

長時間運動の作業能力に及ぼす 飲料摂取の効果

— 紅茶の摂取が長時間走の持続時間を延長できるか —

	財団法人北陸体力科学研究所	佐々木 弘 志
(共同研究者)	同	前 田 順 一
	同	碓 井 外 幸
	同	勝 木 道 夫
	金沢大学医療技術短期大学部	橋 羽 裕規男

Effect of Fluid Ingestion on the Performance of Prolonged Exercise —Can Tea Ingestion Improve the Performance of Prolonged Running?—

by

Hiroshi Sasaki, Junichi Maeda,
Sotoyuki Usui and Michio Katsuki
Hokuriku Institute of Wellness and Sports Science
Yukio Hashiba
*The School of Allied Medical Professions,
Kanazawa University*

ABSTRACT

In order to investigate the effect of sucrose or caffeine ingestion on the performance of prolonged running, five male middle and long distance runners attending senior high school carried out running on a treadmill at an intensity corresponding to individuals' 80% of $\dot{V}O_2\text{max}$ until they could not continue to run at the intensity. Sixty minutes before, immediately before and forty five minutes after onset of the exercise, subjects were given either placebo (Con.), placebo and sucrose (90g) (Su.), caffeine (420

mg) (Caf.) or sucrose (90g) and caffeine (420mg) (Su.+Caf.) solution. Duration of the exercise become significantly longer in Su., Caf. and Su.+Caf. than in Con. The duration in four of five subjects was longest in Su.+Caf., though it was not significantly different from Su. and Caf. During exercise, plasma glucose and CHO combustion were higher in Su. than in Con. Plasma free fatty acid (FFA) and fat combustion were higher in Caf. than in Con. but they were not significantly different between two trials. Plasma glucose and lactate were higher in Su.+Caf. than in Con., while plasma FFA and CHO and fat combustion in Su.+Caf. were same as those in Con. In conclusion, ingestion of sucrose, caffeine or sucrose and caffeine solution was effective to improve the performance of prolonged running carried out at 80% $\dot{V}O_2$ max. It was suggested that ingestion of each solution altered way of supplying and using energy, which spared glycogen consumption in the working muscle.

要 旨

長時間走の成績に及ぼす蔗糖あるいは caffeine 溶液の摂取の効果を調べるために、高校生の陸上競技中長距離選手男子 5 名が、各自の 80% $\dot{V}O_2$ max に相当する速度でトレッドミル走を走行が不可能になるまで実施した。被検者は、運動前と運動 45 分とに placebo (Con.), placebo と蔗糖 (90g) (Su.), caffeine (420mg) (Caf.) および蔗糖 (90g) と caffeine (420mg) (Su.+Caf.) のいずれかを摂取した。

走行時間は、Con. よりもそれ以外の試行がいずれも有意に延長した。Con. 以外の試行間では有意差は認められなかったが、Su.+Caf. において 5 名中 4 名が最も延長した。運動時に、血糖および炭水化物 (CHO) 燃焼量は、Su. が Con. よりも有意に高かった。血漿遊離脂肪酸 (FFA) および脂肪 (Fat) 燃焼量は、Caf. が Con. よりも高かったが、その差は有意ではなかった。いっぽう、Su.+Caf. では、血糖および血漿乳酸 (LA) は Con. よりも有意に高く、血漿 FFA および

CHO と Fat 燃焼量は、Con. とほぼ等しかった。

以上の結果から、Su., Caf. および Su.+Caf における試験飲料摂取は、80% $\dot{V}O_2$ max で行う長時間走の成績向上に効果的であることが結論された。また、それぞれの試験飲料摂取は、運動に対するエネルギー供給の変化とそれに伴う基質利用の変化とを生じさせて、筋 glycogen 利用を節約させることが示唆された。

緒 言

長時間運動が筋 glycogen の枯渇によって制限を受けることは、よく知られている^{1,5,19,27)}。このために、長時間運動中に筋 glycogen を節約することができれば、その成績は向上するであろう。筋 glycogen の節約には、糖あるいは caffeine の摂取が考えられよう。前者は、体外からのエネルギー供給によって^{2,4,25,26)}、後者は、体内のエネルギー供給の変化、すなわち、脂肪供給の増大によって^{11,13,20)}、それぞれ筋 glycogen を節約して長時間運動の成績を向上させようとするものである。

しかし、長時間運動の成績向上のために糖あるいは caffeine 溶液の摂取を試みた研究は、自転車運動に関するものがほとんどで^{6,11,12,14,16,20}、それらのあるものは、両溶液による成績向上の効果を認めた^{6,11,12,20}。しかし、走運動に関するものはわずかで²⁹、それは、両溶液による成績向上の効果を認めなかった²⁹。また、上述の研究は、運動強度が65~80% $\dot{V}O_2\text{max}$ において両溶液による成績向上の効果を認めたが^{6,11,12,20}、運動強度が65% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以下においてその効果を認めなかった^{14,29}。走は、自転車よりも運動に参加する筋量が多いために、筋 glycogen の枯渇が起こりにくいであろう^{8,9,21}。このために、糖あるいは caffeine 摂取の効果は、走運動では自転車運動よりも小さいことが考えられる²⁹。また、低強度運動は、高強度運動よりも脂肪利用の割合が大きいために²²、これを糖で代用しても、必要以上に脂肪供給を増大しても筋 glycogen の節約は起こりにくいであろう²⁹。このために、糖あるいは caffeine 摂取の効果は、低強度運動では高強度運動よりも小さいことが考えられる²⁹。

しかし、もし、長時間運動において筋 glycogen が決定的制限因子となる強度²⁷で運動が行われたならば、糖あるいは caffeine の摂取は、走運動の成績向上にも効果的かもしれない。

いっぽう、糖あるいは caffeine 摂取の場合、前者は、脂肪分解を減少させて^{2,10,16}、後者は、脂肪分解のみならず糖原分解をも増大させるかもしれない^{23,29}。もし、糖と caffeine とが同時に摂取されて両者の効果が同時に出現したならば、長時間運動における筋 glycogen の節約は、糖あるいは caffeine のみを摂取したときよりも容易に起こり、その成績向上により効果的かもしれない。

本研究の目的は、上述の2つの仮説を実証することであった。このために、本研究では、紅茶がその生体に及ぼす影響と飲み慣れていることから最適と考え、これを実験で用いた。

実験方法

被検者：本研究では、高校生の陸上競技中長距離選手男子5名を被検者に用いた。彼らの身体的特徴を表1に示す。なお、被検者とその父兄は、本研究の目的と実験内容を理解したうえで被検者になることを承諾した。

実験手順：本研究では、あらかじめ被検者に対してトレッドミルによる負荷漸増運動を疲労困憊まで行わせ、このときの酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を測定して、各自の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) および走速度と% $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係式を得た。

表1 Physical characteristics and age of the subjects.

Subject	Age (yr)	Stature (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2\text{max}$	
				($l \cdot \text{min}^{-1}$)	($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
T.H.	16	181.1	64.10	3.974	62.0
K.O.	16	168.0	52.15	3.520	67.5
H.I.	15	177.5	65.85	4.087	62.1
T.U.	15	169.7	53.25	3.040	57.1
K.G.	16	163.4	53.00	3.438	64.9
mean	15.6	171.9	57.67	3.612	62.7
SE	0.2	2.9	2.68	0.170	1.6

$\dot{V}O_2\text{max}$: maximal oxygen intake

長時間運動の実験では、まず、被検者を食後約 8 時間経た後に実験室に入室させた。その後、椅座位にて 60 分間の安静を保たせ、安静開始時（-60 分）に、被検者に対して第 1 回目の採血を行ってから試験飲料を経口摂取させた。安静終了の 15 分前（-15 分）に、被検者に対して呼気分析用のマスクを装着して安静時の $\dot{V}O_2$ を測定した。その後、第 2 回目の採血を行ってから再び試験飲料を摂取させた。被検者がこの第二回目の試験飲料摂取を終了したときに、60 分間の安静が終了するようにした（0 分）。

安静終了後直ちに、被検者に対して各自の $\dot{V}O_{2max}$ の 80% に相当すると推定された速度で 45 分間のトレッドミル走を行わせ、その後、5 分間の休息を経て再び上述の速度で運動継続が不可能になるまでトレッドミル走を行わせた。本研究では、運動継続が不可能になった時点を走速度低下点として、被検者の運動を終了した。

本研究では、運動開始から終了までを計時した。運動の 5, 15, 30, 45, 60 分……に、走速度および $\dot{V}O_2$ を測定した。走行間の 5 分間の休息時（45~50 分）に、被検者に対して第 3 回目の採血を行ってから三たび試験飲料を摂取させた。そして、被検者が運動を終了した直後に、最終（第 4 回目）の採血を行った。ただし、実験中に 45 分間の走行が不可能であった被検者については、その運動終了直後に、最終（第 3 回目）の採血を行った。なお、本実験は夏期に行ったために、実験中は冷房によって室温を 22~23°C に保ち、走行中は扇風機によって送風を行い、被検者を暑さによる疲労困憊から防いだ。

試験飲料摂取：本研究では、4 種類の試験飲料摂取を試みた。このために、被検者に対して上述の実験を約 1 週間間隔で 4 回実施した。その 4 種類の試行とは、Control (Con.), Sucrose (Su.), Caffeine (Caf.) および Sucrose + Caffeine (Su. + Caf.) であった。Con. では、-60, 0 および 45 分

に被検者に対してサッカリン (0.1g), レモンフレーバー (1.3g), およびクエン酸 (0.3g) を溶解した試験飲料 (placebo) をそれぞれ摂取させた。Su. では、-60 分に placebo を、0 および 45 分に placebo に蔗糖 45g を溶解した試験飲料をそれぞれ摂取させた。Caf. では、-60 分に placebo に caffeine 300mg を含むように粉末 (インスタント) 紅茶を溶解した試験飲料 (placebo + Caf. 300mg) を、0 および 45 分に placebo に caffeine 60mg を含むように粉末 (インスタント) 紅茶を溶解した試験飲料 (placebo + Caf. 60mg) をそれぞれ摂取させた。そして、Su. + Caf. では、-60 分に placebo + Caf. 300mg 試験飲料を、0 および 45 分に placebo + Caf. 60mg に蔗糖 45g を溶解した試験飲料をそれぞれ摂取させた。本研究では、-60, 0 および 45 分に上述の成分をそれぞれ 200, 250 および 250ml の水に溶解し (図 2), 被検者が摂取するまで 5~10°C に冷却して保存した。なお、本研究では、caffeine の効果が現れるのに約 60 分を必要とするため³⁾ に、-60 分に caffeine 溶液を摂取させた。また、運動 30 分前の糖溶液の摂取が持久的運動の成績を低下させるために¹⁶⁾、-60 分に蔗糖溶液の摂取を避けた。本研究では、被検者によって試行の順番をすべて変え、被検者にいかなる試行を行っているか知らせなかった。

分析： $\dot{V}O_2$ と二酸化炭素排泄量 ($\dot{V}CO_2$) は、ショランダー微量ガス分析器によって校正した自動代謝分析計 (AIC K.K. 製) を用いて測定し、呼吸交換比 (RER), エネルギー消費量および炭水化物 (CHO), 脂肪 (Fat) 燃焼量を算出した。血液は、glucose, 乳酸 (LA) および遊離脂肪酸 (FFA) についてそれぞれ市販のキット (Glucose B test Wako, 和光純薬 K.K. 製, デタミナー LA および NEFA 共和メディックス K.K. 製) を用いて分析した。

統計：本文、表および図中の値は、4 試行中に

各測定項目について得た5名の被検者の平均±標準誤差(SE)である。各値の試行間の差の有意性は、Studentのtテストを用いて検定した。

実験結果

本研究の被検者の $\dot{V}O_2\max$ は、 $62.7 \pm 1.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であり(表1)、 $80\% \dot{V}O_2\max$ に相当する走速度は、 $233 \pm 4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ と算出された。

本研究の長時間走の走行時間は、Con., Su., Caf. および Su.+Caf. においてそれぞれ39分45秒±5分04秒、58分29秒±6分54秒、53分32秒±4分09秒および56分58秒±5分00秒であった。走行時間は、Con. とそれ以外の試行との間に有意な差が認められたが、Con. 以外の試行間に有意な差が認められなかった(図1)。しかし、Su. および Caf. において走行時間が最も延長した被検者は、両試行とも5名中1名であり、Su.+Caf. において走行時間が最も延長した被検者は、5名中4名であった。

$\dot{V}O_2$ は、運動中に試行間で有意な差はなく、概ね $2.75 \sim 3.0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ の範囲にあった(図2)。これは、 $\dot{V}O_2\max$ の76~83%に相当した。安静時のRERは、caffeineを摂取したCaf. および Su.+Caf. が0分にCon. および Su. よりも有意に低かった。運動時のRERは、Su. が最も高く、以下Con., Su.+Caf. および Caf. の順に低下した。Su. とそれ以外の試行との間に有意な差が認められた(図3)。 $\dot{V}O_2$ とRERから算出した

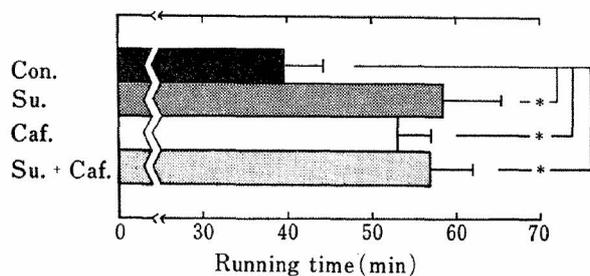


図1 Running performance in control (Con.), sucrose (Su.), caffeine (Caf.) or sucrose and caffeine (Su.+Caf.) trials. Significant difference between Con. and the other trials: * $p < 0.05$

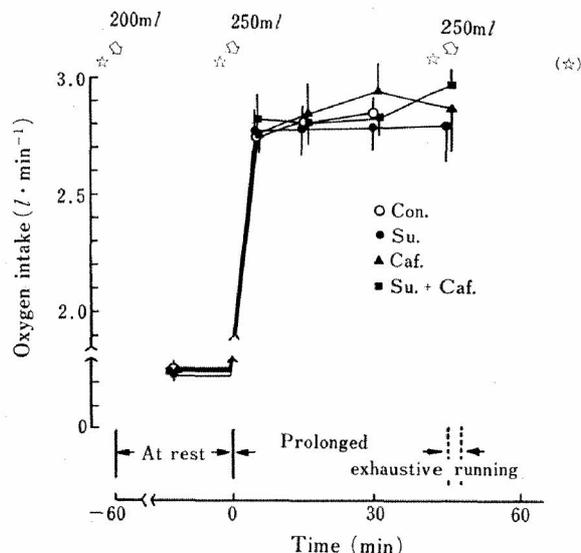


図2 Experimental protocol and oxygen intake in control (Con.), sucrose (Su.), caffeine (Caf.) or sucrose and caffeine (Su.+Caf.) trials. ⇨ : fluid ingestion, ☆ : blood sampling, (☆) : blood sampling immediately after exercise.

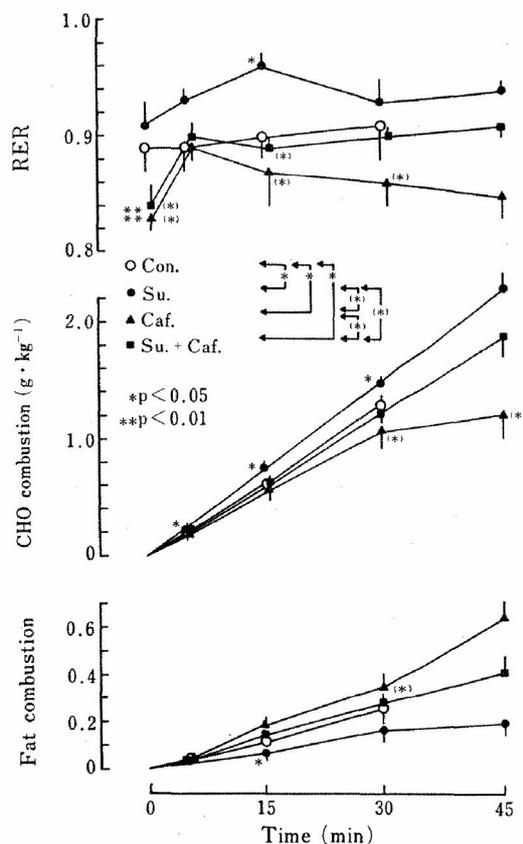


図3 Respiratory exchange ratio (RER), carbohydrate (CHO) and fat combustion in control (Con.), sucrose (Su.), caffeine (Caf.) or sucrose and caffeine (Su.+Caf.) trials. Significant difference between Con. and the other trials: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Significant difference between Su., Caf. and Su.+Caf. trials: (*) $p < 0.05$.

CHO 燃焼量は, Su. が最も多く, 以下 Con., Su.+Caf. および Caf. の順に減少した. Su. と Con. および Su. と Caf. の間に有意な差が認められた. 同様に算出した Fat 燃焼量は, Caf. が最も多く, 以下 Su.+Caf., Con. および Su. の順に減少した. Con. と Su. および Caf. と Su. の間に有意な差が認められた. 運動中の RER, CHO および Fat 燃焼量は, Con. と Su.+Caf. がほぼ等しく, Su. と Caf. との中間に位置した (図 3).

運動時の体重 1kg, 走行距離 1km 当りのエネルギー消費量, CHO および Fat 燃焼量は, 表 2 の通りであった. このエネルギー消費量は, 4 試行ともほぼ等しく, 走の効率に試験飲料の影響を受けなかった. しかし, これらの基質利用は, Su. では CHO 燃焼量が増加し Fat 燃焼量が減少した. これに対して, Caf. では前者が減少し後者が増加した. いっぽう, Su.+Caf. では, 両方が Con. とほぼ等しかった.

本研究では, 各試行において, 45分間の走行が不可能であった被検者の運動終了直後の採血の結果と, 45分間の走行が可能であった被検者の45分の採血の結果とをあわせて処理した.

血漿 glucose は, -60から0分間に試行間で有意な差はなかった. 血漿 glucose は, 45分すべての試行において増加し, その増加は, Su.+

Caf. が最も大きく, 以下 Su., Caf. および Con. の順に低下した. Su.+Caf. とそれ以外の試行および Su. と Con. の間に有意な差が認められた (図 4). 血漿 LA は, -60分に試行間で有意な差はなかったが, 0分に caffeine を摂取した Caf. および Su.+Caf. が Con. よりも有意に高か

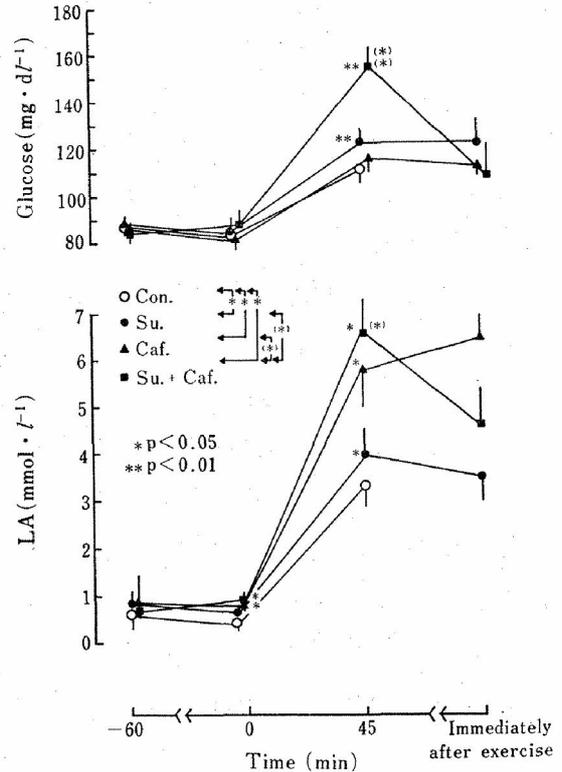


図 4 Plasma glucose and lactic acid (LA) responses in control (Con.), sucrose (Su.), caffeine (Caf.) or sucrose and caffeine (Su.+Caf.) trials. Significant difference between Con. and the other trials: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. Significant difference between Su., Caf. and Su.+Caf. trials: (*) $p < 0.05$.

表 2 Energy expenditure and substrate utilization calculated from respiratory exchange ratio and oxygen intake in control (Con.), sucrose (Su.), caffeine (Caf.) and sucrose and caffeine (Su.+Caf.) trials.

	Energy expenditure (kcal · kg ⁻¹ · km ⁻¹)	Combustion of	
		Carbohydrate (mg · kg ⁻¹ · km ⁻¹)	Fat (mg · kg ⁻¹ · km ⁻¹)
Con.	1.08 ± 0.02	193 ± 23	40 ± 12
Su.	1.05 ± 0.01	203 ± 12	26 ± 5
Caf.	1.05 ± 0.01	137 ± 18	71 ± 15
Su.+Caf.	1.08 ± 0.02	182 ± 13	39 ± 4

Significant difference between trials: * $p < 0.05$

った。血漿 LA は、45分にすべての試行において増加し、その増加は Su.+Caf. が最も大きく、以下 Caf., Su. および Con. の順に低下した。Con. とそれ以外の試行および Su. と Su.+Caf. の間に有意な差が認められた (図 4)。

血漿 FFA は、-60から 0 分の間に試行間で有意な差はなかったが、caffeine を摂取した Caf. および Su.+Caf. がこの間に有意に増加した。血漿 FFA は、45分にすべての試行において増加し、その増加は、Caf. が最も大きく、以下 Con., Su.+Caf. および Su. の順に低下した。Con. と Su. および Su. と Caf. の間に有意な差が認められた (図 5)。

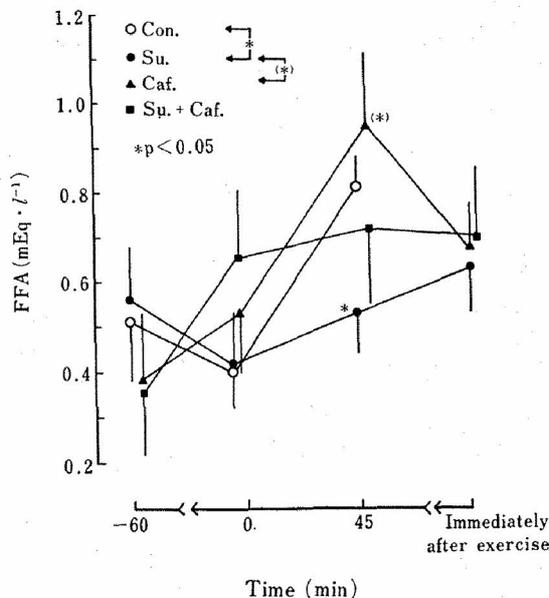


図 5 Plasma free fatty acid (FFA) response in control (Con.), sucrose (Su.), caffeine (Caf.) or sucrose and caffeine (Su.+Caf.) trials. Significant difference between Con. and the other trials: * $p < 0.05$. Significance difference between Su., Caf. and Su.+Caf. trials: (*) $p < 0.05$.

考 察

本研究の被検者の $\dot{V}O_2\max$ は、小林²⁴⁾による Excellent (秀れている) に属し、豊岡³²⁾による大学生の陸上競技中長距離男子選手の値よりも低かった。

本研究の第一の知見は、本研究の蔗糖および

caffeine 摂取によって、約 80% $\dot{V}O_2\max$ で行った長時間走の成績が向上したことである。

糖溶液の場合、長時間の自転車運動中にその摂取を試みた研究は、運動強度が 65~80% $\dot{V}O_2\max$ のときに成績の向上を認めたが^{6,11,12,17)}、運動強度が 65% $\dot{V}O_2\max$ 以下のときにその向上を認めなかった¹⁴⁾。また、運動 30 分前にその摂取を試みた研究は、運動強度が 80% $\dot{V}O_2\max$ のときに成績の低下を認めた¹⁶⁾。長時間の走運動の直前と運動中とにその摂取を試みた研究は、運動強度が 60% $\dot{V}O_2\max$ で 2 時間継続された後に、80% および 90% $\dot{V}O_2\max$ に連続的に増加されたときに成績の向上を認めなかった²⁰⁾。

Caffeine 溶液の場合、長時間の自転車運動の 60 分前と運動中とにその摂取を試みた研究は、運動強度が 65~80% $\dot{V}O_2\max$ のときに成績の向上を認めた^{11,20)}。長時間の走運動の直前と運動中とにその摂取を試みた研究は、運動強度が上述の糖溶液の場合と同様にして負荷されたときに、成績の向上を認めなかった²⁰⁾。

いっぽう、糖と caffeine 溶液の場合、長時間の走運動においてその摂取を試みた研究は、成績について調べなかった¹⁷⁾。

上述の研究は、糖あるいは caffeine 溶液を摂取する場合に、運動種目が走ではなく自転車であること、運動強度が 65~80% $\dot{V}O_2\max$ であること、および溶液摂取が糖の場合には運動中、caffeine の場合には運動 60 分前に行うこと、の条件が整って初めて長時間運動の成績向上に効果的であることを示唆するものであろう。しかし、本研究は、長時間運動において筋 glycogen が決定的な制限因子となる強度 (75~80% $\dot{V}O_2\max$)²⁷⁾ で運動が行われたならば、糖あるいは caffeine 溶液の摂取が走運動の成績向上にも効果的であることを実証するものである。

いっぽう、本研究は蔗糖と caffeine との摂取 (Su.+Caf.) が長時間走の成績向上に効果的であ

ることを実証した。しかし、この摂取方法が蔗糖あるいは caffeine のみの単独摂取よりも成績向上に効果的であることを実証できなかった。

本研究では、運動の終了時点の判定を走速度の減少によって決定した。筋 glycogen の枯渇は、長時間の自転車運動においてよく認められるが^{5,19,27)}、走運動においてほとんど認められない^{8,9,21)} ために、本研究の走速度の減少は、筋 glycogen の枯渇によるものではないであろう。

Coyle ら¹²⁾ は、長時間の自転車運動中に疲労のために初めの運動強度から10% $\dot{V}O_2$ max 強度が減少した時点をも fatigue point として捉えた。Sherman ら^{30,31)} は、マラソン競技中の 27~32km 地点から split time が遅くなることを認めた。本研究の走速度減少点は、前者の fatigue point、後者の 27~32km 地点に相当するであろう。本研究は、この時点で何が起こったかを明らかにするものではない。しかし、エネルギー生成速度の減少は、この時点の仕事率の低下を説明する原因の一つとして重要であろう。そして、そのエネルギー生成速度の減少には、走運動においてもよく認められる筋 glycogen の選択的枯渇の現象^{8,9,18)} が関係しているかもしれない。活動筋において ST および FTa 線維に glycogen の枯渇が起こると、両線維はエネルギー供給のほとんどを血液からの glucose および脂肪酸に依存するか、あるいは、FTb 線維の動員が生じるかと思われる¹⁸⁾。前者の場合、エネルギー、生成速度は筋 glycogen が存在した時よりも遅くなるであろう。後者の場合、この線維に好氣的代謝に関与する酵素が少ないために²⁸⁾、エネルギー生成速度は、ST、FTa 線維よりも遅くなるかもしれない。したがって、本研究の走速度の減少は、その原因の一つが筋 glycogen の選択的枯渇によるものであり、本研究の Con. 以外の試験飲料摂取はいずれの場合もこれを延滞させたものである。

本研究の第二の知見は、本研究の蔗糖および caffeine 摂取によって、約80% $\dot{V}O_2$ max の強度で行った長時間走に対する基質供給の変化と、それに伴う基質利用の変化が生じたことである。

糖溶液の場合、本研究の Su. における血漿 glucose, FFA および RER の結果は、すべて従来の結果^{2,4,6,10,12,14,20,24,26,29)} と一致した。これは、本研究の蔗糖摂取が、運動に対する糖質供給の増大とそれに伴う糖質利用の増大を生じさせたことを示すものであろう。Benadé ら⁴⁾ は、50% $\dot{V}O_2$ max の長時間自転車運動中に経口摂取した蔗糖 100g が、摂取後10分で利用されたことを認め、糖質利用がピークに達したときに、その44%を摂取した蔗糖が占めたことを認めた。本研究の Su. における運動 5~15分の RER の急激な増加は、活動筋における蔗糖利用の開始とそれに伴う糖利用の増大とを示すものであろう。したがって、Su. の蔗糖利用は、体内の糖利用を減少させたものと思われる。

Caffeine 摂取の場合、長時間運動の条件にかかわらず血中 FFA の増加は増大するが^{11,13,20,29)}、RER は運動種目が強度によって異なるかもしれない。RER は、自転車運動を 65~80% $\dot{V}O_2$ max で行ったときに他よりも低下したが^{11,13,20)}、走運動を60~75% $\dot{V}O_2$ max で行ったときに他よりも低下しなかった^{7,23,29)}。また、糖原分解は、その摂取量によって異なるかもしれない²⁹⁾。血中 LA は、caffeine を 250~500mg 摂取したときに他と同一かやや減少したが、caffeine を 800mg 摂取したときに他よりも増加した²⁹⁾。本研究の Caf. における血漿 FFA の結果は従来の結果^{11,13,20,29)} と一致したが、RER の結果は自転車運動の結果^{11,13,20)} と一致し、そして血漿 LA の結果は 800 mg の caffeine を摂取したときの結果と一致した。これは、本研究の caffeine 摂取が運動に対する脂肪供給の増大とそれに伴う脂肪利用の増大とを生じさせたことを示すものであろう。したが

って、Caf. の脂肪利用の増大は、体内の糖利用を減少させたものと思われる。しかし、この caffeine による脂肪利用の増大は、Van Handel³⁹⁾ が指摘するように、ヘパリンの効果¹⁰⁾よりも少ないものであった。

いっぽう、糖と caffeine 溶液の場合、Giles と Maclaren¹⁷⁾ は、65% $\dot{V}O_2$ max の 2 時間走に対して本研究とほぼ同一の方法で糖および caffeine の摂取を試みた。その結果、血中 glucose, LA および FFA の増加は、糖+caffeine 摂取が placebo 摂取よりも増大したが、糖あるいは caffeine のみを摂取したときほど増大しなかった。そして、RER は、糖+caffeine 摂取と placebo 摂取とでほぼ等しかった。本研究の Su.+Caf. における血漿 glucose と LA は、4 試行中最も高く、これらの結果は Giles と Maclaren¹⁷⁾ の結果と異なったが、血漿 FFA と RER の結果は彼ら¹⁷⁾ と一致した。これは、本研究の蔗糖と caffeine の摂取が、糖原分解の促進および脂肪分解の維持によって運動に対する基質供給を変化させたにもかかわらず、糖と脂肪の利用度を変化させなかったことを示すであろう。しかし、このときの糖利用の一部を蔗糖が供給したことは十分に考えられる。したがって、本研究の Su.+Caf. の蔗糖利用と減少しなかった脂肪利用は、体内の糖利用を減少させたものと思われる。

本研究では、試験飲料の種類によってエネルギーの供給と利用の様式は異なったが、いずれの場合も glycogen 利用の節約が生じて、その選択的枯渇の遅延が生じたものと思われる。

このときの Su.+Caf. が他よりも glycogen の節約とそれに伴う成績向上に効果的であることは実証できなかった。しかし、Su. の場合、脂肪の動員と利用の減少は、もし蔗糖摂取量が不足したならば glycogen 利用を逆に増大させる可能性を示唆する¹⁵⁾。Caf. の場合、脂肪利用のわずかな増大は、glycogen の節約がわずかであったこと

を示唆する。このために、caffeine による成績向上には、caffeine の物質代謝に及ぼす効果のみならず神経・筋に及ぼす効果³⁸⁾も考慮しなければならない。したがって、本研究では Su.+Caf. において glycogen がより容易に節約されたであろうと推察する。Su.+Caf. において 5 名中 4 名の成績が最も向上した知見は、この可能性を示唆するものかもしれない。

結 論

1. 蔗糖 (90g), caffeine (420mg) およびその両者を含む試験飲料の摂取は、80% $\dot{V}O_2$ max で行った長時間走の成績向上に効果的であることが結論された。
2. それぞれの試験飲料は、体外からのエネルギー供給、体内のエネルギー供給の改善およびその両者によって、それぞれ活動筋における基質利用を変化させて筋 glycogen 利用を節約させることが示唆された。

文 献

- 1) Ahlborg, B., J. Bergström, L.G. Ekelund, and E. Hultman; Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol. Scand.* **70** : 129—142 (1967)
- 2) Ahlborg, G., and P. Felig; Influence of glucose ingestion on fuel-hormone response during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* **41** : 683—688 (1976)
- 3) Axelrod, J., and J. Reichenenthal; The fate of caffeine in man and a method for its estimation in biochemical material. *J. Pharmacol. Experiment. Therapeut.* **107** : 519—523 (1953)
- 4) Benadé, A.J.S., C.R. Jansen, G.G. Rogers, C.H. Wyndham, and N.B. Strydom; The significance of an increased RQ after sucrose ingestion during prolonged aerobic exercise. *Pflügers Arch.* **342** : 199—206 (1973)
- 5) Bergström, J., and E. Hultman; A study of the glycogen metabolism during exercise in man.

- Scand. J. Clin. Lab. Invest.* **19** : 218—228 (1967)
- 6) Brooke, J.D., G.J. Davies, and L.F. Green; The effects of normal and glucose syrup work diets on the performance of racing cyclists. *J. Sports Med.*, **15** : 257—265 (1975)
 - 7) Casal, D.C., and A.S. Leon; Failure of caffeine to affect substrate utilization during prolonged running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **17** : 174—179 (1985)
 - 8) Costill, D.L., P.D. Gollnick, E.D. Jansson, B. Saltin, and E.M. Stein; Glycogen depletion pattern in human muscle fibers during distance running. *Acta. Physiol. Scand.*, **89** : 374—383 (1973)
 - 9) Costill, D.L., E. Jansson, P.D. Gollnick, and B. Saltin; Glycogen utilization in leg muscle of men during level and uphill running. *Acta. Physiol. Scand.*, **91** : 475—481 (1974)
 - 10) Costill, D.L., E. Coyle, G. Dalsky, W. Evans, W. Fink, and D. Hoopers; Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **43** : 695—699 (1977)
 - 11) Costill, D.L., G.P. Dalsky, and W.J. Fink; Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med. Sci. Sports*, **10** : 155—158 (1978)
 - 12) Coyle, E.F., J.M. Hagberg, B.F. Hurley, W.H. Martin, A.A. Ehsani, and J.O. Holloszy; Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **55** : 230—235 (1983)
 - 13) Essig, D., D.L. Costill, and P.J. Van Handel; Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *Int. J. Sports Med.*, **1** : 86—90 (1980)
 - 14) Felig, P., A. Cherif, A. Minagawa, and J. Wahren; Hypoglycemia during prolonged exercise in normal men. *N. Engl. J. Med.*, **306** : 895—900 (1982)
 - 15) Fielding, R.A., D.L. Costill, W.J. Fink, D.S. King, M. Hargreaves, and J.E. Kovaleski; Effect of carbohydrate feeding frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **17** : 472—476 (1985)
 - 16) Foster, C., D.L. Costill, and W.J. Fink; Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports*, **11** : 1—5 (1979)
 - 17) Giles, D., D. Maclaren; Effects of caffeine and glucose ingestion on metabolic and respiratory functions during prolonged exercise. *J. Sports Sci.*, **2** : 35—46 (1984)
 - 18) Gollnick, P.D., K. Piehl, C.W. Saubert IV, R.B. Armstrong, and B. Saltin; Diet, exercise and glycogen changes in human muscle fibers. *J. Appl. Physiol.*, **33** : 421—425 (1972)
 - 19) Hermansen, L., E. Hultman, and B. Saltin; Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta. Physiol. Scand.*, **71** : 129—139 (1967)
 - 20) Ivy, J.L., D.L. Costill, W.J. Fink, and R.W. Lower; Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports*, **11** : 6—11 (1979)
 - 21) Karlsson, J., and B. Saltin; Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J. Appl. Physiol.*, **31** : 203—206 (1971)
 - 22) Keul, J., E. Doll, and D. Keppler; Energy metabolism of human muscle. In *Medicine and Sports Vol. 7*, Karger, Basel. New York. pp. 49—202 (1972)
 - 23) Knapik, J.J., B.H. Jones, M.M. Toner, W.L. Daniels, and W.J. Evans; Influence of caffeine on serum substrate changes during running in trained and untrained individuals. *Biochem. Exerc.*, **13** : 514—519 (1983)
 - 24) 小林寛道 ; 日本人のエアロビック・パワー, 杏林書院, 東京, pp. 258—275 (1982)
 - 25) Koivisto, V.A., M. Härkönen, S.L. Karonen, P.H. Groop, R. Elovainio, E. Ferrannini, L. Sacca, and R.A. Defronzo; Glycogen depletion during prolonged exercise: influence of glucose, fructose, or placebo. *J. Appl. Physiol.*, **58** : 731—737 (1985)
 - 26) Pirnay, F., M. Lacroix, F. Mosora, A. Luyckx, and P. Lefebvre; Effect of glucose ingestion on energy substrate utilization during prolonged muscular exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **36** : 247—254 (1977)
 - 27) Saltin, B., and J. Karlsson; Muscle glycogen

- utilization during work in different intensities. Muscle metabolism during exercise, Pernow, B., and B. Saltin (Eds.). Plenum Press, New York, pp. 289—299 (1971)
- 28) Saltin, B., J. Henriksson, E. Nygaard, and P. Andersen; Fiber type and metabolic properties of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **301** : 3—29 (1977)
- 29) Sasaki, H., I. Takaoka, and T. Ishiko; The effects of ingesting sucrose and caffeine solutions on biochemical responses and endurance performance of prolonged exercise. *Biomechanics-Kinanthrometry and Sports Medicine, Exercise Science, Scientific Program Abstracts, 1984 Olympic Scientific Congress*, pp. 91—92 (1984)
- 30) Sherman, W.M., D.L. Costill, W.J. Fink, E.C. Hagerman, L.E. Armstrong, and T.F. Murray; Effect of a 42.2-km footrace and subsequent rest or exercise on muscle glycogen and enzymes. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **55** : 1219—1224 (1983)
- 31) Sherman, W.M., L.E. Armstrong, T.M. Murray, F.C. Hagerman, D.L. Costill, R.C. Staron and J.L. Ivy; Effect of a 42.2-km footrace and subsequent rest or exercise on muscular strength and work capacity. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **57** : 1668—1673 (1984)
- 32) 豊岡示朗, 金子公宥; 長距離ランナーの縦断的記録推移と有酸素的パワー, 大阪体育大学紀要, **8** : 27—33 (1976)
- 33) Van Handel. Caffeine. Ergogenic aids in sports. Williams M.H. (Ed.) Human Kinetics Publishers, Illinois. pp. 128—263 (1983)