

ビタミン・ミネラル代謝に及ぼす持久性運動と 食事及び加齢の影響

国立健康・栄養研究所所長 小林 修 平
樋口 満
井上 喜久子
石井 恵子
村上 照美
吉武 裕
田畑 泉

研究目的

ビタミンは微量で生体の代謝機能を円滑に進めるのに不可欠な栄養素である。とくに、エネルギー代謝レベルが高い持久性スポーツ選手にとっては、ビタミンB群、Cなど水溶性ビタミンが重要な役割をはたしており、最近では脂溶性のビタミンEが疲労回復との関連で注目されている。また、ミネラルの栄養状態の良否はスポーツ遂行能力と密接な関連がある。また、鉄、カルシウムなどミネラルの栄養状態も激しいトレーニングを障害なく遂行し、高い競技力を発揮するために不可欠な要因である。本年度は、昨年度対象とした若年女性と対比し、加齢の影響を検討するために中年女性を対象として、エネルギー消費レベルを考慮しながら、ビタミン・ミネラルの栄養状態を栄養摂取量と、血液生化学的パラメータ、及び骨密度を指標として研究した。

被検者と研究方法

(1) とくに日常規則的な運動を行っていない中年女性9名（一般人）、1週間に10km以上40km以下のランニングを行っている中年女性6名（ジョガー）、及び40km/週以上のランニングを行っている中年女性10名（ランナー）を対象とした。

(2) 各被検者に対して身長・体重・皮脂厚の計測を行った。

- (3) 一般人とジョガーに対しては最大酸素摂取量 (V_{O_2max}) の測定を行った。
- (4) 各被検者に対して、早朝空腹時に採血をし、各種ビタミンの分析、及び鉄栄養状態の測定を行った。

ビタミンEの分析は高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 法、ビタミンB1の栄養状態は赤血球を用いたTDP効果による評価法、ビタミンB2については赤血球グルタチオン還元酵素のFAD効果によって栄養状態を判定した。ビタミンCはヒドラジン法によって測定した。

鉄栄養状態はヘマトクリット、ヘモグロビン、血清鉄、総鉄結合能 (TIBC)、及び血清フェリチン濃度から判定した。測定は(株)SRLに委託して行った。

- (5) 腰椎の骨密度をDEXA法にて測定した。
- (6) 平日3日間の食事調査を実施し、各人の栄養摂取状態を評価した。

統計処理

各群間の有意差の検定はスチューデントのt-テストにて行い、 $p < 0.05$ をもって有意とした。

結果と考察

表1に各グループの身体計測値、 V_{O_2max} を示した。一般人とジョガーの間には身体組成に差は認められなかったが、ランナーは一般人、ジョガーと比べてBMI、体脂肪率が低かった。とくに、ランナーの体脂肪率は他の2グループより著しく低い水準であった。 V_{O_2max} は一般人よりジョガーが、ジョガーよりランナーがそれぞれ有意に高い値であった。

表2に総エネルギー摂取量と蛋白質、脂肪の摂取量、脂肪エネルギー比、及びジョガーとランナーの1週間当たりのトレーニング量を示した。総エネルギー摂取量はランナーが最も高く、ジョガーが最も低い水準であったが、3グループ間には統計的な有意差は認められなかった。「日本人の栄養所要量」によれば、中年の一般人の生活活動強度は「I. 軽い」に分類されると考えられるので、一般人のエネルギー所要量は1700kcal/日であり、この値と比較すると本研究に参加した一般人のエネルギー摂

取量はやや高く、トレーニング量から推測すると「Ⅱ. 中等度」であると考えられる。ジョガーのエネルギー摂取量は所要量（1800～1900kcal/日）よりもやや低い水準であった。一方、ランナーのトレーニング量は表2に示したようにジョガーよりも著しく高い水準であり、ランナーの生活活動強度は「Ⅲ. やや重い」に分類されると考えられる。このときのエネルギー所要量は2300kcal/日程度となる。しかし、本研究における栄養調査結果によれば、ランナーの平均エネルギー摂取量はその水準を300kcal以上下回っていた。今後、女性長距離ランナーについては、基礎代謝率を含めたエネルギー代謝状況についても詳細な検討が必要と思われる。蛋白質摂取量も3グループ間に有意な差はみられなかったが、ジョガーが低く、ランナーが高い傾向であった。脂肪摂取量は3グループ間に差が認められなかった。また、脂肪エネルギー比は3グループ間で差がなく、いずれも30%程度であった。

表3に各グループのビタミンB1、B2、C、E、及び鉄、カルシウムの摂取量を示した。水溶性ビタミンであるビタミンB1、B2、Cの摂取量は平均値ではいずれのグループもそれぞれの所要量と同水準かそれ以上であったが、エネルギー摂取量が少なかったジョガーがすべての栄養素において一般人、ランナーよりも低い水準であった。ランナーのビタミンC摂取量は一般人、ジョガーよりも平均値では高かったが、他の2グループと統計的に有意な差は認められなかった。それは、ランナーの中にビタミンC補給剤を摂取しているものが2名いたためであり、この2名を除くと平均摂取量は148mgと一般人と同水準であった。脂溶性ビタミンであるビタミンEは水溶性で抗酸化作用があるビタミンCとともに、激しい持久性運動により酸素摂取量が増加することによって生じる活性酸素による生体成分の脂質過酸化の防御・抑制にとって重要な役割を果たしていることが近年明らかになってきた。本研究に参加したランナーのビタミンE摂取量は所要量を満たしていたが、ジョガーでは所要量は満たしているもののやや低い水準であった。一般人のビタミンE摂取量は補助剤を摂取している者がいたため、平均値では高かったが、他の2グループと比べて有意な差は認められなかった。

ランナーの鉄、及びカルシウムの摂取量は非常に高い水準であったが、それに対してジョガーは所要量を下回っており、激しいトレーニングを長時間行っているランナー

とトレーニング量が少ないジョガーでは栄養に対する意識の違いが推察された。

表4に血液生化学的にみた体内ビタミン栄養状態を示した。長時間にわたる持久性運動によるエネルギー消費量の増加は糖代謝を高めるので、ビタミンB1の必要量が高まる。ビタミンB1の栄養状態（TDP効果：値が小さい方が良好）はジョガー、ランナーとも潜在性欠乏状態であり、とくにジョガーが他の2グループに比べて不良であることが示された。ビタミンB2についてはいずれのグループも正常域内であった。一方、ビタミンCはストレス関連ホルモンの代謝に関与していると考えられており、激しいトレーニングを行っているランナーはビタミンCをより多く摂取することが望ましいと考えられている。また、ビタミンCは非ヘム鉄の腸管からの吸収を促すことが知られている。鉄欠乏に陥りやすいランナーではとくに必要なビタミンである。さらに、ビタミンCは脂質過酸化の防御因子としてビタミンEとともに近年注目されているビタミンである。表4からもわかるが、いずれのグループとも血中のビタミンC濃度は正常範囲とされている $700\mu\text{g}/\text{dl}$ よりは高い水準であったが、摂取量が他のグループよりも低いジョガーでは体内ビタミンC栄養状態も他の2グループほど良好でなかった。

脂溶性ビタミンであるビタミンEの血中濃度は血中脂質濃度と関連があることが知られている。血中ビタミンE濃度はランナーが最も高かったが、それはランナーの血中総コレステロール濃度が高かったこととも関連していると考えられる。

表5に体内鉄栄養状態、及び骨密度に関するデータを示した。ヘモグロビン濃度、血清鉄、TIBC、フェリチンいずれも3グループ間に有意な差を認めなかったが、ランナーのヘモグロビン濃度、TIBCは他の2グループよりもやや不良であった。ランナーは鉄摂取量、鉄吸収を助けるビタミンCの摂取量が多いにもかかわらず、血中鉄栄養状態が他の2グループと同等ないし、やや不良であった原因として、ランナーの日常的な激しいトレーニングによる鉄の遺失が考えられる。また、月経の有無も鉄栄養状態に大きな影響を及ぼすことが知られている。本研究に被検者として参加した中年女性における閉経者の割合は、一般人：5/9、ジョガー：4/6、ランナー：7/10とほぼ同じであったことから、ランナーの鉄栄養状態は激しいトレーニングの影響を強く受けていると考えられる。中年女性の骨密度は女性ホルモンの影響を強く

受けており、閉経後の著しい骨密度の低下は骨粗鬆症を引き起こす主たる要因であることが知られている。また、日常の身体活動状態、食生活も大きな影響を及ぼす因子である。腰椎骨密度は一般人が最も高く、ジョガーのランナーは同水準であった。一般人のカルシウム摂取量は所要量を満たしていたが、ジョガーのそれは所要量600mgを著しく下回っていたことが、骨密度にも影響を及ぼしているものと考えられる。一方、ランナーはカルシウム摂取量が他の2グループよりも有意に高かったにもかかわらず、骨密度は一般人よりも低く、カルシウム摂取量の低いジョガーと同水準であった。この結果は、日常規則的に激しい持久性トレーニングを行っている人々では、骨密度を高く維持するためには所要量以上のカルシウム摂取が必要であることを示唆している。また、長距離ランナーでは骨密度低下を防ぐために、持久性トレーニングに加えて筋・骨に重力負荷がかかるレジスタンス運動が必要であることが推察される。

図1～4に今年度に対象とした中年女性各グループの各種ビタミンの摂取量と体内栄養状態を昨年度報告した若年女性のそれぞれの値と比較して示した。図1-1、2はビタミンB1の摂取量と体内栄養状態を示している。若年の一般人、ランナーの平均摂取量が他のグループに比べて高くなっているが、それは補給剤を摂取しているものがそれぞれのグループにいたためである。中年女性ジョガー、ランナーのTDP効果が高くなっていたが、それはそれぞれのグループ内にTDP効果が50%以上と非常に高いひとが数名いたためである。図2-1、2はビタミンB2、図3-1、2はビタミンC、図4-1、2はビタミンEの摂取量と体内栄養状態を示している。いずれも若年ランナーの摂取量が高くなっているが、補給剤摂取の有無によるばらつきが大きい。体内栄養状態はビタミンB2、Cともいずれのグループも正常範囲であり、若年と中年の差は認められなかったが、ビタミンEは中年が若年よりも高い傾向を示した。これは血中脂質濃度や体脂肪量が関連しているものと思われる。

図5は若年と中年の各グループの個人について、ビタミンB1の摂取量とその体内栄養状態の指標であるTDP効果の相関関係を示している。この図から中年のジョガーとランナーに摂取量不足、体内栄養状態不良のものが多くことがわかる。図6はビタミンEの摂取量と血中 α -トコフェロール濃度の相関関係を示している。先にも述べたが、ビタミンE濃度は血中脂質濃度と関連しているもので、このように若年者と

中年で差がでたと考えられる。

本研究結果は、日常規則的な運動は呼吸循環機能を高めるが、運動量の増加に伴って各種栄養素の要求量が高まるので、食生活に一層注意を払う必要があることを示唆している。

表1 中年女性（一般人、ジョガー、ランナー）の身体計測値、最大酸素摂取量 (Vo2max)

グループ	N	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m ²)	体脂肪率 (%)	Vo2max (ml/kg/min)
一般人	9	51±5	155.0±5.5	51.7±6.5	21±2	25±6	34.5±4.8
ジョガー	6	53±8	152.2±4.1	53.0±6.6	23±2	26±5	41.7±4.2*
ランナー	10	53±5	154.3±4.1	47.4±3.8#	20±1##	17±2***#	47.4±5.5**#

平均±SD. *P<0.05, **P<0.01 vs 一般人, #P<0.05, ##P<0.01 vs ジョガー

表2 中年女性（一般人、ジョガー、ランナー）のエネルギー源栄養素の摂取状況とトレーニング状況

グループ	N	総エネルギー (kcal)	蛋白質 (g)	脂肪 (g)	脂肪エネルギー比 (%)	トレーニング量 (km/週)
一般人	9	1896±159	79±12	59±10	28.5±4.0	---
ジョガー	6	1788±266	69±9	60±14	30.2±3.2	26±11
ランナー	10	1955±281	87±24	62±15	28.6±5.0	64±14##

平均±SD. ##P<0.01 vs ジョガー

表3 中年女性（一般人、ジョガー、ランナー）の各種ビタミン、ミネラル摂取量

グループ	N	ビタミンB1 (mg)	ビタミンB2 (mg)	ビタミンC (mg)	ビタミンE (mg)	鉄 (mg)	カルシウム (mg)
一般人	9	1.11±0.17	1.75±0.60	148±61	13.8±15.8	11.4±2.8	634±84
ジョガー	6	0.96±0.14	1.21±0.19	118±45	8.5±2.0	9.8±2.1	538±150
ランナー	10	1.17±0.19#	1.70±0.48#	257±312	10.3±2.6	13.2±2.6#	882±266**

平均値±SD. *P<0.05 vs 一般人, #P<0.05 vs ジョガー.

表4 中年女性（一般人、ジョガー、ランナー）の体内ビタミン栄養状態

グループ	N	ビタミンB1 (%)	ビタミンB2 (%)	ビタミンC ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	ビタミンE ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
一般人	9	19.4 \pm 7.7	1.01 \pm 0.10	962 \pm 218	12.9 \pm 2.4
ジョガー	6	37.3 \pm 16.5*	1.11 \pm 0.08	888 \pm 165	15.2 \pm 3.6
ランナー	10	31.1 \pm 20.6	1.09 \pm 0.18	966 \pm 282	19.3 \pm 3.5**#

平均 \pm SD. *P<0.05, **P<0.01 vs 一般人, #P<0.05, ##P<0.01 vs ジョガー

表5 中年女性の体内鉄栄養状態、及び骨密度

グループ	N	ヘモグロビン (g/L)	血清鉄 ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	TIBC ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	フェリチン (ng/ml)	骨密度 (g/cm ²)
一般人	9	12.9 \pm 1.3	105 \pm 33	313 \pm 25	37 \pm 33	0.953 \pm 0.100
ジョガー	6	12.7 \pm 0.3	112 \pm 14	305 \pm 48	44 \pm 18	0.857 \pm 0.124
ランナー	10	12.4 \pm 0.8	112 \pm 23	331 \pm 41	37 \pm 24	0.853 \pm 0.083*

平均 \pm SD. *P<0.05 vs 一般人

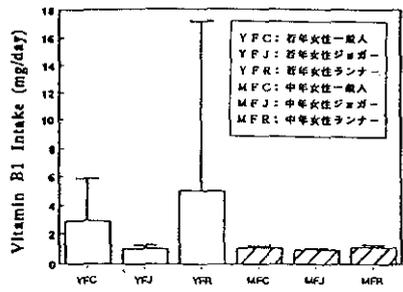


図1-1. 若年及び中年女性各グループのビタミンB1の摂取量

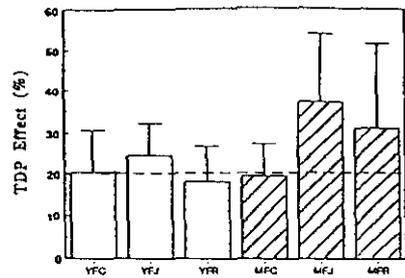


図1-2. 若年及び中年女性各グループのビタミンB1体内栄養状態

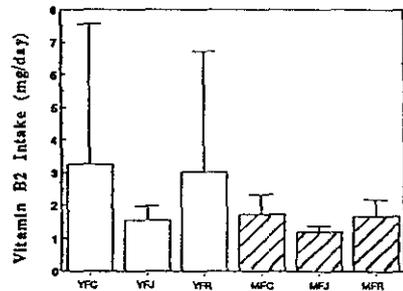


図2-1. 若年及び中年女性各グループのビタミンB2の摂取量

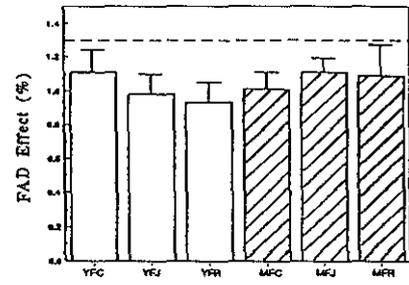


図2-2. 若年及び中年女性各グループのビタミンB2体内栄養状態

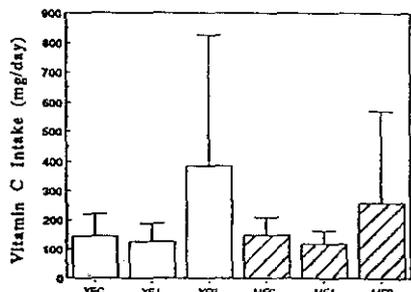


図3-1. 若年及び中年女性各グループのビタミンCの摂取量

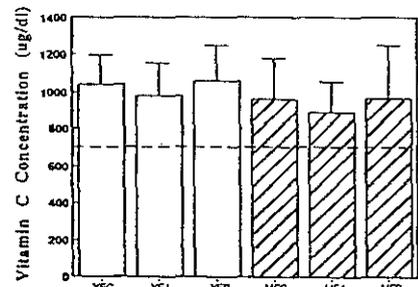


図3-2. 若年及び中年女性各グループのビタミンC体内栄養状態

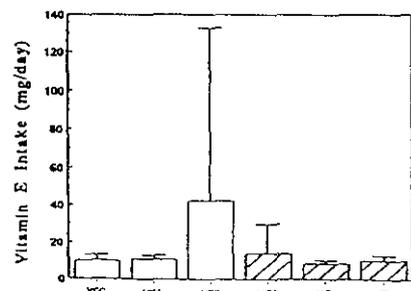


図4-1. 若年及び中年女性各グループのビタミンEの摂取量

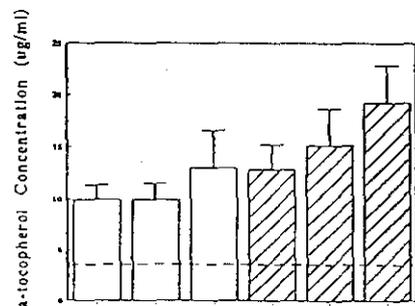


図4-2. 若年及び中年女性各グループのビタミンE体内栄養状態

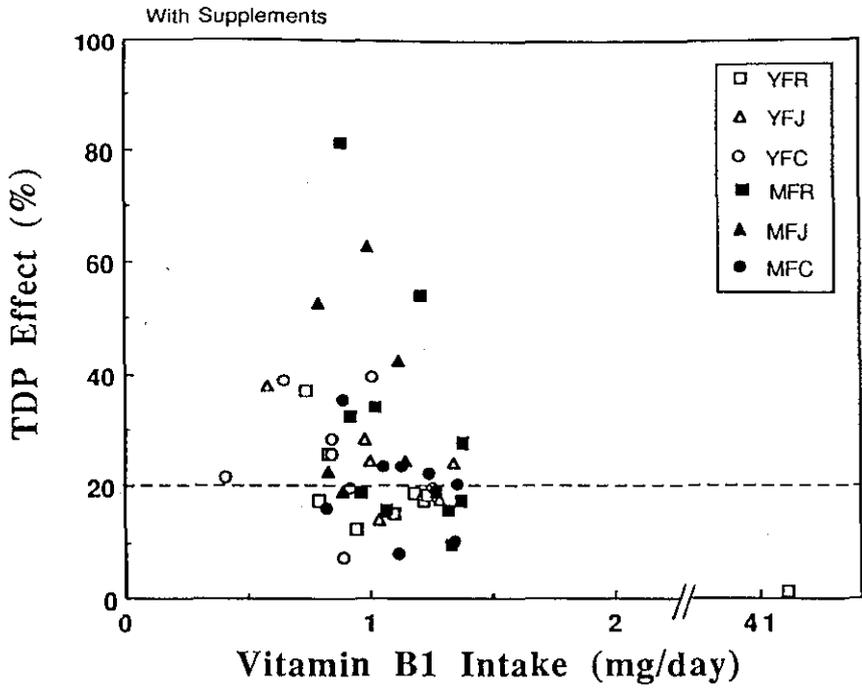


図5. 若年及び中年女性被検者のビタミンB1摂取量とその体内栄養状態の相関関係

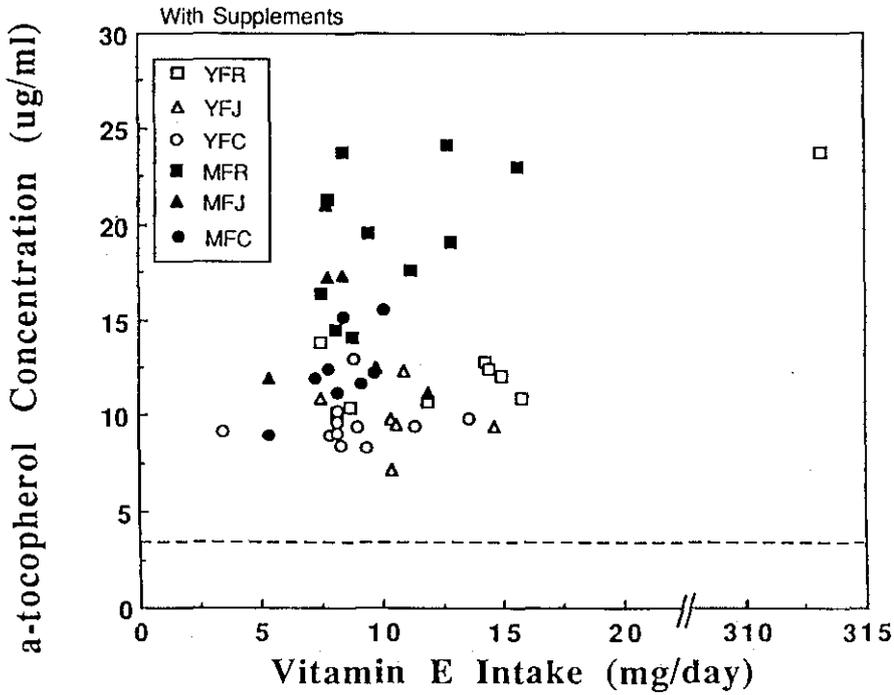


図6. 若年及び中年女性被検者のビタミンEの摂取量と血中 α -トコフェロール濃度の相関関係