

各種の栄養摂取状況が持久的運動時の 生体に及ぼす影響

東京学芸大学 田中弘之
(共同研究者) 同 原英喜
同 湊久美子
同 外山寛

Effects of various diet intake on physical condition in prolonged exercise

by

Hiroyuki Tanaka, Hideki Hara,
Hiroshi Toyama and Kumiko Minato.

Tokyo Gakugei University

ABSTRACT

In the viewpoints of a better exercise prescription, we tried to investigate the effects of various diet intake on resting conditions and physical responses to prolonged exercise. In this report, 5 healthy adult men were employed as subjects, and some changes in biochemical recordings of blood were obtained. We observed some noticeable differences in plasma enzymes activities and substrates levels after 10km running among cases of mixed diet, high carbohydrate diet, and protein-fat diet.

It might be possible that some disorders occurred upon metabolic pathway from the viewpoints of exercise stress and energy supply. But, we could not conclude only nutrition intake brought those disorders or not, because individual variations existed. However, acute diet changes itself can become a stressor for the organism and exercise stimuli might cause abnormal metabolism under unsuitable nutritional conditions. We thought it is necessary to study these problems, including trainability of subjects, further more.

緒 言

運動不足症の予防・解消としてジョギング・ランニングブームが起こって久しいが、最近ではそれが高じて、市民マラソンの隆盛も著しい。

過去の研究^{5,12,16)}における糖質摂取の増大は筋グリコーゲン量を増大させ、持久的運動に有利であるとするアスリートを被検者とした Diet-Exercise Program の報告から、食事調節を行う者も少なくない。

他方、肥満の予防・解消として、糖質摂取を極

力避けている場合も多い。

このような意識的な栄養摂取の調節が持久的運動時の生体にどのような影響を及ぼすかを、血液生化学成分の消長を中心に分析・検討を行った。

方 法

被検者は、表1に示した健常な成人男子5名である。実験手順は、Åstrand⁹⁾の方法を参考に、表2に示した日程で行った。

食事調節は、被検者のふだんの食生活の内容を検討し、各人の1日の総摂取カロリー量を決定し

表1 Characteristics of Subjects

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Rohrer's Index
H.H.	28	166.0	56.0	122.4
H.T.	25	172.8	65.0	125.9
S.O.	25	176.0	72.0	132.1
K.T.	23	167.0	55.0	118.1
T.K.	21	171.0	69.0	138.0
Mean	24.4	170.6	63.4	127.3

表2 Experimental Schedule

Days	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Diet	----- M-d -----				----- PF-d -----			----- CHO-d -----			----- M-d -----			
Exercise	10km run.				Bicycle Ergometer 30min.			10km run.						
Blood Sampling	*	*	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*

Days	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Diet	----- PF-d -----												
Exercise											10km run.		
Blood Sampling	*					*				*	*	*	*

た。普通食（以下 M-d と略す）では、ふだんの食生活のまま食事をさせ、糖質摂取を高糖食（以下 CHO-d と略す）では、1日の総摂取カロリーの80%以上、高蛋白高脂食（以下 PF-d と略す）では、20%以下になるように規定した。

表3 Mean calorie intake and diet composition

		Mean	S.D.
Total Calorie Intake		2,639.80	251.70 (Cal)
M-d	P	15.85	3.84
	F	28.19	11.35
	C	53.02	10.23
CHO-d	P	7.43	0.70
	F	5.01	2.59
	C	87.53	2.79
PF-d	P	22.63	1.02
	F	56.90	1.23
	C	17.54	0.53 (%)

実験期間中の1日の平均総摂取カロリー量と三大栄養素の構成比を表3に示した。

運動は、持久的運動として10km走を選び、Åstrand³⁾のプログラムに従った処方で、M-d、CHO-d期の実験を行い、PF-d期では、尿中のカルシウム排泄量が実験開始前値の約2倍となった10日目に10km走を行った。

測定は、表2に示した採血日の早朝安静空腹時に行い、10km走当日は、このほかに10km走前、直後、1時間後にも行った。

測定項目は心拍数、血圧、心電図、体重、自覚症状および血液生化学成分である。

結 果

血漿中 GOT・GPT 活性値では、図1に示したように、各期とも運動前後の消長に有意な変化は認められず、すべて生理的範囲内の変動であった。

血漿中 LDH 活性値では、図2に示したように、各期とも運動前後の消長は類似した傾向であ

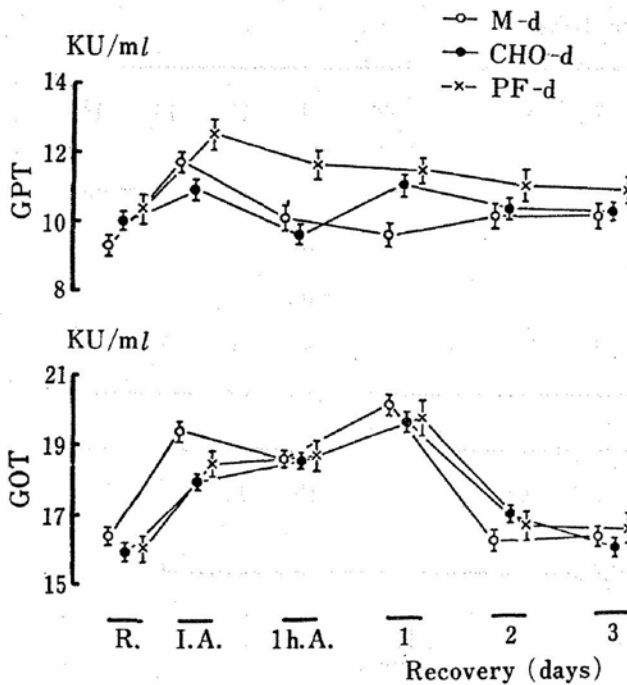


図1 Effects of diet on plasma GOT and GPT activities after 10km running

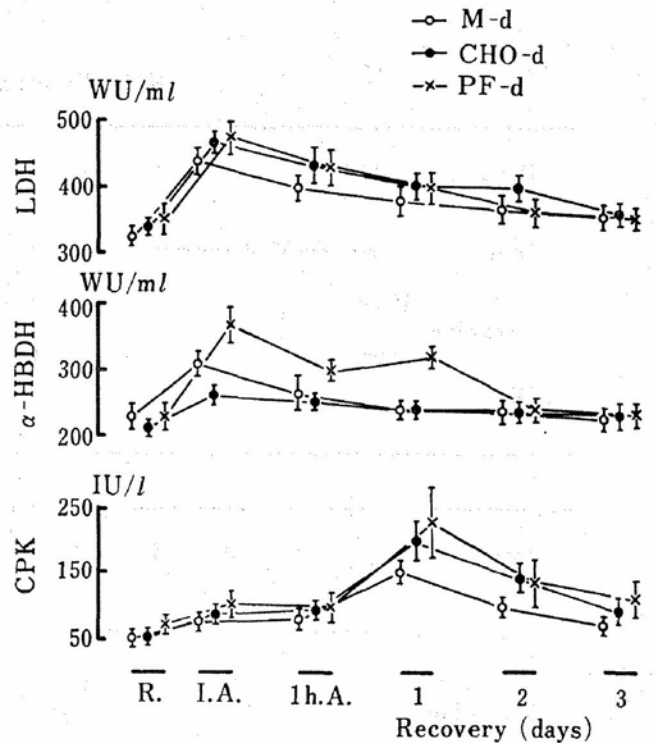


図2 Effects of diet on plasma LDH, alpha-HBDH and CPK activities after 10km running

った。

運動前値と運動直後値を比較すると、M-d 期では1%水準で、他の2期は5%水準で有意な増加が認められた。

また、運動終了後1時間値では、M-d 期において、運動直後値と比較して5%水準で有意な減少が認められ回復が最も早かった。

以後、各期とも漸減し、回復第3日目にはほぼ運動前値にまで回復した。

血漿中 α -HBDH 活性値では、図2に示したように、各期に特異的ともとらえ得る傾向がみられた。

運動前値と運動直後値を比較すると、M-d 期では5%水準で、PF-d 期では1%水準で有意な増加が認められたが、CHO-d 期では有意差は認められなかった。また、PF-d 期と CHO-d 期の運動直後値では PF-d 期が1%水準で有意に高く、M-d 期とは両者とも有意差は認められなかった。

さらに運動終了後1時間値でも PF-d 期が他の2期よりも高く、回復第1日目では5%水準で他の2期よりも有意に高値を示した。

しかし、以後はその差がほとんどなくなり、回復第3日目にはほぼ運動前値にまで回復した。

血漿中 CPK 活性値では、図3に示したように、運動前値から運動終了後1時間値まで、各期とも同様な変化を示した。

回復第1日目には各期とも最高値を示し、これらの増加は、運動前値と比較して1%水準で有意であった。

回復第2日目では M-d 期のみ1%水準で有意な減少が認められ、回復第3日目でも M-d 期のそれが早く、PF-d 期が最も遅かった。

血漿中血糖値では、図3に示したように、安静値では各期ともほとんど差はないが、運動直後値では M-d 期、CHO-d 期で1%水準で有意な増

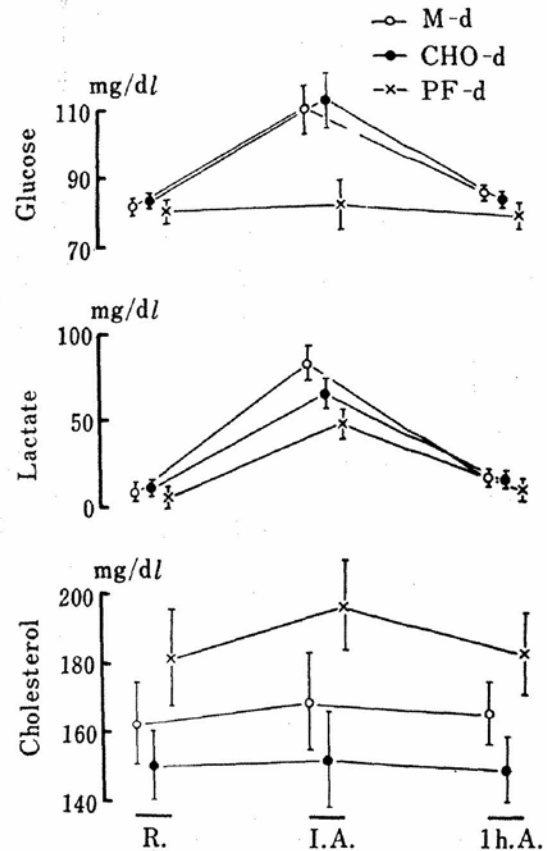


図3 Effects of diet on plasma Glucose, Lactate and Cholesterol levels after 10km running

加が認められた。しかし、PF-d 期ではほとんど増加が認められず、他の2期と比較して、5%水準で有意に低値を示した。

また運動終了後1時間値では M-d 期、CHO-d 期とも1%水準で有意な減少が認められ、ほぼ安静値にまで回復した。

血中乳酸値では、図3に示したように、安静値では各期とも差はなく、運動直後値でそれぞれ1%水準で有意な増加が認められた。しかし、増加率は M-d 期、CHO-d 期、PF-d 期の順に高く、M-d 期では PF-d 期と比較して、5%水準で有意に高値を示した。

血漿中コレステロール値では、図3に示したように、各期とも運動による変化は著明ではなかった。安静値では PF-d 期では高く、CHO-d 期では低かった。

血漿中遊離脂肪酸濃度では、図4に示したよう

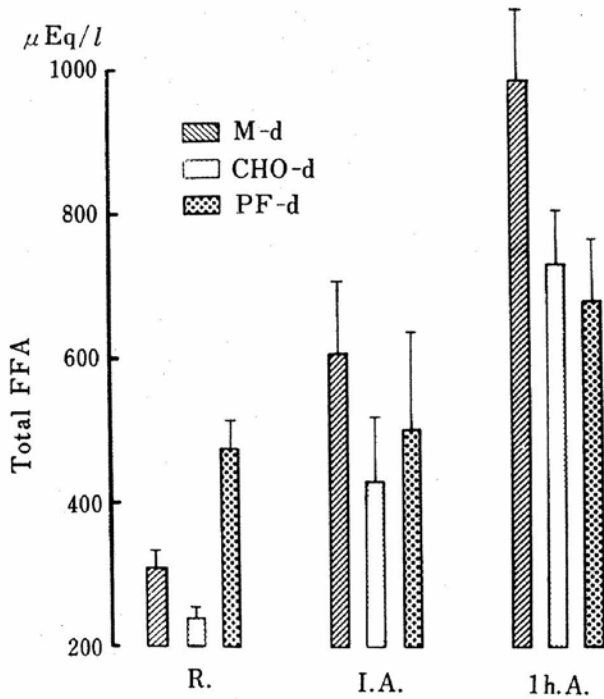


図4 Effects of diet on plasma total FFA concentrations after 10km running

に、安静値で、PF-d 期が CHO-d 期より 1% 水準で有意に高値を示した。また、M-d 期、CHO-d 期では運動直後値、終了後 1 時間値と、1% 水準で有意な増加が認められたが、PF-d 期では増加傾向はみられたものの、有意な差は認められなかった。

個々の脂肪酸構成比では、図5に示したように、安静値で、CHO-d 期ではパルミチン酸 (C₁₆)、ステアリン酸 (C₁₈) の飽和脂肪酸の増加傾向がみられ、PF-d 期ではオレイン酸 (C₁₈₋₁)、リノール酸 (C₁₈₋₂) の不飽和脂肪酸の増加傾向がみられた。

運動後の値でも、これらの相対的な傾向は変わらなかったが、総じて絶対値として、飽和脂肪酸の減少、不飽和脂肪酸の増加が認められた。

考 察

運動ストレスのひとつの指標としての血中逸脱酵素活性値の消長では、各規定食摂取前後の安静値ではほとんど差がなく、鈴木¹⁹⁾、青木²⁾の報告

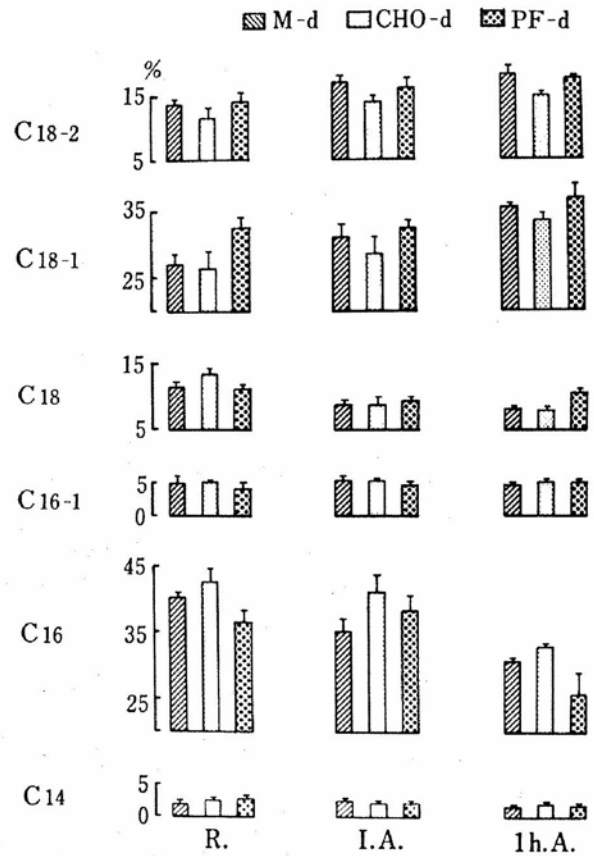


図5 Effects of diet on plasma individual FA composition after 10km running

と一致している。しかし、これらの報告には、運動を负荷した場合については何の言及もなされていない。

また、単に運動を负荷した場合の血中逸脱酵素活性値の消長については、運動の強度や持続時間、また被検者の鍛練度などの観点から多数報告^{1,4,6,7)}されているが、それらの結果は必ずしも一様ではなく、論議のあるところである。

本研究で各規定食間での有意差が認められたものは、 α -HBDH 活性値の消長だけであった。 α -HBDH は、LDH アイソザイムの LDH 1・2 と比較的比例関係にあることが認められている¹⁷⁾が、この消長の差が単に食事調節による結果であると考えることには早計の感があり、さらに検討を要する課題であろう。

一方、運動のエネルギー供給について、糖代謝のエネルギー供給経路としての解糖過程、酸化過

程は、脂質さらにはタンパク質代謝などの共通代謝経路ともなり、そのエネルギー供給の割合が問題となってくる。

Hermansen ら⁹⁾は、最大酸素摂取量の75%強度以上では、筋グリコーゲン貯蔵量が重要な意味を有し、それは食質とトレーニングが強く影響するとしている。

また、Henchel ら⁸⁾は、同量の運動では、糖質の食事より脂質の食事の方が酸素を余分に必要とすると述べている。これは観点を換えれば、有酸素能力の高い者は広い範囲内で脂質を動員できるということにもなり、エネルギー供給に関する問題はますます複雑になってくる。

しかし、以上のことから、経口的に摂取される食事の内容とトレーニング度が、運動のエネルギー源に重要な意味をもち、代謝過程に影響を及ぼす可能性が大きいことが示唆されている。鍛練者では、運動中の一時的な代謝異常に何らの影響を受けなかったとしても、非鍛練者にとっては、可能な適応の範囲内で代謝過程が進められることが望ましいと考えられる。

このような観点から、本研究で得られた血中諸基質の動態をみると、血糖値の消長において運動直後値で PF-d 期にのみ高血糖傾向がみられなかった。

運動による高血糖の機序について、肝グリコーゲンの分解促進に由来する^{14,20)}ものと考え、グルコースに対する細胞膜の透過性は血中のインスリン濃度に依存し¹⁰⁾、高血糖値はインスリンの分泌を促し、血糖値と血中から組織へ取り込まれる速度は律速しあっている¹⁸⁾とすれば、活動筋へのエネルギー供給は円滑に行われ、糖代謝の促進とみてもよいように思われる。したがって、肝グリコーゲンが明らかに食物の貯蔵である¹³⁾とすれば、PF-d 期においてのみ高血糖がみられなかったことは理解できる。

遊離脂肪酸濃度の消長では、運動直後、1時間

後の PF-d 期での増加率が最も低かった。

血糖や乳酸が遊離脂肪酸の上昇を抑制するという報告^{11,21)}があるが、M-d 期、CHO-d 期では血糖値、乳酸値、遊離脂肪酸濃度がすべて増加しているのに対し、PF-d 期ではどれもその増加度が低いのである。

運動後の血糖値、遊離脂肪酸濃度の増加は、運動終了後に活動筋での消費が停止しても、神経系の興奮や臓器・組織での放出がしばらく続き、筋血流量の減少による流出量を運動量が上回るからであると考えられる。

しかし、運動直後では活動筋での取り込みが完全にしていないことを考えれば、PF-d 期では、脂質がそのエネルギー源とならざるを得なかったともとらえ得るが、代謝異常の可能性の面からも検討を要する課題であろう。

以上のようなことから、人体は体質・食習慣などによって、栄養素の利用のための吸収代謝系を適応させていく能力が相当大幅に保証されている¹⁵⁾とはいえ、急激な食生活の変化は、それ自体でストレスとなり得る可能性をもち、被検者の自覚症状の良否と、運動ストレスとしてみた血中生化学成分の消長との間に、多少なりとも関連が認められたことから、体調の如何によっては、運動を中止する必要があるという示唆が得られた。

摘 要

より安全な運動処方 of 究明という立場から、糖質・脂質・タンパク質の三大栄養素の摂取状況が、生体の安静時・運動時にどのような影響を及ぼすかを調べるために、健全な成人男子5名を被検者として、各種の食事制限を加えながら持続的運動を負荷し、血液生化学成分の消長を中心に分析・検討を行い、以下のような知見を得た。

普通食・高糖食・高蛋白高脂食の規定食を一定期間摂取したのち10km走を実施した場合、血中逸脱酵素活性値や血中基質濃度の消長に差異を生

じることが観察された。

これは、運動のストレスやエネルギー供給の面からみて、代謝過程に何らかの変化が起こっているという可能性を示唆するものと思われるが、個人差の問題もあり、単に栄養摂取状況の相違によるものかどうかは断定できなかった。

しかし、急激な食事の変化は、それ自体でストレスとなり得る可能性を有し、個人にとって不適当な栄養摂取状況下での運動では代謝異常が起こり得るものと考えられたが、被検者のトレナピリティーの問題も併わせて、今後さらに検討を要する課題であると思われる。

文 献

- 1) 青木純一郎, 高岡郁夫; 持久性トレーニングによる血液の変化, 体育科学, **3**: 139—145 (1978)
- 2) 青木隆一; LDH とそのアイソエンザイム, 血液・尿化学検査, 日本臨牀社, p789 (1980)
- 3) Åstrand, P.O.; Diet and athletic performance, *Federation Proc.*, **26**: 1772—1777 (1967)
- 4) Bass, A., and others.; Enzyme activity patterns of energy supplying metabolism in the quadriceps femoris muscle, *Pflugers. Arch.*, **361**: 169—173 (1976)
- 5) Bergström, J., Eultman, H.; Nutrition for maximal sports performance, *JAMA*, **221**: 999—1006 (1972)
- 6) Brattan, R.D., and others.; Effects of exercise on serum enzyme levels in untrained males, *Res. Quart.*, **33**: 182—193 (1962)
- 7) Fowler, W.M., and others.; The effect of exercise on serum enzyme, *Arch. Physiol. Rehabil.*, **49**: 554—565 (1968)
- 8) Henchel, A., Taylor, H.L., Key, A.; Performance capacity in acute starvation with hard work, *J. Appl. Physiol.*, **6**: 624—630 (1954)
- 9) Hermansen, L., Hultman, E., Saltin, B.; Muscle glycogen during prolonged severe exercise, *Acta. Physiol. Scand.*, **71**: 129—139 (1967)
- 10) Hunter, W.M., and Sukkar, M.Y.; Changes in plasma insulin levels during muscular exercise, *J. Physiol.*, **196**: 1109—1112 (1968)
- 11) Issekutz, B.J., Nirkhead, N.C., Roduhl, K.; Effect of diet on work metabolism, *J. Nutr.*, **79**: 109—113 (1963)
- 12) Jette, M., and others.; Effect of carbohydrate rich diet on nutritional status and aerobic performance, 3rd International Symposium on Biochemistry, Symposia. Specialists, Inc. P 321 (1976)
- 13) Karvovich, P.V.; 筋作業のためのエネルギー供給, 石河利寛 (訳), 運動生理学, ベースボールマガジン社, p105 (1976)
- 14) 小野桂市; 身体運動の血糖値に及ぼす影響, 三重医学, **18** (4) 211—217 (1975)
- 15) 小野三嗣; 健康と体力の科学, 大修館書店, p 281 (1973)
- 16) Rennie, M.J., and Johnson, R.H.; Effects of exercise-diet program on metabolic changes with exercise in runners, *J. Appl. Physiol.*, **37**: 821—825 (1974)
- 17) Rosalki, S.B., Willkinson, J.H. *Nature*, **188**: 110—112 (1960)
- 18) 四釜久隆他; 血糖の代謝回転速度の血糖値依存性とホルモンによる調節, 生化学, **48** (7): 583 (1976)
- 19) 鈴木 宏; GOT・GPT その数値をどう読むか, 血液・尿化学検査, 日本臨牀社, p781 (1980)
- 20) 吉岡利治他; 筋肉運動と糖質・脂質代謝について (第一報) 長距離走における血糖および遊離脂肪酸濃度の変動, 体育学研究, **17**: 143—150 (1972)
- 21) Young, D.R., Pelligra, R., Dachi, R.R.; Serum glucose and free fatty acids in man during prolonged exercise, *J. Appl. Physiol.*, **21**: 1047—1052 (1966)