

運動直前に摂取する食物・食品成分の 運動能力に及ぼす影響

	琉球大学	杉浦正輝
(共同研究者)	同	桜井隆
	同	尾尻義彦
	同	新城澄枝
	同	山城径子

Effects of Diet Compositions Administered Before Exercise on Prolonged Running

by

Masateru Sugiura*, Takashi Sakurai**,
Yoshihiko Ojiri*, Sumie Shinjo**,
Michiko Yamashiro**

*Department of Physiology**

*Department of Nutrition***

*School of Health Sciences, Faculty of Medicine
University of the Ryukyus*

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of pre-exercise diet on the performance and metabolism on long distance runners.

The subjects took mixed or high carbohydrate diet for 3 days. Then they were subjected to eat newly prepared high protein or high carbohydrate diet just 3.5 hours before prolonged running after over night fasting.

Prolonged running were carried out on the treadmill at the speed of 65% or 80% of $\dot{V}O_2$ max. Oxygen uptake, CO_2 output and heart rate were measured. Performance time was also recorded. On the other hand, venous blood was sampled every 30 min for determination of glu-

cose, lactate, NEFA and hormones (catecholamines, cortisol, insulin).

1) Metabolic Response to Controlled Diet

The level of glucose was higher in case of high protein diet than the case of high carbohydrate diet at rest and during running. By raising work load, glucose increased significantly during initial 30 min particularly when high protein diet was administered. On the contrary, lactate was lower in case of high protein diet. The concentration of NEFA was higher in case of high protein diet and increased significantly by raising work load.

2) Hormonal Response to Controlled Diet

The level of catecholamines, cortisol and insulin showed significant response to the change of food constituents. The response was exaggerated by loading exercise and the high protein diet induced high catecholamine and high cortisol level as well as insulin. However, one subject (AI) showed completely different response. i.e. low catecholamine, cortisol and insulin levels by administration of high protein diet.

Performance was significantly affected in every case except for AI by administration of high protein diet, that is, they showed short performance time.

The results indicate that food constituents, particularly the constituent of diet taken just before exercise, have an important role in the efficiency of prolonged exercise.

ま え が き

すべての身体機能（運動能力も含まれる）は時々刻々変化する物質代謝の反映である。毎日摂取する食事の内容は、生体の物質代謝の特性を決定する最も重要な因子のひとつであるから、食事は当然、競技者の運動能力に大きな影響を及ぼすものである。

このような観点から、食事内容の変化に伴う運動能力の変化について多くの研究がなされており、食事が競技者の運動能力向上の有力な手段のひとつとして考えられている。実際に行われているのは、筋肉中のグリコゲン量を増加させるべく、食事を糖質中心の内容にする方法である。す

なわち、3日間程度高糖食を摂取させ、競技を行わせるのである^{1,2,7,9,12}。

本研究では、食事の運動能力に及ぼす影響を再検討する立場から、従来ほとんど注目されていなかった「運動直前の食事」の効果を評価することに主眼をおいた。すなわち、運動直前の食事内容を変え、食事内容が運動能力や物質代謝に及ぼす影響を観察し測定した。

研 究 方 法

1. 測定項目および測定時期

測定項目は、呼気ガス、心拍数、血糖、乳酸、遊離脂肪酸である。このほか、実験の経過中に測定の必要が痛感されたので、代謝調節の研究上重

要な2, 3のホルモンの測定を測定項目に追加した。

測定時期は学生を対象としたために、休暇を選ばざるを得なかった。すなわち、夏期休業の7月と秋期休業の10月を利用した。

2. 測定方法

(1) 呼吸ガス

運動前、運動中の呼吸を採集した。ダグラスバッグを乾式ガスメータ（品川製作所，PK-5 CF-T）に接続し，ガス量を測定した。その際，呼吸ガスサンプルの一部を呼吸ガスモニター（三栄測器 1H 2A型）に導入し， O_2 %と CO_2 %の分析を行った。なお使用前に，マイクロシヨランダール法で濃度を補正した標準ガスを用いて呼吸ガスモニターを校正した。

(2) 心拍数

胸部双極誘導 ECG の記録から計算した。

(3) 血糖，乳酸，NEFA

運動前，運動中に，正肘静脈穿刺により被検者の静脈血を採取し，直ちに0.6N 過塩素酸中に0.5ml 投じ，除蛋白した後，上澄みを5°C 下で保存し，24時間以内に乳酸測定に用いた。また，血液3ml を遠沈管にとり，氷中30分静置後遠心分離し，得られた血清をブドウ糖，NEFA の測定に用いた。ブドウ糖，乳酸，NEFA の測定は下記に示す方法を用いた。

ブドウ糖：グルコース・オキシダーゼ法変法
(Glucose B-Test Wako, 和光純薬 K.K. 製キット)

乳酸：Gutmann, Wehlefeld らの方法
(Lactate-UV-Test, ベーリンガー・マンハイム社製キット)

NEFA：Itaya-Ui 法 (NEFA Test-Wako, 和光純薬 K.K. 製キット)

(4) ホルモン

運動前，運動中に，正肘静脈より採血した血液

を EDTA-2K を添加した容器に約 6ml とり，静かに転倒混和後遠心分離し，得られた血漿を直ちに凍結保存（-40°C）して，カテコールアミン測定用検体とした。また，残りの血液約 4ml を室温に30~40分静置後遠心分離し，得られた血清を直ちに凍結保存（-40°C）し，インスリン，コルチゾール測定用検体とした。

これらの血漿および血清は，1~2日以内に北里バイオケミカルラボラトリーズへ発送し，カテコールアミン（2分画），インスリン，コルチゾールの分析を依頼した。

3. 実験手順

本研究で行う長時間走の負荷強度を決定するため，あらかじめ次のようなオールアウトテストを実施し，各被検者の最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_2 \max$ ）を測定した。

(1) オールアウト・テスト

最大酸素摂取量の測定は，トレッドミルにおける連続的負荷漸増法を用いて行った。すなわち，被検者にトレッドミル上でスピード 150m/min，傾斜1%で1分間走行させ，以後1分ごとに速度を10m/min ずつ増加し，Exhaustion に至らせた。この運動負荷中に得られた O_2 -uptake の最高値をその被検者の最大酸素摂取量とした。このようにして得られた $\dot{V}O_2 \max$ を基準として， O_2 -uptake とスピードの関係から，各被検者ごとに $\dot{V}O_2 \max$ の65%（実験Ⅰ）および80%（実験Ⅱ）に相当するランニング速度を決定した。

(2) 実験食

実験Ⅰおよび実験Ⅱにおいて，被検者の摂取した平均エネルギー量，タンパク質，脂質および糖質の割合は表1に示すとおりである。

各被検者の1人1日当りの栄養所要量は，1979年8月改訂の基礎代謝基準値⁸⁾ および被検者の身体計測値を基に，軽度のトレーニング（中等度労作）における付加量を加算して求めた。

表1 Dietary composition and calorie intake

		Total kcal	P : F : C
Test I	HCD period (kcal/day)	2,656	8.1 : 6.5 : 85.4
	Pre-HCD (kcal/pre-HCD)	749	7.6 : 5.9 : 86.5
	Pre-HPD (kcal/pre-HPD)	710	60.7 : 23.7 : 15.7
Test II	HCD period (kcal/day)	2,712	8.1 : 6.3 : 85.6
	Pre-HCD (kcal/pre-HCD)	a 927	8.0 : 7.1 : 84.9
		b 882	8.2 : 7.4 : 84.4
	Pre-HPD (kcal/pre-HPD)	c 602	54.1 : 40.9 : 5.3
		d 560	54.1 : 40.7 : 5.3

高糖食は、ヒートパック入り（200g 包装）のインスタント白飯を中心に、糖質エネルギー比が85%以上になるように食品を組み合わせた。

高タンパク食は、まぐろのサシミを中心に、タンパク質+脂質エネルギー比が85%以上になるように食品を組み合わせた。

実験食投与の際、ビタミン剤（パンビタン100；武田薬品工業株式会社）を1日1錠，高糖食の場合，ジアスターゼ4錠（三共製薬），高タンパク食の場合，フェスタール（日本ヘキスト）1錠，タフマックE（小野薬品）1gを食直後に投与した。

(3) 実験I (Test I)

被検者は男子長距離選手6名で，身体的特徴は表2に示した。

実験手順は図1のTest Iに示した。

被検者は普通食（Mixed diet）を摂取してお

り，実験第1日目の午前10時より，筋中グリコゲンを枯渇させる目的⁹⁾でグラウンドにて16km走を行った。その時の運動強度はオールアウト・テストの「% of $\dot{V}O_2\max$ -Speed 関係」の結果から求めた $\dot{V}O_2\max$ の75%に相当するスピードである。

その後，この当日を含めた3日間高糖食を摂取させ，夜間絶食後，翌日の午前7時～7時30分，あるいは午前9時30分～10時の間に高糖食（直前高糖食）を摂取させた。それから3.5時間の安静をとらせ，トレッドミルによる2時間走を行わせた。その時の運動強度は $\dot{V}O_2\max$ の65%に相当するスピードである。

次に，5日以上普通食期間をおいて，再び同様の実験を繰り返した。この時の直前食は高タンパク食である。実験Iでの2時間走は，被検者（6名）が前後2回，計12回行い，全員の Per-

表2 Physical Characteristics of Subjects (Test I)

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age	$\dot{V}O_2\max$ $l \cdot \min^{-1}$	$\dot{V}O_2\max$ $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$
A I	160.0	50.2	29	3.38	67.3
T I	169.8	55.0	23	3.97	72.1
S R	167.3	54.0	20	3.90	72.2
N S	171.5	60.8	21	3.84	63.1
K H	163.0	44.7	20	3.77	69.2
H A	162.0	56.5	19	3.67	64.9

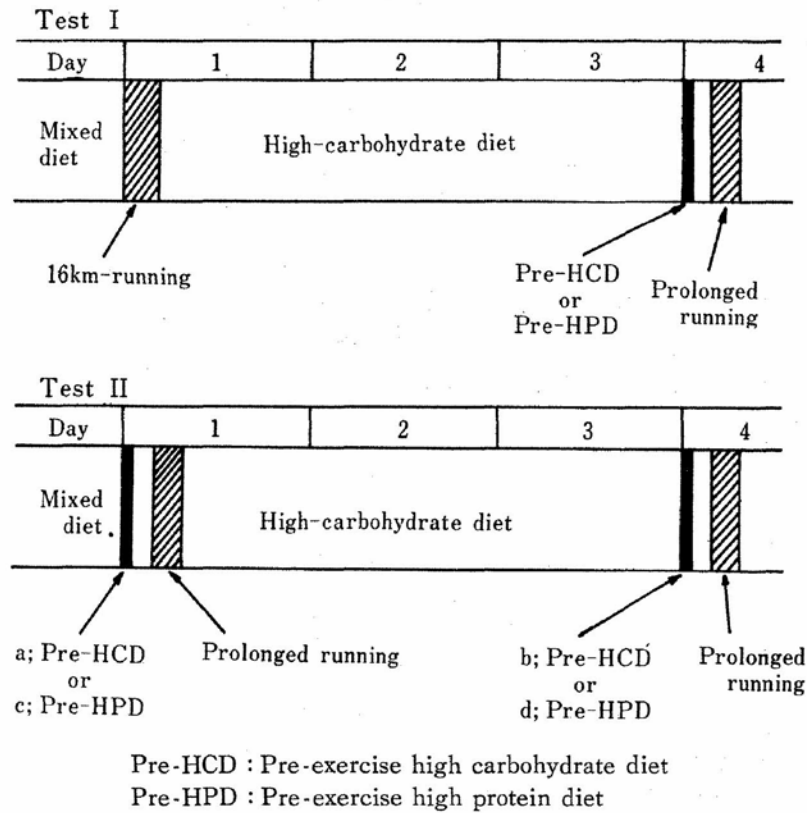


図1 The experimental design

formance time が2時間であった。

(4) 実験II (Test II)

被検者は男子長距離選手6名で、彼らの身体的特徴は表3に示すとおりである。

実験手順は図1のTest IIに示すように、第1日目と第4日目に同じ直前食事を与え、同じ運動を行わせた。すなわち、被検者に普通食摂取後、夜間絶食をさせ、翌日の午前7時~7時30分、あるいは午前9時30分~10時の間に高糖食(直前高

糖食)を摂取させた。それから3.5時間の安静後、 $\dot{V}O_2 \max$ の80%に相当するスピードでトレッドミルによる2時間走(Test II, a)を実施した。引き続き3日間高糖食を摂取させ、夜間絶食後、第4日目に初日と同様の手順で直前高糖食を摂取させて、トレッドミル2時間走(Test II, b)を行わせた。

次に、5日以上普通食期間をおいて、再び直前高タンパク食を摂取させ、同様の実験を行っ

表3 Physical Characteristics of Subjects (Test II)

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age	$\dot{V}O_2 \max$ $L \cdot \min^{-1}$	$\dot{V}O_2 \max$ $mL \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$
A I	160.0	50.1	29	3.16	63.2
T I	169.9	55.5	23	4.14	74.6
S R	167.3	54.0	20	4.12	76.3
N S	171.5	58.6	21	3.95	67.4
Y O	157.9	58.0	21	3.79	65.3
F K	168.8	59.0	18	3.81	64.5

た。第1日目と4日目の2時間走をそれぞれ、c, d, とする。実験Ⅱにおける2時間走は合計24回行ったが、そのうち2時間完走できたのは5回で、残りの19回は2時間未満であった。

実験ⅠおよびⅡの2時間走において、15分ごとに呼気ガスの採集ならびに ECG の記録を1分間行った。また、30分ごとに運動を中断させ椅座位にて直ちに採血を行った。実験Ⅱにおいて、2時間完走できなかった場合には終了直後にも採血を行った。また、2時間走は午前(10時30分~12時30分)と午後(1時~3時)に実施したが、概日周期(circadian rhythm)を考慮して、同一被検者については同じ時間帯で実験を行った。

実験結果

(1) 酸素摂取量と心拍数

実験ⅠおよびⅡにおける運動時間、運動中の酸素摂取水準および安静時と運動中の心拍数の各平均値(mean±SD)を表4に示す。

酸素摂取水準は実験Ⅰの時、直前高タンパク食の方が直前高糖食後よりも高い水準であったが

($p<0.001$) 負荷強度を高めると(実験Ⅱ)ほぼ同様の水準であった。また、実験Ⅱの場合には、直前高糖食後の方がより長い時間運動を持続している。実験Ⅰの時、安静時の心拍数は直前高糖食と直前高タンパク食の間にほとんど差はみられないが、実験Ⅱでは統計的な差はなかったものの、直前高糖食の方が高い値を示した。一方、運動中の心拍数は、実験Ⅰでは明らかに高タンパク食後に高い値を示しているが($p<0.01$)、実験Ⅱではほとんど同様の水準を示している。

(2) 呼吸変換比

実験Ⅰおよび実験Ⅱのテストb, dにおける呼吸交換比(R)の変化(mean±SD)を図2に示す。

安静時ならびに運動中のRは、実験ⅠとⅡのいずれの場合にも直前高糖食後の方が高い値を示している。また、いずれの場合にも、運動時間の経過に伴い減少傾向を示している。

(3) 血液中の諸成分

表5と表6はそれぞれ、実験Ⅰと実験Ⅱの全被検者の血中乳酸、ブドウ糖およびNEFAの各濃度を示しており、図3にはそれぞれの運動時間経

表4 Physiological parameters of dietary controlled subjects

		Pre-high carbohydrate diet	Pre-high protein diet	
Test I	% of $\dot{V}O_2$ max	65.3±6.0	68.3±3.6	$p<0.001$
	Heart Rate at rest	60.7±6.7	58.8±9.0	NS
	Prolonged running	151.6±11.1	157.8±12.9	$p<0.01$
Test II	Performance time	a 88.5±25.7	c 59.1±31.7	NS
		b 98.5±23.7	d 76.2±30.5	
	% of $\dot{V}O_2$ max	a 78.6±5.0	c 80.7±4.2	NS
		b 80.7±3.2	d 81.5±5.7	
	Heart Rate at rest	a 69.8±10.3	c 58.8±7.2	NS
		b 65.8±7.2	d 59.0±7.2	
	Prolonged running	a 169.2±6.7	c 170.6±9.6	NS
		b 169.1±3.9	d 170.1±8.3	

a, c ; precedings mixed diet

b, d ; precedings high carbohydrate diet

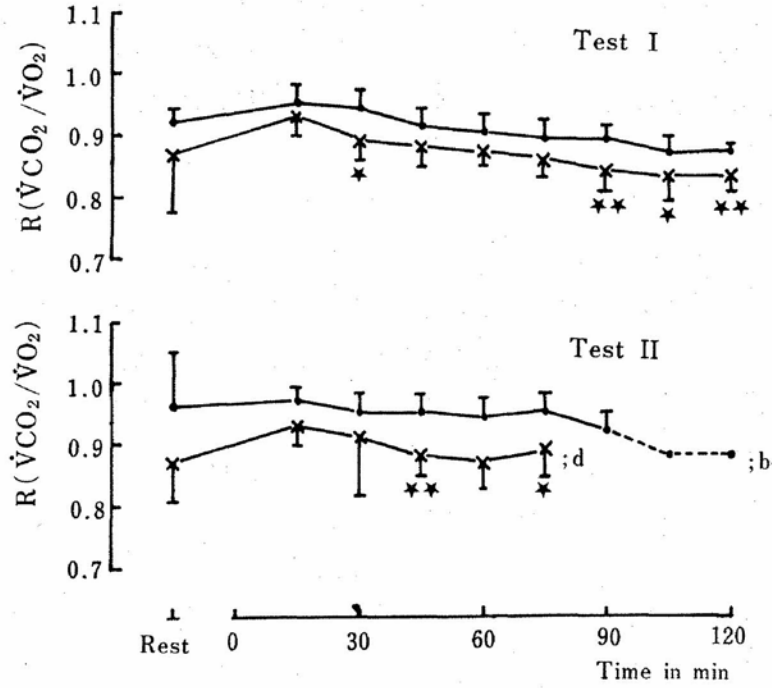


図2 Respiratory exchange ratio, values are mean ± SD

表5 Concentration of Blood Lactate, Glucose and NEFA (Test I)

Sub.	Pre-HCD					Pre-HPD					
	Rest	30	60	90	120	Rest	30	60	90	120	
Lactate (mmol/l)	AI	0.79	1.38	0.65	0.55	0.78	0.74	0.71	0.79	0.82	0.87
	TI	0.77	0.72	0.55	0.40	0.33	0.57	0.61	0.43	0.51	0.52
	SR	1.21	1.33	0.67	0.92	1.13	0.51	0.90	0.85	0.77	0.88
	NS	1.13	1.26	0.75	0.69	0.76	0.71	1.02	1.07	1.11	1.78
	KH	0.85	1.01	1.13	0.86	1.02	1.14	0.99	0.78	1.25	1.05
	HA	1.44	1.52	1.33	1.05	1.59	0.65	1.70	1.48	1.16	1.28
Glucose (mg/dl)	AI	87	93	88	93	75	76	88	87	85	81
	TI	77	67	80	80	76	73	85	93	87	87
	SR	84	78	85	85	75	108	121	114	91	113
	NS	77	96	94	87	86	79	86	80	72	69
	KH	87	102	97	87	113	83	91	91	83	96
	HA	83	87	87	92	94	83	84	85	85	68
NEFA (mEq/l)	AI	0.15	0.18	0.21	0.50	0.77	0.37	0.29	0.41	0.99	0.85
	TI	0.12	0.17	0.21	0.21	0.32	0.19	0.36	0.55	0.61	0.83
	SR	0.21	0.24	0.24	0.33	0.63	0.24	0.36	0.36	0.65	1.05
	NS	0.17	0.21	0.80	1.04	1.22	0.18	0.49	0.63	0.97	1.05
	KH	0.20	0.09	0.20	0.48	0.76	0.20	0.33	0.32	0.35	0.47
	HA	0.16	0.29	0.39	0.51	0.88	0.20	0.48	0.86	0.91	1.07

過に伴う平均値の変化を示す。

(a) 血中乳酸

実験 I の場合、運動を負荷しても安静値と変わらず、また食事の違いによる差もほとんど見られ

表6 Concentration of Blood Lactate, Glucose and NEFA (Test II)

Sub.	Pre-HCD					Pre-HPD					
	Rest	30	60	90	120	Rest	30	60	90	120	
Lactate (mmol/l)	A I	a : 1.31	1.06	1.35	1.53	0.80	c : 0.48	2.23	1.80	1.80	1.77
		b : 1.05	1.64	1.44	1.53	1.48	d : 1.94	2.01	2.04	1.63	1.93
	T I	a : 1.48	1.40	1.71			c : 0.38	2.50			
		b : 1.14	2.57	2.53	3.10		d : 0.33	2.16	1.81		
	S R	a : 0.80	5.60	4.16	2.36		c : 0.49	3.52			
		b : 1.19	7.35	5.63	4.56		d : 0.55	4.20			
H S	a : 1.22	3.76	3.34	2.87		c : 0.32	2.02	2.09			
	b : 1.07	—	2.30	2.71		d : 0.53	2.25	2.01			
Y O	a : 1.67	4.60	3.50	3.08		c : 0.67	2.45	2.14			
	b : 1.67	5.17	4.10	3.35	3.51	d : 0.98	3.12	2.19	2.52		
F K	a : 1.32	4.43				c : 0.84	3.13				
	b : 0.86	4.10				d : 0.46	2.83	3.98			
Glucose (mg/dl)	A I	a : 120	110	115	77	72	c : 97	179	177	120	85
		b : 84	79	98	94	91	d : 131	145	186	144	112
	T I	a : 106	99	98			c : 75	134	125		
		b : 68	80	84	94		d : 93	102	91		
	S R	a : 85	81	83	79		c : 113	115			
		b : 93	92	110	84		d : 91	120			
H S	a : 69	106	99	95		c : 102	117	90			
	b : 115	—	98	104		d : 97	125	91			
Y O	a : 52	80	90	90		c : 101	91	70			
	b : 93	104	104	113	125	d : 88	91	86	82		
F K	a : 51	119				c : 93	83				
	b : 67	92				d : 84	97	85			
NEFA (mEq/l)	A I	a : 0.13	0.34	0.36	0.58	0.13	c : 0.38	0.37	0.58	0.91	1.79
		b : 0.19	0.20	0.31	0.36	0.63	d : 0.43	0.58	0.71	0.55	1.23
	T I	a : 0.20	0.27	0.36			c : 0.28	0.81			
		b : 0.20	0.30	0.27	0.55		d : 0.22	0.36	0.35		
	S R	a : 0.22	0.25	0.59	(—)		c : 0.54	1.12			
		b : 0.18	0.37	0.48	1.13		d : 0.30	0.50			
H S	a : 0.18	0.23	0.34	0.56		c : 0.35	0.95	1.14			
	b : 0.18	—	0.32	0.59		d : 0.38	0.81	1.02			
Y O	a : 0.24	0.37	0.68	0.80		c : 0.34	0.64	0.87			
	b : 0.14	0.16	0.20	0.26	0.34	d : 0.23	0.42	1.03	1.43		
F K	a : 0.16	0.31				c : 0.34	0.99				
	b : 0.17	0.31				d : 0.34	0.97	1.05			

ない。しかし、運動強度を高める（実験Ⅱ）と、血中乳酸濃度は安静時に比較して大きく増加しており、その増加度は、直前高糖食後の方が上回っていることが観察される。

(b) 血中ブドウ糖

実験Ⅰの場合、食事の違いによる影響は見られない。実験Ⅱの直前高糖食後の場合も、実験Ⅰと同程度の血中濃度であった。しかし、実験Ⅱでは高タンパク食を摂取させた場合に、他とは明らかに異なる高い血糖値を示している。

(c) 血中 NEFA

実験Ⅰでは、直前高糖食後よりも直前高タンパク食後の方が高い血中濃度を示し、その増加は特に運動後半で著しかった。実験Ⅱの直前高糖食の時にも同様の傾向を示しているが、直前高タンパク食後では安静時にすでにかなり高い値を示し、運動中も直線的に増加し続けた。

考 察

従来、エネルギー代謝に関する研究は一般に空

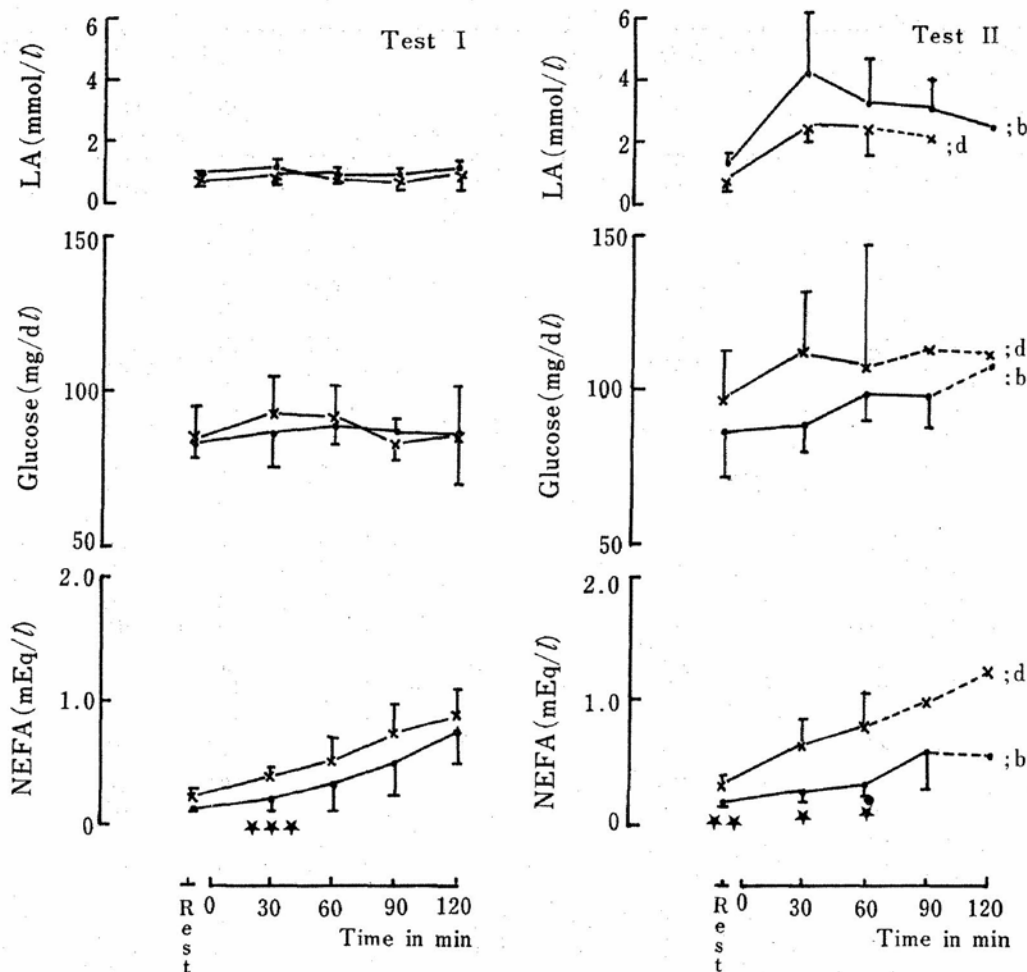


図3 Changes of contents of blood lactate, glucose and NEFA
 Values are means \pm SD • Pre-HCD * Pre-HPD

腹時の動物や人間を用いて行われている。本研究では、むしろ意図的に実験の3～4時間前に摂取させた食事（直前食事）の内容の差による生理的応答（運動能力への影響）の変化，代謝応答の変化などを問題として取り上げた。その結果，考察の中心は，食物摂取自体がもつ神経内分泌的効果や食事の量的・質的特性が，代謝応答を通じてどのように運動能力に影響するかに関する事柄が重要となる。

エネルギー代謝と物質代謝の関連で重要な呼吸交換比，血糖，乳酸，NEFA，ホルモンについて考えてみよう。

(1) 呼吸交換比について（図2）

呼吸交換比の変動をみると，運動開始直後，運

動中ともに高糖食摂取の場合に，高い値を示している。これは，生体が積極的に糖を利用して活動する性質を反映^{1,3-5,10)}しているから当然のことである。一方，高タンパク食摂取後では血中NEFAが高く，呼吸交換比が小さいので，脂肪を利用するエネルギー代謝の役割が大きくなっている^{1,3-5,10)}と考えられる。

(2) 血糖値の変動について（図3，表5，6）

血糖値の変動を見ると，特に実験Ⅱでは，高糖食摂取後よりも高タンパク低糖食摂取後の方が高い血糖値を示している。しかも，このような状態は安静時のみならず運動負荷中も続いている。かなり大量の高糖食投与（約900kcal）の効果を勘案すると，たとえ食後3～4時間経過後とはい

え、直前高タンパク食後の血糖値が直前高糖食後の血糖値よりも高くなるという動態は解釈に苦しむところである。このような逆説的血糖上昇は、高糖食を3日間摂取した後に急に食事を高タンパク食に変えることにより起こったと考えられる。いい換えれば、代謝応答系に大きな変化、すなわちある種の遷移状態をつくりだした結果であるといえよう。食事成分の急激な変化がストレスとして働き、物質代謝に混乱を引き起こしているのかもしれない。

(3) 乳酸の変動について (図3, 表5, 6)

血中乳酸の濃度について検討すると、 $\dot{V}O_2$ maxの65%の運動負荷では、食事の三大栄養素構成比(PFC バランス)の影響は明りょうに現われていない。しかし、運動負荷の大きい実験IIでは、血糖値の変動と対照的に、直前高糖食後に著しく増大している。

この変化は心拍数に反映しており、乳酸を積極的にエネルギー源として利用する心機能にも促進的に働いていることがわかる。直前高タンパク食摂取後に乳酸量の増加が比較的少ないのは、高タンパク摂取後に乳酸からの糖新生の増加が起こっているためと考えられる。高タンパク食後に高血糖状態になっているひとつの理由とも考えられる。

(4) NEFA の変動について (図2, 3)

NEFA の経時変化をみると、高タンパク食の場合は、高糖食後と比べてより早い時点で増加が始まり、その後時間の経過と共に NEFA 値の差が増えている。すなわち、運動負荷が直前食の影響を更に大きくしていることをうかがわせるものである。

運動負荷を高めると高タンパク食・高糖食摂取群間の NEFA 値上昇率の差が大きくなり、一方で高タンパク食後のRの低下が見られるから、脂肪の酸化によるエネルギー供給が増大してきていると考えられる。実験Iでは、この事を反映して

酸素摂取量および心拍数に差が見られた。しかし実験IIでは、このような変化は見られず、NEFAの著しい増加は酸素の利用障害すなわち脂肪酸酸化が円滑に行なわれていない状況になっていることによると考えられる。

前述の逆説的血糖値上昇は、糖消費に対し抑制的に働く脂肪酸酸化の働きによる^{5,11)}とも考えられる。しかし、呼吸交換比の変動と必ずしもはっきりした対応がないから、その他の因子、特にホルモンの動態が問題となる。

Maughan¹⁰⁾, Bergström¹¹⁾らは、高タンパク高脂肪食を3日間投与した後に運動負荷を与えると、NEFAが増大してくると報告しているが、血糖値については、本実験におけるような逆説的増大現象を見出していない。

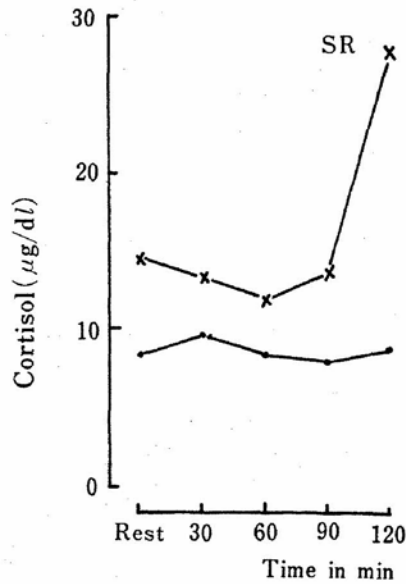
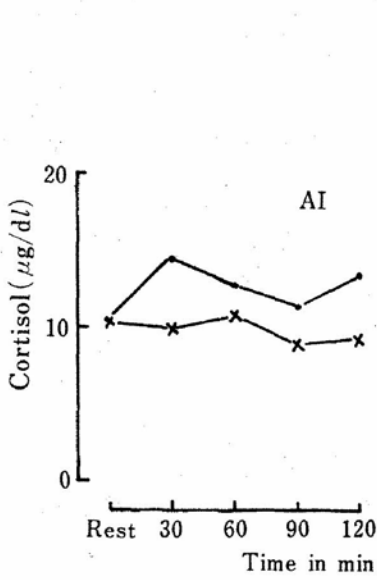
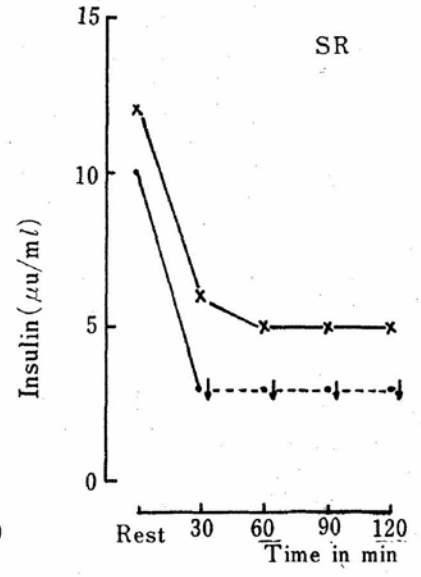
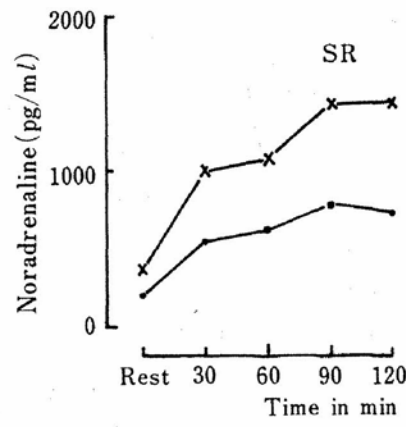
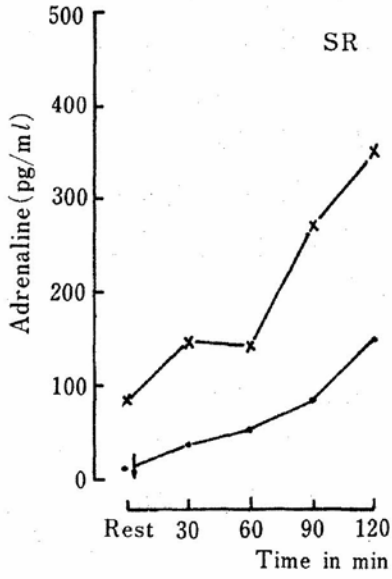
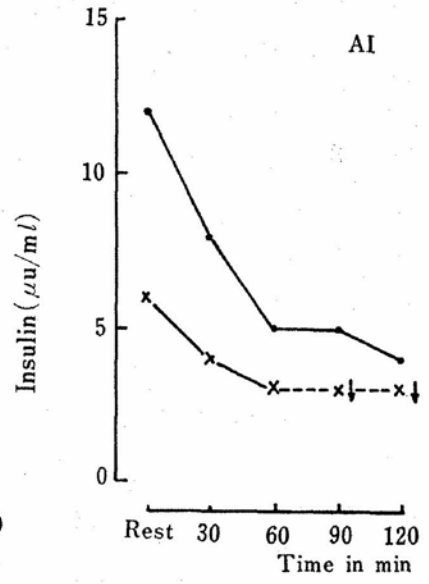
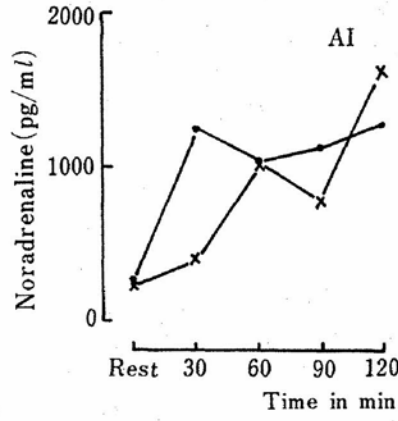
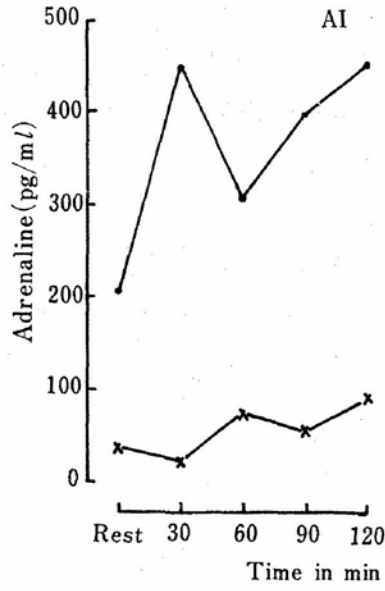
このような現象は、運動負荷というストレスが加わる前に高糖食に馴化適応した代謝系が、突然食事成分を変化させるとその変化に対応できず、それが強いストレスとして働いたためと考えられる。いい換えれば、ホルモンなどの影響による異化過程(Catabolism)の促進が関与して引き起こされた現象であると考えられる。

(5) ホルモンの変動について (図4)

一部の被検者でカテコールアミン、コルチゾール、インスリンの動態について調べたので、その例を示すと図4のとおりである。

被検者 S.R. では、高タンパク食後にカテコールアミン、コルチゾールは高値を示し、糖代謝において拮抗ホルモンであるインスリンも同時に高い値を示している。被検者 A.I. の場合は全く逆で、カテコールアミン、コルチゾール、インスリンのすべてが高タンパク食後の方が高糖食後に比べて低い値を示している。

両被検者とも、高タンパク食後の実験の方が高い血糖値を示している。このような糖質代謝、エネルギー代謝における一見全く対照的なホルモン応答は、背景に個人差、特に食習慣、ストレスに



• Pre-HCD
* Pre-HPD

⊗ 4 Changes of hormones in response to dietary change

に対する感受性等々の関与を暗示している。

タンパク質摂取によって起こる特異動的作用の関与も考慮しなければならない。特異動的作用の発現のメカニズムのひとつとして、中枢性の応答によって引き起こされる肝グリコゲン分解の促進が報告されている^{13,14}。高タンパク食摂取後の長時間にわたる血糖値の上昇傾向に特異動的作用がどの程度関与しているか、特に、その運動負荷との関連は体力医学的観点からも重要である。

直前食の代謝や Performance に対する影響は、運動負荷を上げることによって一層明りょうとなる。すなわち、運動負荷を増加したとき（実験 I；65%→実験 II；80%）に、代謝の基質レベルでの変化に対応する酸素消費の増大が見られない。これは、エネルギー代謝不全、すなわち基質の利用障害が起こっていることを示している。このような代謝応答の異常は、ストレスを背景に代謝の impairment の存在を暗示している。

上記のような代謝の動態は、直前食事が運動能力に対してはもちろんのこと、日常生活における作業能率にも影響する可能性を示唆している。

総括と結語

食物、食品中に含まれる糖質、脂質、タンパク質の三大栄養素構成比（PFC バランス）は、エネルギー代謝や運動能力の発揮と密接な関係をもっている。

本研究では、運動開始直前（3～4時間前）の食事の PFC バランスを大きく変動させることによる運動能力の変化およびその時の代謝応答の動態について検討した。

3日間高糖食または普通食で調整した被検者に直前食として高糖食または高タンパク食を投与すると、次のような変化が観察された。

(1) 代謝応答

直前高タンパク食後の血糖値は、直前高糖食後より高い値を示した。高タンパク食摂取後の異常

な高血糖は運動中も続き、むしろ上昇傾向を示した。

運動負荷を増加すると、さらに血糖値が上昇することが観察された。このような状態は、糖の利用障害が高タンパク食摂取後に起こっていることを示唆する。

血中乳酸は血糖と対照的な変化を示し、高糖食で高く、高タンパク食で低くなっている。これは、肝において乳酸からの糖新生が高タンパク食後に増大していることが考えられる。

NEFA は高タンパク食後に高く、脂質の動員（lipid mobilization）が増大していることを示している。

呼吸交換比の変化は、高糖食より高タンパク食の方が低い値を示している。しかし、脂質の動員の程度と比較してみると、運動負荷強度を上げた場合に対応した酸素摂取量の変化は見られない。この結果は、生体内酸化過程の障害を暗示している。

(2) ホルモンの変化

血中カテコールアミン（2分画）およびインスリン、コルチゾールへの直前食の影響はかなり著しいものがあるが、個人差が大きく、被検者の食習慣やストレスに対する感受性、応答性が問題となる。いずれにせよ、直前高タンパク食摂取は高糖食摂取の場合とかなり異なったホルモン応答を引き起こすことは明らかであり、代謝応答の変化もこれに由来するものと考えられる。逆説的血糖値の上昇、インスリン上昇は糖尿病に似た状態である。

本研究の結果から、運動直前にとる食事の PFC バランスを極端に変えると、performance にかんがりの影響があることが明らかとなった。

血液中のブドウ糖、乳酸、NEFA の変化およびホルモン動態に関する結果から、高糖食、高タンパク食のそれぞれに固有の代謝応答、ホルモン応答があり、これらの応答系が、直前食の影響を

強く受けることを示唆する結論を得た。

謝 辞

ホルモンの定量に関しては、私どもの研究室では測定が不可能であったので、沖縄地区出張所を通じて、北里バイオケミカルラボラトリーズにお願いした。その際、所長の佐藤誠也博士から貴重なご教示と多大のご協力を得た。ここに深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) Bergström, J., Hermansen, L., Hultman, E., and Saltin, B.: Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta. Physiol. Scand.* **71**, 140—150 (1967)
- 2) Bergström, J., and Hultman, E.: Muscle glycogen synthesis after exercise. An enhancing factor localised to the muscle cells in man. *Nature* **210**, 309—310 (1966)
- 3) Christensen, E.H., and Hansen, O.: III. Arbeitsfähigkeit und Ernährung. *Scandinav Archiv.* **81**, 1—12 (1939)
- 4) Galbo, H., Holst, J.J., and Christensen, N.J.: The effect of different diets and of insulin on the hormonal response to prolonged exercise. *Acta. Physiol. Scand.* **170**, 19—32 (1979)
- 5) Gollnick, P.O., Piehl, K., Saubert, C.W., Armstrong, R.B., and Saltin, B.: Diet, exercise and glycogen changes in human muscle fibres. *J. Appl. Physiol.* **33**, 421—425 (1972)
- 6) Hermansen, L., Hultman, E., and Saltin, B.: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta. Physiol. Scand.* **71**, 129—139 (1967)
- 7) Hultman, E.: Studies on muscle metabolism of glycogen and active phosphate in man with special reference to exercise and diet. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* **19**, (Suppl.) **94**, 1—63 (1967)
- 8) 厚生省監修：日本人の栄養所要量と解説，第1出版 (1979)
- 9) Maughan, R.J., and Poole, D.C.: The effects of glycogenloading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* **46**, 211—219 (1981)
- 10) Maughan, R.J., Williams, C., Campbell, D.M., and Hepburn, D.: Fat and carbohydrate metabolism during low intensity exercise: Effects of the availability of muscle glycogen. *Eur. J. Appl. Physiol.* **39**, 7—16 (1976)
- 11) Rennie, M.J., and Johnson, R.H.: Alteration of metabolic and hormonal responses to exercise by physical training. *Europ. J. Appl. Physiol.* **33**, 215—226 (1974)
- 12) Saltin, B., and Hermansen, L.: Glycogen stores and prolonged severe exercise. In: Textbook of work physiology (ed. Åstrand, P-O and Rodahl, K.), 483—521. McGraw Hill. New York (1978)
- 13) 矢野敦雄：タンパク質の特異動的作用の機序，大阪大学医学雑誌，**24**，51—61 (1972)
- 14) 矢野敦雄，田中武彦：タンパク質の特異動的作用の機序，臨床化学シンポジウム，**11**，126—221 (1971)