

昭和44年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XV 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

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

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

報 告 者 スポーツ科学委員会・ドーピング研究小委員会

小 川 新 吉

研究協力者 青 木 純一郎 ・ 前 嶋 孝

清 水 達 雄 ・ 伊 藤 明

生体に2分から2時間におよぶ比較的激しい運動が負荷されるときには、細胞代謝の過程に大量の酸素がたえず供給されなければならない。エネルギー源が解糖からTCA回路を経て、CO₂とH原子を放出し、さらに電子伝達系に受け渡されたH原子が分子状の酸素と反応してH₂Oになるまでの過程を有酸素的反応 aerobic processes⁹⁾と呼べば、より長い時間、あるいはより高い水準の運動を行なうためには最大酸素摂取量がより大きくななければならない。

最大酸素摂取能力を制限する因子については多くの研究¹⁹⁾⁸⁾²¹⁾¹²⁾がなされているが、それらを総括すれば、1)肺換気量、2)肺での拡散容量、3)血液の酸素輸送能力、4)血流量、5)組織での拡散容量、さらに6)組織の酸素利用率等が考えられている¹⁴⁾。特に最近では、酵素活性の面から組織の酸素利用率が有酸素的運動能力の制限因子として注目され¹³⁾¹²⁾、青木ら²⁾はperformanceの改善がビタミンEによってもたらされたことから、筋組織における呼吸に持久性運動能力の制限因子を解明する鍵があるのではないかと示唆している。

ビタミンEは、不飽和脂肪酸の酸化を防ぐ働きがあり、また細胞内のミトコンドリアに存在する呼吸酵素の働きを促進し、それによって組織の酸素利用率を高めるといわれている¹⁶⁾。また、Weiserら²⁴⁾はラットを寒冷(1℃)と温暖(28℃)に暴露し、寒冷により暖かい環境で飼育されているときよりもビタミンEの必要量が50%も増加することを確かめ、Singh²⁰⁾によって

示唆された、高地すなわち低酸素に対するビタミンE需要量の増加は、低酸素ではなく、寒冷暴露に起因するものであることを実証した。また、ビタミンEの効果は、ビタミンCが共存することにより、一層強化されるということが理論的にも²³⁾、また実際合宿中の運動選手に使用した結果³⁾からも示唆されている。

そこでわれわれは、特に有酸素的運動を主体とした冬季競技選手の運動能力向上にビタミンEおよびE+Cが有効であると考え、その効果を検討した。

実験方法

被検者には、専修大学スピード・スケート部員男子24名を用いた。そのうち任意にグルーピングした10名に1日3000mgのビタミンEと600mgのビタミンC(E+C群)を、別の10名に1

Table 1. Physical characteristics of subjects and administration

Group No	Age	Ht	Wt	Administration	
	yr	cm	kg	mg/day:granule	
Vitamin E + C 10	10	205	166	67	Vitamin E acetate
					300
Vitamin E 10	10	202	169	65	Ascorbic acid
					600
Placebo 4	4	210	167	67	Vitamin E acetate
					300

日300mgのビタミンE(E群)を、および残りの4名にプラセボ(P群)をそれぞれ服用させた(表1)。服用期間は、1969年11月14日より12月21日迄であった。そして、この間全員同スケート部のトレーニング計画に従った。

運動負荷は自転車エルゴメーター(Monark)を用い、毎分60回のペダル頻度で、3KPより開始し、3分ごとに負荷を1KPずつ増加させ、all-outまでこがせた。

酸素摂取量の測定は、Douglas bag法により、運動中1分ごとに採気し、all-outまでの3~4分間の呼気を労研式大型ガス分析器で分析し、そのうちの最大値を採った。

心拍数は、胸部誘導により連続記録された心電図より計測した。

運動前、all-out直後および回復30分後に、それぞれ肘静脈より採血し、血漿中のビタミンE、乳酸および遊離脂肪酸の定量を行なった。なお、運動前および回復30分時には採尿し、その蛋白、糖、pHおよびケント体の測定(Labstix, 日本エームKK)も併せ行なった。

実験は、神奈川県生田(1969年11月11~13日)、山梨県富士急ハイランド(同12月2~4日)および長野県美鈴湖(同12月22~24日)で行なわれた。それぞれの気象条件は、表2に示してある。

Table 2. Meteorological conditions at the three experimental sites.

PLACE	ALTITUDE m	TEMPERATURE °C	PRESSURE mmHg	DATE 1969
IKUTA Kanagawa	Sea level	16.7±1.5	759	Nov 11-13
FUJI HIGHLAND Yamanashi	819	11.5±2.2	687	Dec 2-4
LAKE MISUZU Nagano	1000	2.4±2.5	674	Dec 22-24

なお、三測定地点でのall-out ridingは、毎回、全員同一服(ナイロン製トレーニングウェア上下)で行ない、同一人についてはほぼ同一時刻に行なわれるよう配慮した。

実験結果

(1) 気温の変化と仕事量

三つの測定地点での気温および仕事量の相対的变化を図1に示した。

気温(右縦軸, ※印)は、実測値そのものが目盛られているが、生田(16.7±1.5°C)と富士急ハイランド(11.5±2.2°C)とでは約5.2°C 31%;ハイランドと美鈴湖(2.4±2.5°C)とでは約9.1°C, 80%;生田と美鈴湖とでは約14.3°C, 86%のそれぞれ減少であった。

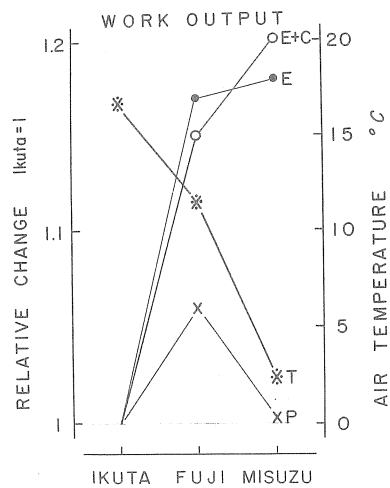


Fig. 1. Air temperature and the relative change of work output obtained at the three experimental sites: Ikuta, Fuji Highland and Lake Misuzu. Work output at Ikuta = 1.

このような環境気温のもとでなされた自転車エルゴメーターによる運動量の指標は仕事量KPMによった。すなわち、3分ごとに負荷KPを漸増したので、例えば同一負荷内での5秒と、2つの異なる負荷にまたがる5秒とではその意味が異なる。それ故、all-out時間ではなされた仕事の指標として不相当である。しかし、仕事量には個人差が大きかったこと、およびこの実験の目的としては、絶対量の比較ではなく、寒冷暴露による相対的变化を見ることが主であることから、いずれも生田での結果を1として、ハイランドおよび美鈴湖で得られた結果との比を求めた。

E+CおよびE群の生田における all-out 時間は、それぞれ 6'4 1"9 と 6'1 3"1 で、仕事量は、1 1,3 9 1 と 1 0,3 9 6 KPM であったが、ハイランドにおいて、仕事量はそれぞれ 1 4.8 および 1 7.1 % 増加した。一方、P 群は生田において、6'4 6"0, 1 1,5 1 1 KPM であったが、ハイランドにおいて 6.3 % 増加した。

美鈴湖において、E+C 群はハイランドにおけるよりさらに 5.7 % 増加し、結局生田と比較して 20.9 % の増加であった。しかし E 群には変化が見られず、一方 P 群は再び仕事量が 1 1,5 1 4 KPM となり、生田でのレベルに戻ってしまった。

(2) all-out 時の心拍数, 換気量, 酸素摂取率および最大酸素摂取量

生田, ハイランドおよび美鈴湖において得られた all-out 時の心拍数, 換気量および酸素摂取率ならびに最大酸素摂取量のグループごとの平均値を表 3 に示した。

心拍数は、三測定地のいずれにおいても、E+C 群より E 群が平均毎分 2 拍動、さらに E 群より P 群が 3 拍動程多い値を示したが、各群ともいずれの測定地においても殆ど同一の値を示した。換気量も P 群が平均的に他の 2 群より若干高い値を示したが、三測定地での変動はなかった。

Table 3. Heart rate, ventilation and oxygen removal at all-out and maximum oxygen intake.

Group	Place		
	Ikuta	Highland	Lake Misuzu
Heart rate, beats/min			
E+C	182	183	182
E	184	185	185
P	187	188	186
Ventilation, l/min			
E+C	158	156	158
E	152	154	150
P	171	169	168
Oxygen removal, ml			
E+C	24.4	24.7	23.6
E	23.6	23.5	22.7
P	23.2	22.7	21.2
Maximum oxygen intake, ml/kg/min			
E+C	57.1	59.1	56.3
E	54.8	56.0	55.0
P	59.0	57.9	54.9

E+C および E 群は、体重当り最大酸素摂取量および酸素摂取率ともに三測定地で有意な差を示さなかった。しかし、P 群は、生田からハイランド、さらに美鈴湖へと行くに従い、体重当りの最大酸素摂取量および all-out 時の酸素摂取率が減少する傾向を示した。最終的には、生田における値と比較して美鈴湖において最大酸素摂取量は 6.9 %、および酸素摂取率は 8.6 % それぞれ減少を示した。

(3) 血中乳酸

安静値, all-out 直後および回復 30 分後の血中乳酸の変化を、いずれも安静値を 1 とした相対的增加率を図 2 に示した。

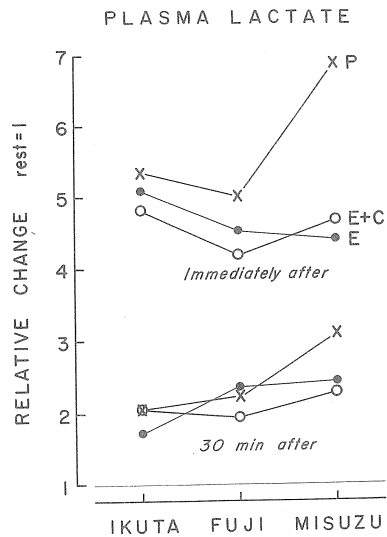


Fig. 2. Relative change of plasma lactate immediately after and 30-min after all-out riding at three experimental sites. At rest=1.

生田における E+C, E および P 群の血中乳酸の安静値は、それぞれ 1 7.7, 1 7.9 および 1 6.5 mg/dl であったが、all-out 直後三群とも約 5 倍の増加を示した。その後ハイランド, 美鈴湖において若干減少する傾向が見られたが、P 群だけは他の 2 群と有意に異なる傾向を示し、その増加率は安静値の 7 倍であった。

また、回復 30 分後の血中乳酸は、生田およびハイランドにおいては、三群とも安静値の 2 倍程度にまで回復した。しかし、美鈴湖においては、

E+CおよびE群が2倍強程度であったのに対して、P群は依然として、安静値の3倍以上の濃度が維持された。

(4) 血中遊離脂肪酸

血中乳酸と同時に測定した血中遊離脂肪酸の変化を、前者と同様に示したものが図3である。

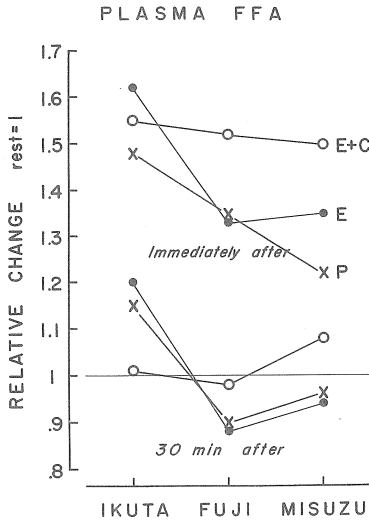


Fig. 3. Relative change of plasma FFA immediately after all-out riding at three experimental sites. At rest=1.

生田におけるE+C、EおよびP群の安静時血中遊離脂肪酸(FFA)は、それぞれ、0.165、0.159および0.112 mg/dlであったが、all-out直後それぞれ55、62および48%の増加を示した。その後、ハイランド、美鈴湖と寒冷が強まるにつれて、安静値が増加するとともに、all-out直後の増加率は減少する傾向にあった。しかし、減少の程度は、P群が一番大きく、E+C群の52%増に対して22%増にしかすぎなかった。

なお、E+C、EおよびP群のハイランドおよび美鈴湖における安静値はそれぞれ、0.184、0.183、0.210および0.191、0.216、0.243であった。

30分後の値は、E+C群が生田およびハイランドで安静値に戻り、美鈴湖においては10%弱の増加が見られた。一方、EおよびP群は生田で

はともに安静の20%増であったのが、ハイランドでは10%、美鈴湖では5%それぞれ安静値より少ない値を示した。

(5) 血中ビタミンE

生田、ハイランドおよび美鈴湖において得られた血中ビタミンEの安静値およびall-out直後の値の動向を図4に示した。

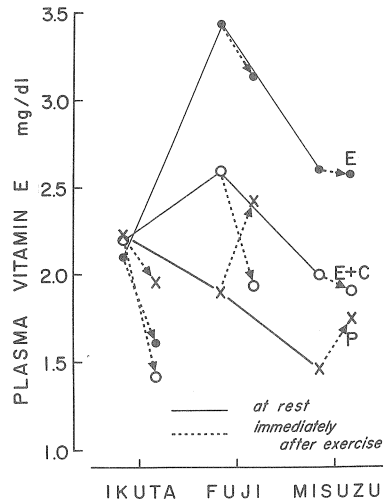


Fig. 4. Plasma vitamin E obtained at rest and immediately after all-out riding at three experimental sites.

安静値：生田での安静値は三群とも2.10 ~ 2.23 mg/dlであったが、E+CおよびE群はともにハイランド(ビタミンE+CおよびE服用2日後)で増加し、前者は2.60、後者は3.44 mg/dlであった。しかしP群は1.91 mg/dlに減少した。

寒冷地美鈴湖においては、三群ともハイランドより減少を示したが、E群はそれでも2.61 mg/dlで生田の時よりわずか高く、E+C群は2.00 mg/dlで生田より0.20 mg/dlの減少であった。

しかし、P群はハイランドよりさらに0.45 mg/dlほど減少し、1.46 mg/dlの値しか得られず、これは生田に比較して35%の減少であった。

運動直後：生田では三群とも直後に0.3~0.8 mg/dlほどの減少を示した。しかし、ハイランドにおいては、E+CおよびE群が生田における同様の減少を示したのに対して、P群は逆に、0.5

mg/dlの増加を示した。この傾向は、さらに美鈴湖においても見られた特異な現象であった。

(6) 尿検査

生田、ハイランドおよび美鈴湖における実験時の全尿量、安静時および all-out 30分後の尿中のpH、蛋白、ブドウ糖、ケトン体ならびに潜血の程度を表4に示した。

Table 4. Total urine in each experimental day, pH of the urine and protein, glucose, ketone bodies and blood in it.

Group	Place		
	Ikuta	Highland	Lake Misuzu
	pH at rest/30-min after exercise		
E+C	5.8/5.6	5.9/5.6	6.1/5.6
E	6.1/5.7	5.8/5.5	6.3/5.5
P	5.9/5.5	5.6/5.5	6.0/5.8
	Protein, mg/dl at rest/30-min after exercise		
E+C	0/91	1.5/3.5.5	1.5/2.4
E	0/5.7	0/3.5.5	/0/3.2.5
P	0/3.0	0/3.0	0/2.2.5
	Total urine at each experimental day, ml		
E+C	----	1444	1414
E	----	1330	1459
P	----	984	1115

Note: Glucose, ketones and blood in urine were negative in every case.

ブドウ糖、ケトン体および潜血はいずれの測定においても検知することが出来なかった。pHは運動後いずれの場合においても0.1~0.3ほど酸性に傾いたが、特に変わった所見は得られなかった。また、蛋白および尿量にも著しい変化は見られなかった。

考 察

寒冷による人体への影響は、衣服によって解決されるが、このような解決方法では、身体の作業能率から考えると問題が多い。特にスポーツ活動においては、防寒のための厚い衣服はそれだけ余分のエネルギーを消耗し、また動作の巧みに大きな支障をきたすことになる。しかしながら、一般には体温の恒常性維持という観点から、温熱の影響については詳細な研究がなされているが、耐

寒性²⁵⁾、寒冷暴露に対する生化学的反応¹⁰⁾⁵⁾、あるいは寒冷地住民を対象とした研究²²⁾¹⁾、などは別として、寒冷の特に全身持久運動能力に及ぼす影響については殆ど等閑視されている⁶⁾。

本実験の対照群は気温16.7±1.5℃の生田で、all-out 作業量が11,511 KPMであったが、その後22日間のトレーニングの結果、気温11.5±2.2℃のハイランドでは、6.3%の増加を示した。さらに20日間のトレーニング後、気温2.4±2.5℃の美鈴湖において行なわれたall-out 実験での作業量は、11,514 KPMとなり、生田での作業量と等しくなってしまった。美鈴湖におけるall-out 時の心拍数および換気量がそれぞれ186拍動/分および168ℓ/分で、生田での187拍動/分および171ℓ/分と全く変わっていないこと(表3)から、生理的には全く同一のall-out 状態に追いこんだものと思われる。それ故、作業量の減少は気温の低下に起因するものが大であると考えられる。

一方、ビタミンE+CおよびE服用群はともにハイランドにおいて、生田におけるより15~17%増(対照群の約3倍)の作業量を示した。さらに美鈴湖においてE+C群はハイランドより5.7%の増加を示した。E群はハイランドにおける値と同じであった。これらの結果は、明らかにビタミンE+CおよびE群の寒冷暴露時の全身持久運動能力には、P群とは有意に異なるものがあることを示したものである。

寒冷暴露に対するP群の作業量低下に起因すると考えられる最も重要な生理学的パラメータの一つは、生田と比較して美鈴湖で6.9%減少した体重当りの最大酸素摂取量であろう。前述の如く、三実験地におけるall-out 時の換気量には差が見られなかったため、これは8.6%減少した酸素摂取率(表3)の低下に基づくものである。かかる有酸素的能率減少はビタミンE+CおよびE群には見られなかったため、作業量の変化とともに、実験群は同剤服用によって、対照群より有酸素的運動能力が有意により大きく向上したものと推測される。

P群が美鈴湖においても、生田における水準の作業量を維持できた原因として、一つにはその間42日にわたって、E+CおよびE群と同じトレ

ーニングを積んで来たことと、もう一つにはall-outの判定が被験者の主観によるという実験手続上の問題から、生田およびハイランドでの実験結果を意識したことが考えられる。すなわち無酸素的の反応の関与が大きかったことが予想されるが、その事実は図2に見られる運動直後のP群の血中乳酸量の増加に明らかである。

運動時に血中乳酸量は、有酸素的運動能力を反映すると同時に、脂肪代謝に影響を与える¹⁸⁾。すなわち、Issekutzら¹¹⁾は運動時の血中乳酸量と遊離脂肪酸(FFA)の間には負の相関があり、有酸素的運動能力 aerobic work capacity の高い場合には、持久運動中血中FFAの高いレベルが長く保持され、運動筋へエネルギー源を十分に供給することができるので、効率の悪い無気的の反応への移行、すなわち血中乳酸の上昇が少ないとしている。本実験での血中乳酸(図2)と血中FFA(図3)の消長との間にも、負の相関が見られ、P群は生田、ハイランド、美鈴湖と寒冷暴露の強さがますます血中FFAも直線的に減少した。しかるに、ビタミンE+C群のFFAの減少は極めて少なく、有酸素的運動能力のレベルの高さがうかがわれる。

以上の結果はいずれも、ビタミンE+CおよびEが寒冷暴露に対する全身持久運動の際の有酸素的能力に有効に作用して、作業量を増加させる働きのあることを支持するものである。

Singh²⁰⁾は、高地においてビタミンE需要量が増加すること、およびビタミンEは呼吸鎖において酸素の輸送に関与していることから、高地における身体効率を助長する手段としてビタミンEの効用を示唆している。しかし、Weiserら²⁴⁾は、Singhによって示唆されたビタミンE需要量増加は、高地における低酸素 hypoxia によるものではなく、寒冷暴露に起因するものであることを明らかにしている。P群の安静時血中ビタミンEは、寒冷とともに直線的に減少しているのに対して(図4)、ビタミンE+CおよびE群はハイランドにおいて20~50%の増加を示した。しかし、美鈴湖においては、P群より有意に高かったとはいえ、やはり減少したことは、寒冷暴露によるビタミンE需要量増加を支持するものである。

ビタミンEが有酸素的運動能力を高める¹⁷⁾¹⁵⁾ 7) 機序については現在まだ詳らかではないが、1) 生体内で脂質の酸化を防ぎ、2) チトクローム電子伝達系におけるHイオン運搬体としての働きを持つことから(図5)、さきに示された有気的作業量の増加に、ビタミンEが有効に働いたものと考えられる⁴⁾。

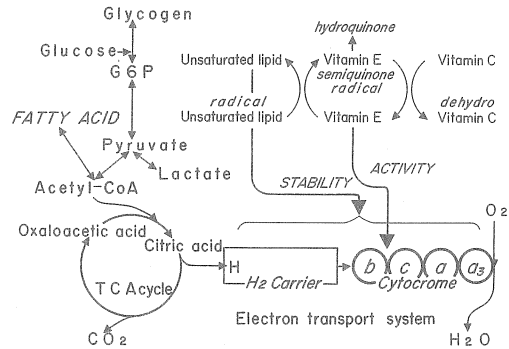


Fig. 5. Schematic diagram of a possible mechanism of vitamin E for the development of aerobic performance.

なお、作業量(図1)、血中FFA(図3)などからビタミンCを添加した場合のより有効性が示唆されるのが、本実験全体の結果からは断定出来ない。

以上、ビタミンE+CおよびEの長期服用により、寒冷環境下における有酸素的運動能力が改善されると考えてよい。

総括

(1) 寒冷環境下における有酸素的運動能力及びビタミンEおよびビタミンE+Cの効果を検討した。

(2) 被検者として専修大学スピード・スケート部員男子24名を用い、そのうち10名にビタミンEを1日300mg(E群)、10名にビタミンE300mg/日とビタミンC600mg/日(E+C群)および4名にプラセボ(P群)を与えた。投薬期間は1969年11月14日から12月21日までであった。

(3) 実験は、11月11~13日に生田(神奈川県, 気温16.7±1.5℃)、12月2~4日に

富士急ハイランド(山梨県, 気温 $1.5 \pm 2.2^\circ\text{C}$) および12月22~24日に美鈴湖(長野県, 気温 $2.4 \pm 2.5^\circ\text{C}$)において, 自転車エルゴメータによる all-out riding を行なわせ, 心拍数, 換気量, 酸素摂取量, 血中乳酸・FFA・ビタミンEおよび尿中蛋白・糖・ケトン体・pH・潜血の測定を行なった。

(4) E+CおよびE群の作業量は, 生田に比較してハイランドで14.8および17.1%増加し, 前者はさらに美鈴湖で5.7%増加した。しかし, P群はハイランドで6.3%しか増加を示さず, 美鈴湖においては生田のレベルに戻ってしまった。

(5) P群は美鈴湖において, 体重当り最大酸素摂取量が6.9%, all-out時の酸素摂取率が8.6%減少した。同時に運動直後の血中FFAの減少と血中乳酸の増加が著しかった。

(6) 血中ビタミンEの安静値は, P群において寒冷とともに直線的に減少した。

(7) 以上の結果および文献所見から, ビタミンEが, 生体の有酸素の反応に働いて, 全身持久運動能力の改善をもたらすことを考察した。

なお, 本稿の要旨は第24回日本体力医学会総会(1970.10)において発表した。

終りに臨み, 寒冷という悪条件にもかかわらず, 積極的に実験に協力して下さった専修大学スケート部一同, および薬の提供ならびに研究にひとかたならぬ援助を賜ったエーザイ株式会社に感謝する次第である。

文 献

- 1) Andersen, K.L., J.S.Hart, H.T.Hammel, and H.B.Sabeau. Metabolic and thermal responses of Eskimos during muscular exertion in the cold. *J. Appl. Physiol.* 18: 613-618, 1963.
- 2) 青木純一郎, 喜多 弘, 長和達雄, 前嶋 孝, 帖佐寛章, 北 均, 北川 駿. 高地における持久性制限因子の生理学的研究, *体力科学* 16: 学 133, 1967.
- 3) 青木純一郎, 清水達雄, 前嶋 孝. 陸上競技長距離選手の合宿練習効果に対する補助手段としてのビタミンE・C複合剤の効用について. *順天堂大学保健体育紀要* 第12号: 14-19, 1969.

- 4) 青木純一郎. ビタミンEは運動能力を高めるか. *保健の科学* 12: 415-417, 1970.
- 5) Arnett, E.L., and D.T. Watts. Catecholamine excretion in men exposed to cold. *J. Appl. Physiol.* 15: 499-500, 1960.
- 6) 朝比奈一男. 運動と環境. *生理学大系IX 適応協関の生理学*, 吉村寿人, 高木健太郎, 猪飼道夫編 東京: 医学書院, 1970, P.976.
- 7) Böhlau, V. and E. Böhlau. Clinical investigations on the efficiency of the body under the influence of vitamin E. In: *International symposium on vitamin E, recent advance in physiology and clinical use.* Sept., 1970.
- 8) Ekblom, B. Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta physiol. scand. Suppl.* 328, 1-45, 1969.
- 9) Gollnick, P.D. and D.W.King. Energy release in the muscle cell. *Med. & Sci. in Sports* 1: 23-31, 1969.
- 10) Hanson, P. G. and R.E. Johnson. Variation of plasma ketones and free fatty acids during acute cold exposure in man. *J. Appl. Physiol.* 20: 56-60, 1965.
- 11) Issekutz, B., Jr., H.I. Miller, P. Paul, and K. Rodahl. Aerobic work capacity and plasma FFA turnover. *J. Appl. Physiol.* 20: 293-296, 1965.
- 12) Kaijser, L. Limiting factors for aerobic muscle performance. *Acta physiol. scand. Suppl.* 346, 1-96, 1970.
- 13) Keul, J., E. Doll, and D. Keppler. The substrate supply of the human skeletal muscle at rest, during and after work. *Experientia.* 23: 974-979, 1967.
- 14) Knuttgen, H. G. Physical working capacity and physical performance. *Med. & Sci. in Sports* 1: 1-8, 1969.

- 15) 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 第10号:25-32, 1967.
- 16) Nöcker, J. Physiologie der Leibesübungen. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1964, P. 317.
- 17) Prokop, L. Die Wirkung von natürlichem Vitamin E auf Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffschuld. Sportärztliche Praxis März:19-23, 1960.
- 18) Rodahl, K., H. I. Miller, and B. Issekutz, Jr. Plasma free fatty acids in exercise. J. Appl. Physiol. 19:489-492, 1964.
- 19) Saltin, B. Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. Acta physiol. scand. 62:Suppl.230, 1-52, 1964.
- 20) Singh, I. Medical problems during acclimatisation to high altitude. In: The physiological effects of high altitude, edited by W.H. Weihe. Oxford: Pergamon Press, 1964, P. 334.
- 21) Stenberg, J. The significance of the central circulation for the aerobic work capacity under various conditions in young healthy persons. Acta physiol. scand. 68:Suppl. 273, 1-25, 1966.
- 22) Strømme, S., K.L. Andersen, and R.W. Elsner. Metabolic and thermal responses to muscular exertion in the cold. J. Appl. Physiol. 18:756-763, 1963.
- 23) Tappel, A. L. Will antioxidant nutrients slow aging processes? Geriatrics 23(10):97-105, 1968.
- 24) Weiser, H. and W.H. Weihe. Effect of cold on the vitamin E requirement of rats. Nature. 215: 1512-1513, 1967.
- 25) 吉村寿人. ヒトの耐寒性. 日本生理誌 29, 673-678, 1967.