo & Tier も類似の報告をしている。一方、嵯峨井らは NO₂を曝露すると、呼気中の炭化水素が増加し、過酸化脂質が増加することを示し、その時のGSH-PxとGSH-Rの活性は、4週目までは上昇するもののその後は低下することを報告している。本実験の酵素活性の測定は、7, 8週目であることを考え合わせると実験のはば前半の時期には、過酸化脂質の増加に従って、代謝酵素の活性も上昇したが後半になって脂質の過酸化が亢進して、代謝酵素では、対処し切れなくなることや、酵素が変性することなどが原因で、活性が低下したのではないかと推測される。

セレンは、セレンメチオニンの形でGSH-Px活性部位に存在する元素であり、フリーラジカル連鎖反応における一連の酸化的障害の進行過程で、ビタミンEと異なった場所で、その障害の進行を阻害することが Tappel らによって報告されている。

セレンとビタミンEの相乗効果については、呼気中炭化水素分析の面から Tappel らによって示されているが、セレンの抗酸化力はビタミンE程強くないことが報告されている。本実験の実験IIにおいてもビタミンE欠乏Se添加食群と、ビタミンE添加Se非添加食群を比較すると、前者の方がずっとTBA値が高く、セレンの抗酸化力がビタミンE程強くないことが示された。また、ビタミンE添加食とそれにセレンを添加した群を比較すると、セレンを添加した群のビタミンEの消費量は、大いに減少し、セレン非添加群よりTBA値も下がって、ビタミンEとセレンの相乗効果が示された。セレン添加の2群の血中及び臓器中のα-トコフェロール量は、GSH-Px活性が高められ、過酸化脂質の生成を抑えて、ビタミンEの消費量が減少したためと思われる。

昨年及び今年度の試験によって呼気中のペンタン量をビタミンE要求量を知る一指標として利用できることが明らかとなった。

今年度は基礎的研究に時間を取られ、運動選手の呼気分析は計画通りに分析が行えなかったが、今後はこの方法の活用によって、この点を更に解明したい。

