

昭和55年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. V 競技選手における筋肉量と蛋白代謝
に関する研究 一第1報一

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和55年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. V 競技選手における筋肉量と蛋白代謝 に関する研究 一第1報一

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学委員会「競技選手における筋肉量と蛋白代謝に関する研究」班

班 長 宮 下 充 正¹⁾

班 員 跡 見 順 子¹⁾ 芝 山 秀 太 郎²⁾ 田 畑 泉¹⁾

野 村 武 男³⁾ 橋 本 勲⁴⁾ 山 田 昌 彦⁵⁾

担当研究員 金 子 敬 二 ((財)日本体育協会スポーツ科学研究所)

目 次

- I 緒言..... 1
- II トレーニング合宿時にみられるエネルギー出納・筋量・血中化学物質の変動と蛋白代謝..... 2
- III トレーニングにともなう尿中物質の変動と蛋白代謝.....11

I 緒 言

宮 下 充 正

人間がスポーツを実施するためには、たえずエネルギーを消費しなければならない。太陽光線のエネルギーを利用して、炭酸ガス、水、アンモニアなどからエネルギーに富んだ有機栄養物を合成する植物のような能力を持たない人間は、植物の合成した有機栄養物を、あるいはその植物を食べている動物を、食べることによって運動のエネルギー源を得ている。

ところが、糖質、脂質、タンパク質などの人間が食事として体内に摂りこむ有機栄養物質は、豊富な化学エネルギーを持ってはいるが、それ自体では、人間が行う運動の直接の動力源とはならない。

生体内で直接の動力源として働いているのは、ATPである。筋中で、ATPがADPと P_i に分解され、その際、筋肉が収縮するエネルギーを遊離させるのである。ATPは、わずかし筋に含まれていないために、ただちにATPが再合成されなければ次の運動ができない。この合成のためには、食事として体内に摂り入れられた栄養物質を分解し、それにもなって放出される自由エネルギーを使うことになる。

つまり、栄養物質に内在する化学エネルギーを解放して、ATPを合成する代謝(エネルギー獲得代謝)と、ATPがADPと P_i に分解されて運動を遂行する代謝(エネルギー利用代謝)とが、人間が運動を遂行する際に筋中で平行して行われていることになる。

ところで、スポーツ選手がその競技力向上を目指してトレーニングを実施するという事は、エ

¹⁾東京大学教育学部 ²⁾(財)明治生命厚生事業団体力科学研究所 ³⁾筑波大学体育科学系 ⁴⁾国立栄養研究所健康増進部 ⁵⁾明治製菓食料研究所

エネルギー利用代謝の時間当たりの量を増大させること（パワーアップ）にある。エネルギー利用代謝の時間当たりの量は、筋中に存在する ATP の量と、多少の時間的おくれはあるにせよ平行して行なわれているエネルギー獲得代謝の能率によってきまる。

ATP の量は筋量に比例するし、エネルギー獲得代謝は、エネルギー利用代謝によって引き起こされるものであるから、運動に参加する筋の肥大（筋量の増大）は、パワーアップの基本的な条件となる。

トレーニングによって、ある量のエネルギーの消費がなされる。このエネルギー消費分に見合った栄養物質を食事として摂ることによって、身体は平衡を保つ。もし栄養物質の補給がマイナスであれば、体内の脂肪、タンパク質などが動員され、筋量の減少をもたらす可能性が存在する。したがってパワーアップは期待されない。

一方、栄養物質の補給がプラスであれば、筋量の増大も期待されるが、また脂肪の沈着も起こる。

このように、効果のあるトレーニングは質の問題とは別に、量の問題は食事とのバランスの上で考慮されなければならない。これまでこの面についての詳しい研究が実施されてこなかったため、本研究プロジェクトが発足したのである。

II トレーニング合宿時にみられるエネルギー出納・筋量・血中化学物質の変動と蛋白代謝

報告者 跡見 順子 田畑 泉
山田 昌彦 宮下 充正

1. 研究目的

一般人の運動能力や体力を向上させることは、それほどむずかしいことではない。トレーニング効果の得られる負荷の閾値が非常に低いからである。しかし長年にわたる激しい練習の結果、体力・競技力ともにある一定の高水準に達しているトップクラスの選手の能力をさらに向上させることは非常に難しい問題である。これに対処するため

には、科学的な論理にもとづいて、競技力向上のために必要な条件を明らかにすることが必須である。

競技によって程度の差はあるが、競技力の増大を図るためのひとつの条件は、筋出力パワーの増大である。筋パワーの増大は、活動筋の神経・筋の調節機能、即ちスキルの向上とともに、筋の物質的条件の改善の結果として現われる。後者は代謝能の増大という質的向上と、筋の肥大という量的向上の両者である。

我が国の競技選手は一般的に欧米諸国の選手と比べて筋量が少ないことは様々な種目でみられる。したがって、日本選手の競技力向上のためには、筋量の増加が必須の条件となる。

筋の本質的な構成要素である収縮要素（筋原線維）と、エネルギー産生素素（ミトコンドリアなど）は蛋白質である。筋を肥大させるには、それらの蛋白の合成が促進される必要がある。筋蛋白の合成が高まる条件としては、まず、(1)筋パワー向上を伴った筋肥大のために有効な刺激の量と質が存在すること。(2)筋蛋白合成の材料となるアミノ酸が十分に摂取されることが必要である。しかし体内のエネルギー出納が負の場合には、蛋白質がエネルギー源として使われる。したがって、(3)エネルギー消費量に見合うエネルギー源の補給が不可欠である。特に1日の運動によって消費されるエネルギーが数千カロリーにも達するトップクラスの競技選手には、適正な量と質の食事が与えられねばならない。一流選手の競技力向上に結びつく筋パワー増大のためのトレーニングの条件、即ち(1)の条件を明らかにするためには、(2) (3)にあげた基本的な条件が満たされてはじめて検討することが可能となる。

本研究の目的は、競技力向上につながる具体的な筋パワー向上のためのトレーニングの運動の質と量を明らかにすることである。その第一歩として、(1)、(2)、(3)の関係を探るための要因について、実際にひとつの試合に勝つことを目指して行なわれた一流選手の2ヶ月にわたる合宿を追跡して検討を加えた。

2. 研究方法

1) 観察対象者：観察対象者は、昭和55年度日本学生水泳選手権男子競泳の部で団体優勝した日本大学水泳部員男子15名である。彼らの身体特性を表1-1に示す。

2) 観察期間：昭和55年6月下旬から、学生水泳選手権の終わる9月上旬までの約2ヶ月間であった。各測定項目の測定日は、図1-1にまとめて示す。

3) 測定項目

表 1-1 水泳選手の身体的特性, LBM 及び身体総カリウム量

	合宿前	中 期	合宿後
年 令(才)	20±1	—	—
身 長(cm)	175±7	—	—
体 重(kg)	68.1±4.9	67.8±5.0	66.9±5.0
L B M(kg)	60.7±4.5	60.6±4.3	60.3±4.2
身体カリウム量(g)	175.2±10.7	178.0±11.7	177.3±12.2
体脂肪量(%)	11.7±2.1	10.8±1.6	11.2±1.8

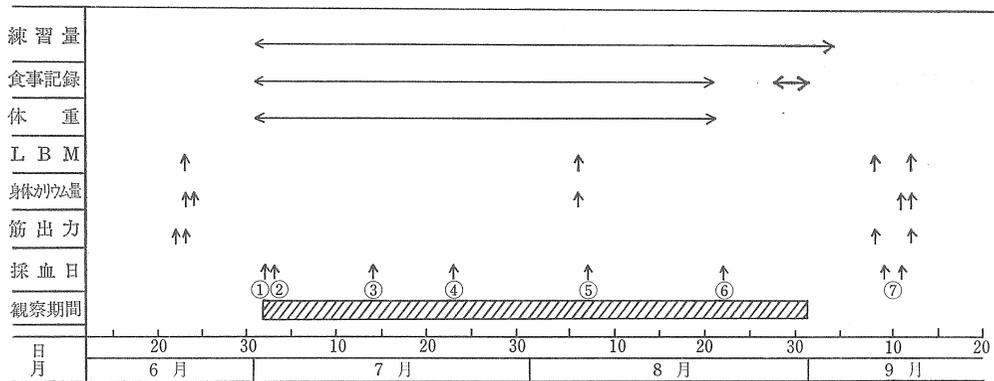


図 1-1 合宿観察期間中の各測定項目の測定実施日一覧

表 1-2 血液成分の正常範囲及び測定法一覧

測定項目	正常範囲	方 法
RBC	10 ³ /mm ³	380-480
WBC	10 ³ /mm ⁴	3.5-9.0
Hb	mg/dl	12-15
Hct	%	35-47
Total protein	g/dl	5.5-9.2
Albumin	g/dl	3.8-5.8
BUN	mg/dl	8-22
Creatinine	mg/dl	0.8-1.6
Uric Acid	mg/dl	2-6
Total bilirubin	mg/dl	0-1.5
Na	mEq/l	135-148
K	mEq/l	3.5-5.3
Alkali-phosphatase	U	3-13
LDH	U	46-124
CPK	U	0-50
γ-GTP	U	0-60
GOT	U	0-45
GPT	U	0-47
Triglyceride	mg/dl	50-170
Total Cholesterol	mg/dl	120-250
Free Cholesterol	mg/dl	''
Phospholipid	mg/dl	''

① 体重；体重は毎朝起床後，排尿排便の後に0.1kgの単位まで測定された。

② LBM，身体カリウム量；LBM (Lean Body Mass：除脂肪体重)は，観察期間の前，中，後の計3回，水中体重と残気量を求め，J. Brozek, の式²⁾より算出した。体内の細胞実質量，したがって蛋白量と相関の高い身体カリウム量の測定は，観察期間の前，中，後に東京大学原子力総合センターのヒューマン・カウンター装置による⁴⁰Kの測定から推定した。なお，合宿前及び後は，日を変えて2回測定した。

③ エネルギー及び蛋白摂取量；朝食と夕食は，合宿所において全員同じものをほぼ同量摂っているので，全材料を15（人数）で割り，1人分の量を算出した。朝食と夕食の残食とおかわり，昼食と間食は書き込み紙法により各自記録した。そして，食品分析表によりそれらを定量した。

④ 練習量；午前（午前5時より）と午後（午後5時より）の練習における1日の水泳距離を短距離群（15名中13名）と長距離群（15名中2名）とに分けて記録した。

⑤ 血液；採血は，合宿の前（2回），中（4回），後（1回）の計7回行なった。合宿後の採血以外はすべて全員同時に行なった。血液は，12時間以上の絶食の後に，朝の練習の始まる前，午前5時45分に，肘静脈より1人約20ccづつ採取した。採血は25cc用使い捨てシリンジを用いて臨床医が行なった。血清LDH 関係用の血清は常温，その他の血清は分離後冷蔵し，その日のうちに分析した。血清遊離コレステロールと血清リン脂質は，-35℃で冷凍後まとめて後日分析した。表1-2に各測定項目の測定方法及び正常範囲を示した。

⑥ 筋出力；合宿前後に等速性筋出力を測定した。筋の出力様式は，水泳中の腕の“かき”に類似した動作として，被検者をベッド上に伏臥させた状態で肘関節を約120度屈曲させ，掌でCybex II (Lumex, New York) の入力レバーを握り，前方より後方へ全力で引く動作を行なわせた。5, 20, 35 rpm の速度で，最大トルクと平均パワーを測定した。また等尺性筋力はCybex II のレバーを固定した状態で測定した⁷⁾。

4) 資料の整理

各測定項目の1～7回の測定値の変化は，対のt検定（有意水準 $P < 0.05$ ）を用いて検討した。

3. 結 果

本研究の観察対象者15名のうちわけは，短距離群13名，長距離群2名である。1日の練習量は，両群でかなり差があった。この練習量の差は，エネルギー摂取量及びストレスの程度に影響を及ぼすことが予想された。それゆえ，本研究の結果を整理するにあたり，平均値及び標準偏差は，すべて短距離群の資料から求めた。

① 体重，エネルギーと蛋白摂取量及び練習量

図1-2に，体重，1日当たりの泳距離，エネルギー及び蛋白摂取量を13名の平均値で示した。

体重：体重は7月2日に平均68.5kgあったものが徐々に減少し，7月23日には67.2kgとなり，その後はほぼ一定の値を示した。この傾向は，2～3名を除くほぼ全員に観察された。

エネルギー及び蛋白摂取量：棒グラフの実線は練習日，破線は練習休みの日の値である。図中の横線は7日間ごとの平均値である。8月21日から8月27日は，観察対象者が合宿所を離れ，別地でトレーニングを行なったため食事に関するデータが集められなかった。練習日のエネルギー摂取量は，7月20日までの合宿前期において，日による変動が大きく，しかも3000kcal以下の日が半分をこえていた。その後は，3000kcal以下の日は少なかった。練習休みの日は，前半では2600kcal前後と低かったが，後半には増加して3400kcal前後であった。蛋白摂取量はエネルギー摂取量と同様に，合宿前期では練習日の半分は100g以下の低い値を示したが，後期では120g前後であった。図1-2の右側に体重1kgあたりの1日の蛋白摂取量を示す軸を入れた。すべての日において，一般人の必要量である1.0gよりは多いが，吉村^{13),14)}が重労働者やスポーツマンに勧めている2.0g（カナダでは水泳選手に2.0gを推している¹¹⁾）を超えた日は，全期間を通じて2日しかなかった。

練習量：図中の横線は，1週間のうち練習日6日間の平均泳距離である。図の上の英単語は，コ

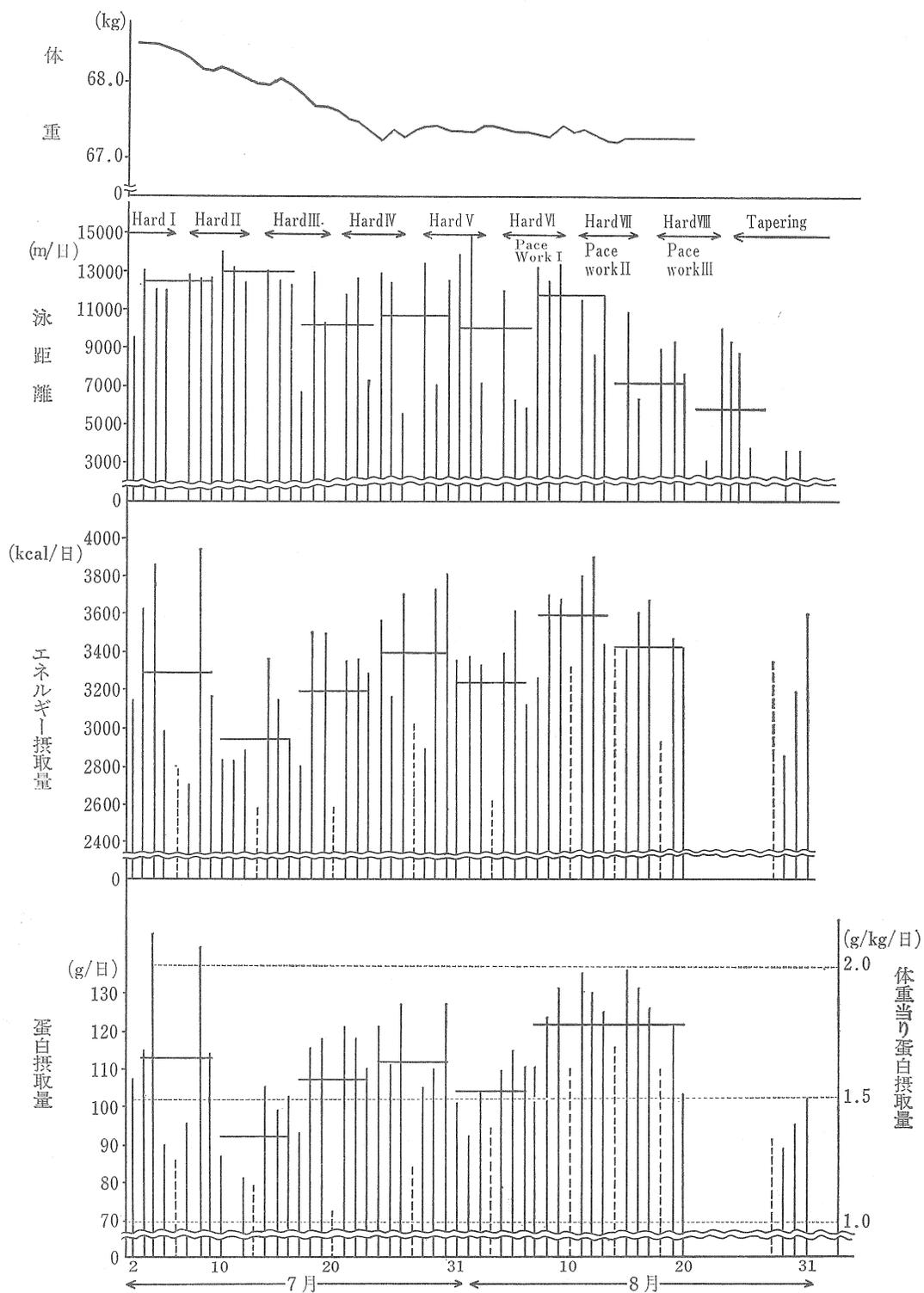


図 1-2 体重、泳距離、エネルギー及び蛋白摂取量の平均値の推移（短距離群のみ）

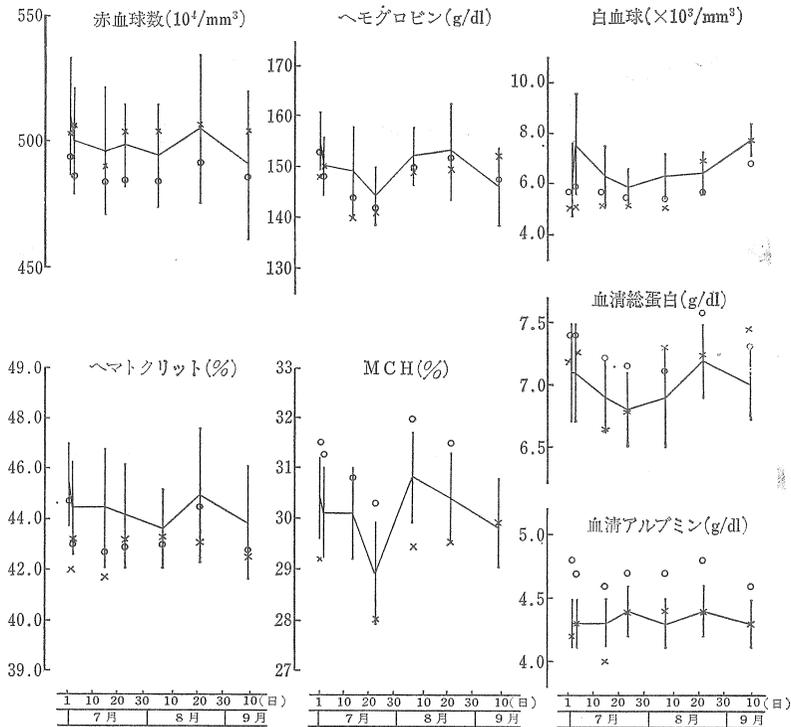


図 1-3 血液性状及び血清蛋白の変化 (平均値 ± 1 S.D.)

一チが合宿前に練習計画を作る際にその期間の練習内容を表わすとして示したものである。全期間を通してみると、最高14,050m、最低3,600mであった。前半の方がかなり練習量が多かった。1週間の平均値でみると第1, 2週が13,000m前後であるのに対し、後期の第7, 8週は6,000~7,000mであった。

長距離選手の泳距離は毎日平均5,000~6,000mほど長く、消費エネルギーは多かったが、体重、エネルギー及び蛋白摂取量は短距離群の平均とあまりかわらなかった。

② LBM, 身体カリウム量

LBM, 身体カリウム量ともに、合宿による有意な変化はみられなかった (表 1-1)。

血液成分の各測定日における短距離群の平均値 ± 標準偏差を 図 1-3 ~ 図 1-7 に示した。長距離群の 2 名の値を ○印と ×印で図中に示した。

採血条件は前述の通り一定にしたが、合宿前値としての 7 月 1 日, 2 日の測定値のいくつかに有

意差がみられた。これはおそらく 12 時間以上の絶食という条件が 2 日続いたための影響によるものであろう。また最終測定は試合後に行なわれたため試合前後の食事及び生活の変化に対する影響を受けていると思われる。その他の測定については採血前 2 ~ 3 日の条件はほぼ一定であると考えられる。

図 1-3 をみると赤血球数及びヘマトクリット値は 7 月 1 日値に比べて 8 月 7 日値で有意に低下、最終測定で有意に減少した。ヘモグロビン濃度は、トレーニング開始後、有意に減少し、7 月 23 日の測定で最低値を示した。その後 8 月 7 日値で有意に上昇し、7 月 1 日値まで回復したが、9 月の合宿後の測定で再び有意に減少した。赤血球 1 個あたりのヘモグロビン量を表わす平均赤血球色素量 (Mean Corpuscular Hemoglobin : MCH) は 7 月 23 日において急激に低下 (有意) したが、8 月 7 日には 7 月 1 日値以上に有意な上昇を示した。その後再び有意に減少し、最終測定でトレ

ニング前の値に戻った。白血球数は、7月1日値に比べて7月2日値及び最終測定値でのみ有意に

高かった。血清総蛋白及び血清アルブミンは、合宿中には有意な変化を示さなかった。

図1-4は、観察期間中の血中蛋白代謝産物の変化を示したものである。アミノ酸の代謝産物である尿素窒素は、合宿開始後有意に増加し、7月23日に最高値をとり、その後有意に減少し、最終測定で7月1日値に戻った。尿酸は7月23日でのみ有意に高い値を示した。ヘモグロビンのヘムの代謝産物であるビリルビンは最終測定で有意に高かった。また、図1-5に示した血清脂質の大きさの変化についてみると、トリグリセリドは個人差を含みながらも、全員の平均値としては有意な変化は見られなかった。総コレステロール、遊離コレステロール、リン脂質は有意ではないが、類似したパターンで変化した。つまり、これら3測定項目とも7月14日までは一定であるが、7月23日から上昇を示し、8月22日の測定までほぼ一定で、最終測定で再び減少した。さらに図1-6に示した血清中の電解質について見ると、Naは増加気味、Kは減少気味であったが有意差はなかった。図1-7は血清逸脱酵素の変化を示したものである。GPTは7月23日値で、GOTは7月23日値及び8月7日値で有意に高い値を示したが、 γ -GTPは逆に7月23日値で有意に低い値を示した。またアルカリフォスファターゼ活性は有意な変化はみられなかった。血清CPK活性は合宿開始直後が最も高く、個人内変動も大きかったが、その後徐々に減少を示した。それでも一般人の正常値の上限である50Unitよりすべての測定で高い値を示した。血清LDH活性は、7月14日と23

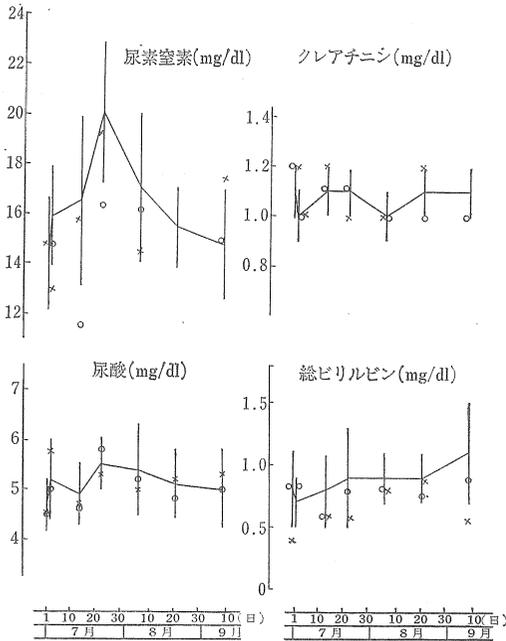


図 1-4 血中蛋白代謝産物の変化 (平均値±1 S.D)

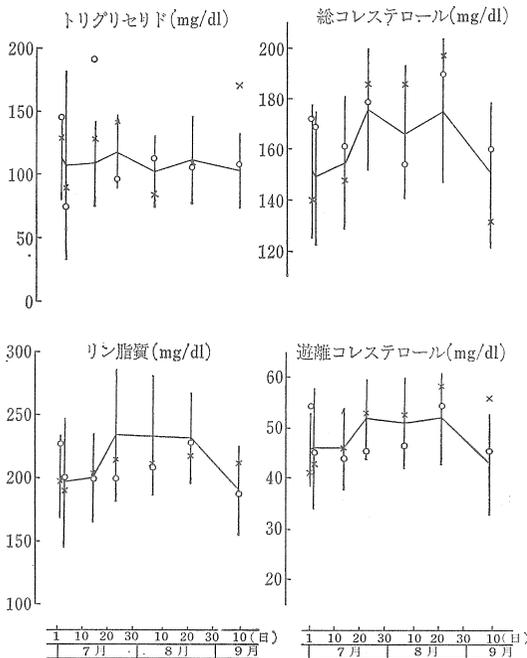


図 1-5 血清脂質の変化 (平均値±1 S.D)

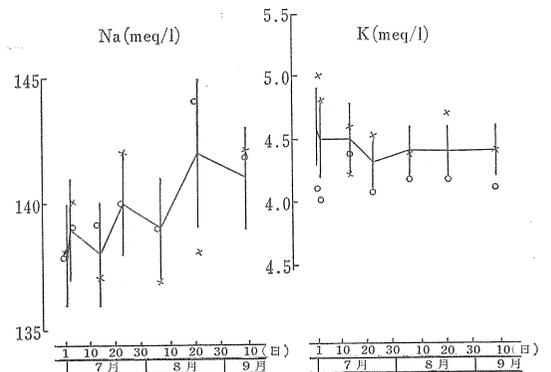


図 1-6 血清電解質の変化 (平均値±1 S.D)

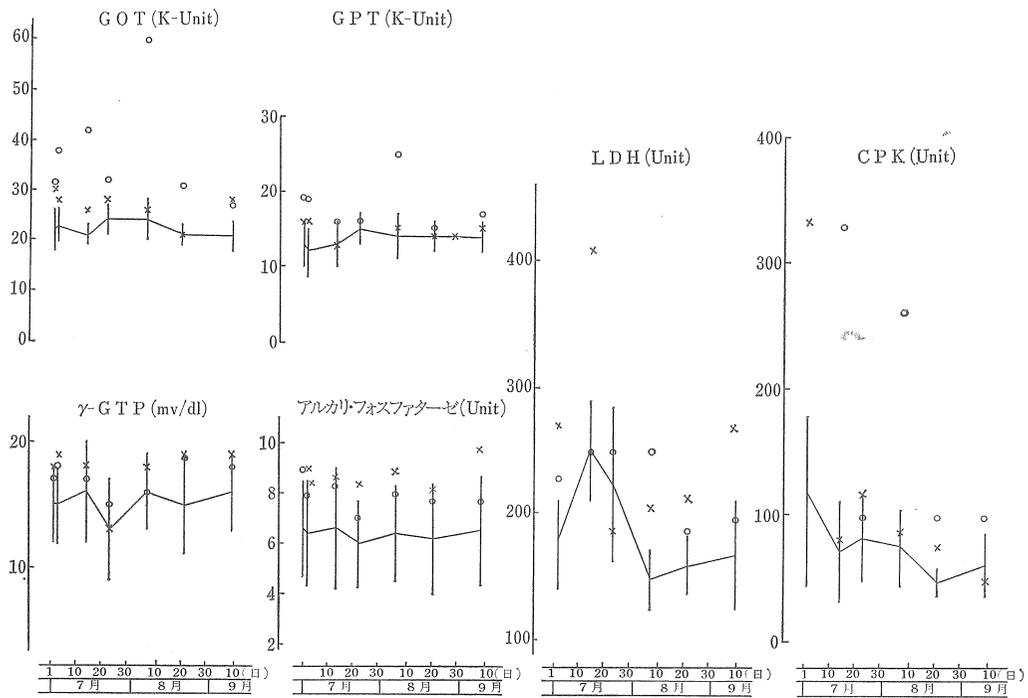


図 1-7 血清逸脱酵素の変化 (平均値±1 S.D)

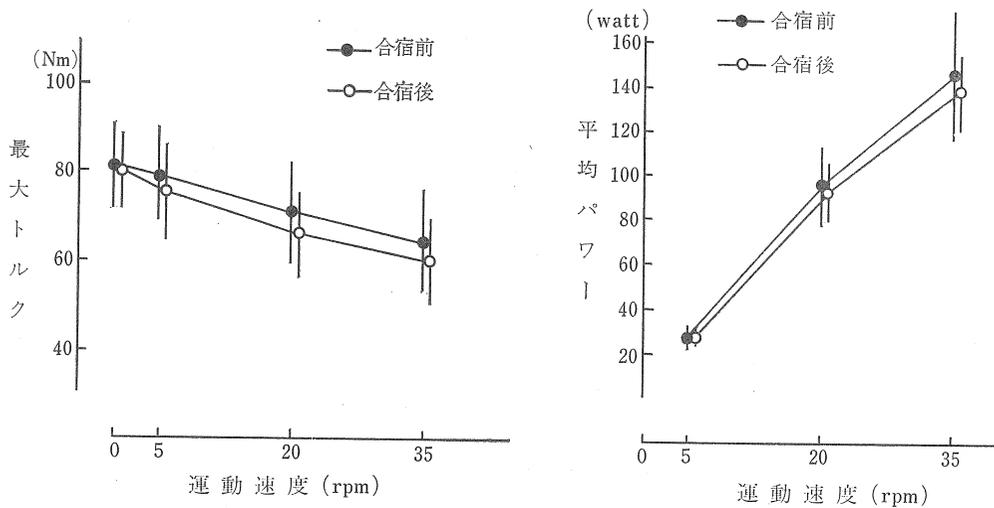


図 1-8 合宿前後における最大トルクと平均パワーの変化

日の両測定で有意に高く、合宿後半で低値を示した。長距離選手の血液成分は血清逸脱酵素のうち GOT, LDH, CPK でほとんどの測定値が短距離群の平均値以上であった。

⑥ 動的筋出力

図 1-8 は、合宿前と合宿後にサイベックス II

を用いて測定した等速性筋出力テストの結果を示したものである。全被検者の測定値の平均値と標準偏差を合宿前 (●印) と合宿後 (○印) で示した。これらの図からも明らかなように、最大トルク、平均パワーともに合宿前、合宿後において有意な差が認められなかった。

4. 論 議

本研究では、トップクラスの水泳選手を対象とした2ヶ月間のトレーニング合宿において、筋パワー及び筋量を推定する身体カリウム量に有意な変化はみられなかった。筋が肥大するための第一条件は、overloadの原則をみたま筋収縮の刺激の量と質が十分であることである。この第一の条件が満たされていたかどうか検討する上に、筋肥大のための基礎条件、即ち蛋白質とエネルギーの出納について蛋白代謝の面から考察する必要がある。

本研究では生活及び運動に要したエネルギー消費量は測定しなかった。しかしトレーニング合宿中のエネルギー消費量は、毎日の泳距離に運動の強度を考慮するとおおよその経過は把握できるものと考えた。そこで泳距離、摂取エネルギー及び体重の変動を照らし合わせてみると、合宿後半ではおおよそ3600kcalの摂取量でエネルギー出納は平衡に達していると考えられる。これに対して合宿初期では練習量は多く摂取エネルギーが少ないので、エネルギー出納は明らかに負であった。このことは、体重がトレーニング合宿開始から7月23日の測定までの間に直線的に減少したことで明らかである。一方、蛋白質の出納をみると、エネルギー摂取とほぼ同様の傾向を示し、初期では体重当たり1.5gをきる日がかなりあったが、後半では平均1.8gを摂取していた。このようにエネルギー及び蛋白の摂取量とその出納の面で合宿初期と後半では蛋白代謝への影響はかなり異なったものになった。

本研究では、合宿初期において血中ヘモグロビン及び赤血球1個当たりの平均ヘモグロビン濃度であるMCHに有意な減少がみられ、特に7月14日から23日の間で顕著であった。この変化に対応して血中の尿素窒素に33%の顕著な上昇がみられた。トレーニングに伴う血中ヘモグロビンの低下の原因に関して、①主に汗からの鉄の損失による鉄不足によるヘモグロビン合成の後退が機転となる可能性⁹⁾(即ちヘムの不足)と②ヘモグロビンの蛋白質であるグロビンの異化の亢進と合成の遅延による運動性貧血^{13), 14)}とが考えられる。前者に関しては、本研究の場合、夏期合宿であって

も主に水中でのトレーニングが主であったので汗からの鉄の損失は、陸上トレーニングに比べはるかに少いであろうこと、蛋白摂取量は正常人の必要を充たしていたことから鉄欠乏が原因となったことは考えにくい。したがって後者、即ち蛋白部分の異化が亢進したと考えられる。体蛋白の異化亢進は、まず第一に摂取エネルギー不足、次いで摂取蛋白質量の不足によって影響される^{9), 13), 14)}。このように食事条件との関連で体蛋白は増減するわけであるが、筋量に対する影響を知る上で、その増減の調節の役割を担っている体蛋白が具体的にどの組織からくるのかが非常に重要な問題となってくる。今回のように激しいトレーニングを行っていて運動の刺激が常にある場合にはどうであろうか。

蛋白質の構成単位であるアミノ酸は、アミノ酸プールという概念で示されるように、食蛋白由来のもの組織の分解によって生じたアミノ酸が区別されることなくプールされて一定の量を維持している。このアミノ酸プールは実際には主に血液と細胞内液に溶解している遊離のアミノ酸に相当する。蛋白の合成や異化(酸化を含む)に用いられるアミノ酸は、まず第一にアミノ酸プールのアミノ酸であるらしい^{3), 5)}。低蛋白食や無蛋白食⁹⁾の継続や100km歩行レースや12kmクロスカントリースキーレース等数時間にわたる激しい競技の後で、血清アミノ酸が減少し、アミノ酸の酸化物である尿素窒素が血中に増加することが報告されている^{3), 5)}。そして、この運動による尿素窒素の上昇は数日間続くという報告がある¹⁰⁾。前者の例では血中ヘモグロビンやヘマトクリットの減少を伴い、後者の例でもレース習日にヘモグロビンの減少が観察されている。本研究では血中アミノ酸を測定していないのはっきりした結論はだせないが、合宿初期のエネルギー及び蛋白質の摂取不足、激しく量的にも多いトレーニング実施という条件下で観察された体重の低下と相応した血中ヘモグロビンの減少及び血中尿素窒素の上昇は、体内アミノ酸プールの酸化による減少とそれを補うためのヘモグロビン蛋白の利用を推察してもほぼ間違いのないものと思われる。山田ら¹²⁾によれば、運動というストレス増大によるエピネフリン分泌

の増大等ホルモンの影響により、脾臓からリゾレンチンが放出され赤血球膜が破壊されると血清遊離コレステロールが増加するという。ヘモグロビンの減少にほぼ対応した中性脂肪を除く血清脂質の変化はこの観察に一致するものである。

血中尿素窒素は腎機能の低下によっても上昇するが、血中クレアチニン濃度も尿中への排出量もこの期間ほぼ一定である（とくに7月23日では尿量が減少しているにもかかわらず一定量の排出をみている）ことから腎機能の低下によるものではないと考えてもよいであろう。さらに7月23日では尿中の尿素窒素と総窒素の比が上昇していることもこれを支持するものであろう。

合宿初期におけるこのようなアミノ酸の異化の高進が、筋蛋白の収縮要素である筋線維の減少をもたらしたものと考えるににくい。この期間で体重は減少しているが、8月7日の身体カリウム量の測定では、1人を除いて全員がわずかながら身体カリウム量の上昇傾向を示した。いくつかの一般人を対象とした減量実験でも運動による場合は逆に体密度が上昇することが報告されているし^{11), 6), 15)}、先にあげた100kmレースの例でもレース後、筋線維の代謝産物である3メチルヒスチジンの血中の有意な上昇は観察されていない³⁾。これらのことを考え合わせると合宿初期の体重の減少は体脂肪量の減少と考えてもよいであろう。

合宿中～後期においては、エネルギー出納は零であり蛋白摂取量も増加した。この間の蛋白代謝について考えると、血中ヘモグロビン、尿素窒素はほぼ一定の値を示しており、尿中の窒素、尿素窒素の増加が顕著であった。これらの結果から、食蛋白の上昇により体内に増加したアミノ酸は、結局は正味としては体内に貯留されることなく、体外へ排出されたものと考えられる。合宿後半は試合の前の調整期を兼ねているので、ここで筋肥大のためのトレーニングを中心に計画するわけにはいかないものと思われるが、後半にみられたエネルギー及び蛋白質の出納の状況であれば、適正な負荷が与えられれば、筋肥大、筋パワー向上の可能性が生じるものと思われる。持久性トレーニングにより筋細胞質の遊離アミノ酸濃度は上昇するが、筋肥大は生じなかったというラットでの実

験結果⁴⁾は、筋量増大のための筋パワートレーニングの重要性を示唆するものであろう。

以上2ヶ月間にわたるトレーニング合宿をエネルギー及び蛋白に関してそのOutputとIntake、筋量、体内の蛋白代謝の面から総合的に観察した結果、競技力向上のためのトレーニングの運動条件（量と質）と食事条件の不一致がみとめられた。すなわち練習内容が、トレーニング効果を最大にするための基礎条件である栄養摂取の条件を考慮することなく計画され実施されているということである。研究目的にも述べたように、トップクラスの選手の競技力を向上させるためには、少くともその物質的条件の基礎となる栄養条件を確立する必要がある。本研究では合宿初期にCPK、LDH、GOT、GPTなどの血中逸脱酵素が正常範囲以上に上昇したものが長距離選手を含めて数名にみられた。トレーニングのoverloadの原則が適正に負荷されているならば、これらの変化も一過性の現象として扱えられるが、栄養面での悪条件や不適切な状況において激しい練習がなされたならば、トレーニング効果を抑制するばかりでなく、選手の健康上の問題となりかねないであろう。また今回の追跡調査では、筋パワートレーニングを“好まない”という選手の基本的な姿勢もあり、陸上での筋パワートレーニングを定量的に負荷できなかったが、基礎的要因がみとされた条件のもとで、再度筋肥大のためのパワートレーニングを負荷した場合の蛋白代謝、筋量、筋パワーの関係を明らかにする必要があると考える。

本研究を実施するにあたり、日本大学水泳部、東島コーチ、上野マネージャーおよび水泳部員諸氏、採血に当たり東京厚生年金病院整形外科の武藤芳照氏の甚大なる御協力に対し深く感謝の意を表します。

なお本研究は、昭和55年度、体協スポーツ科学委員会プロジェクト「競技選手における筋肉量と蛋白代謝に関する研究」（研究班長、東京大学、宮下充正教授）の分担研究として行なわれたものである。

引用文献

- 1) Atomi Y. and M. Miyashita, Effects of weight reduction on aerobic power and body composition of middle-aged women. *Sci Sports* 投稿中
- 2) Brozek, J., F. Grande, J. T. Anderson, and A. Keys. Densitometric analysis of body composition. Review of some quantitative assumptions *Ann. N. Y. Acad. Sci* 110 : 113-140, 1963.
- 3) Decombaz, J., P. Reinhardt, K. Anantharaman, G. von Glutz, and J. R. Poortmans. Biochemical changes in a 100 km run: free amino acids, urea, and creatinine. *Eur. J. Appl. Physiol.* 41 : 61-72, 1979.
- 4) Dohm, G. L., A. L. Hecker, W. E. Brown G. J. Klain, F. R. Puente, E. W. Askew, and G. R. Beecher. Adaptation of protein metabolism to endurance training. *Biochem. J.* 164 : 705-708, 1977.
- 5) Haralambie, G. and A. Berg. wea and amino nitrogen changes with exercise duration. *Europ. J. Appl. Physiol.* 36 : 39-48, 1976.
- 6) Lewis, S., W. L. Haskell, P. D. Wood, N. Manoogian, J. E. Bailey, M. Pereira. Effect of physical activity on weight reduction in obese middle-aged women. *Am. J. Clin. Nutr.* 29 : 151-156 1976.
- 7) 宮下充正, 金久博昭, 水泳選手の筋出力発揮に見られる年令的推移, 昭和54年度日本体育協会スポーツ医・科学研究事業報告. No. II. 競技種目別競技力向上に関する研究—第3報 27—31, 1980.
- 8) 長峰晋吉, 井川幸雄, 磯員行秀, 伊藤朗, 香川芳子, 黒田善雄, 鈴木一正, 吉野芳夫. スポーツ選手における貧血の発生と予防に関する研究, 第2報, 貧血の発生要因の検討. 昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告. No. III.
- 9) Nakano, K., M. Katsuzaki, M. Mizutani and K. Ashida, Further studies on the effect of dietary carbohydrate and fat on protein metabolism in rats. *J. Nutr.* 102 : 283-290, 1972.
- 10) Refsum, H. E. and S. B. Strömme. Urea and creatinine production and excretion in urine during and after prolonged heavy exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 33 : 247-254, 1974.
- 11) Rushall, B. S. and J. D. Busch. Hematological responses to training in elite swimmers. *Can. J. Appl. Spt. Sci.* 5 : 164-169, 1980.
- 12) 山田敏夫, 砥堀雅信, 芦田輝子, 日比谷朔郎, 一

井敏郎, 池田喜代 運動訓練時の赤血球脆弱性と脂質組成に及ぼすたん白栄養の影響について, 第35回日本体力医学会大会予稿集 203, 1980.

- 13) 吉村寿人, 宇佐美駿一, 吉志谷淳三, 吉岡利治. 重労働者の蛋白所要量に関する研究(V), 筋労働時の蛋白代謝に関する研究. *生化学.* 29 : 143-153 1957.
- 14) 吉村寿人, 労働時の蛋白代謝と蛋白必要量. *栄養と食糧* 7 : 199-207, 1954.
- 15) Zuti, W. B. and L. A. Golding. Comparing diet and exercise as weight reduction tools. *The physician and sportsmedicine.* 4 : 49-53, 1976

III トレーニングにともなう尿中物質の変動と蛋白代謝

報告者 芝山 秀太郎

研究協力者 江橋 博 西島 洋子

松沢 真知子

(明治生命体力医学研究所)

緒言

筋運動時のエネルギー供給は, anaerobic な解糖過程によるものと, TCA cycle で代謝される aerobic な過程での ATP 産生によるものがある。これらの生体内代謝の中心的役割を果すものは肝臓であり, 逆にいえば, 肝機能は, 糖質, 脂質および蛋白質という3大栄養素すべての代謝作用に関係する。したがって運動時のエネルギー消費の観察にあたっては, 肝臓の代謝調節の総合的な追究が不可欠の条件である^{1), 12), 13)}。

運動に際して, これらのエネルギーを直接必要とするのは筋である^{10), 15)}。とくに腕や脚を主とした筋収縮によって, physical performance としての力の発揮が行なわれる。しかし, エネルギー供給を受けて収縮した筋の発生する力は, 終局的には筋の横断面積の函数といわれており, この限りでは, すぐれた筋力発揮のためには筋量そのものの増大も必須の条件となる。とくに水泳のように水中における推進力を, 筋力にたいする水の抵抗の反作用によって生み出す競技では, 競技力向上の大半を筋力増加に負うこととなる^{3), 11), 21)}。

蛋白質およびアミノ酸は, 一般的には筋の構築

材であり、これを分解してエネルギー源とするような著しい消耗状態はむしろ例外的である^{17),27)}。事実、普通の運動によって、たとえば酸化的脱アミノ基作用による最終代謝産物としての尿中窒素は増加しないといわれている^{14),28)}。しかし最近では、たとえば激運動時に骨格筋より血中へのアラニンが増加するなど、糖質や脂質などのエネルギー源が必ずしも枯渇していなくても、蛋白質分解に由来するエネルギー供給の少なくないことが知られるようになった^{9),26)}。このような蛋白代謝が、筋量ひいては筋力増加という競技力向上の原則と相容れない性質のものであることは言をまたない。

したがって水泳競技における選手強化のためのトレーニングといった長期間にわたる激運動の負荷にあたっては、糖質および脂質の代謝調節を高めるとともに、エネルギー供給における蛋白代謝への依存度を可能な限り小さくするような機転の形成が期待される。このような視点に立つ本研究では、前述したように肝臓の代謝機能の総合的な検討を必要とするが、本報告ではこのような代謝因子のうち、尿中物質の変動パターンから、肝機能を主とする蛋白代謝とその調節機構に考察を加えてみた。

実験方法

被検者には、1980年度のオリンピック代表選手を含む、一流の水泳競技選手16名をえらんだ。いずれも日本大学水泳部に所属し、intercollegiate競技会において優秀な成績を残している。競技種目による内訳は、自由形6名(内長距離2名)、平泳2名、バタフライ4名、背泳2名、個人メドレー2名となっている。年齢は、実験当時18才4か月から21才11か月に分布し、平均 20.1 ± 1.2 才であった。

採尿は1日量とし、日大水泳部合宿所(東京都目黒区碑文谷)において行なった。被検者は起床時の午前5時30分に排尿し、次の排尿時からのすべてを蓄尿した。すなわち、水泳トレーニングを含む日中はもちろん、登校などの外出時にも所定の容器を携帯させ、また夜間の尿も採集して、翌朝午前5時30分時の採尿をもって終了とした。

尿は、ただちに尿量を測定したのち、pH指示薬により尿pHを求めた。次いでBoehringer-Mannheimのtest stripにより、蛋白(蛋白誤差法)、糖(ブドウ糖酵素法)、Keton体(Sodium nitroprussid法)、Urobilinogen(Azo coupling法)、Bilirubin(Azo coupling法)、潜血(hemoglobin接触活性法)および細菌(亜硝酸塩法)の、それぞれ尿定性試験を行なった。尿中物質の測定にあたっては、5℃以下の条件下に冷蔵した尿を用い、総窒素(Total-N, Rappaport変法)、尿素窒素(BUN, Urease indophenol法)、尿酸(UA, Folin変法)、Creatinine(CRTN, Jaffe変法)などの窒素化合物のほか、ナトリウム(Na, 炎光光度法)、カリウム(K, 炎光光度法)、クロール(Cl, Thiocyanic acid水銀比色法)などの電解質、酵素としてアミラーゼ(AMY, Blue starch法)、そして副腎皮質ホルモンのうちから17-OHCS(Porter-silber反応)および17-KS(Zimmerman反応)、さらに20mlの尿に少量の6-N塩酸を加えて凍結しVMA(Pisano法)を、それぞれ定量した。

水泳選手のハード・トレーニングを主内容とする強化合宿は、1980年7月1日から同9月1日に至る間に、前記の日大水泳部合宿所で行なわれた。このときのトレーニング経過にともなう尿中物質変動の観察時点は次のごとくであった。

- 1) トレーニング前…7月1日
- 2) 合宿中Ⅰ……………7月15日あるいは16日
- 3) 合宿中Ⅱ……………7月23日
- 4) 合宿中Ⅲ……………8月7日
- 5) 合宿中Ⅳ……………8月19日
- 6) トレーニング後…9月2日

これら水泳選手の身体的特性、強化合宿中のエネルギー摂取内容などは、別に触れられるので省略する。

実験成績

1. 尿量の変動

水泳選手の強化合宿の前中後における、1日蓄尿量の変動を図2-1に示した。図は、各測定日における参加全選手の平均値の動向として表わした。尿量は合宿前で平均 $1,357.9\text{ml/day}$ 、合宿後

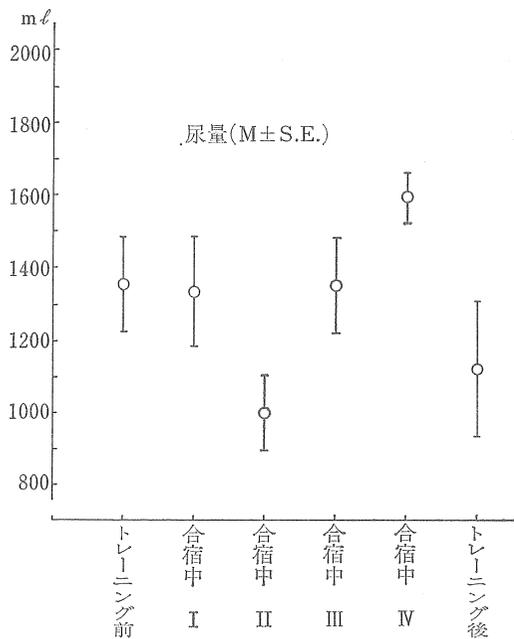


図 2-1 一流水泳選手の強化合宿時における尿量の変動

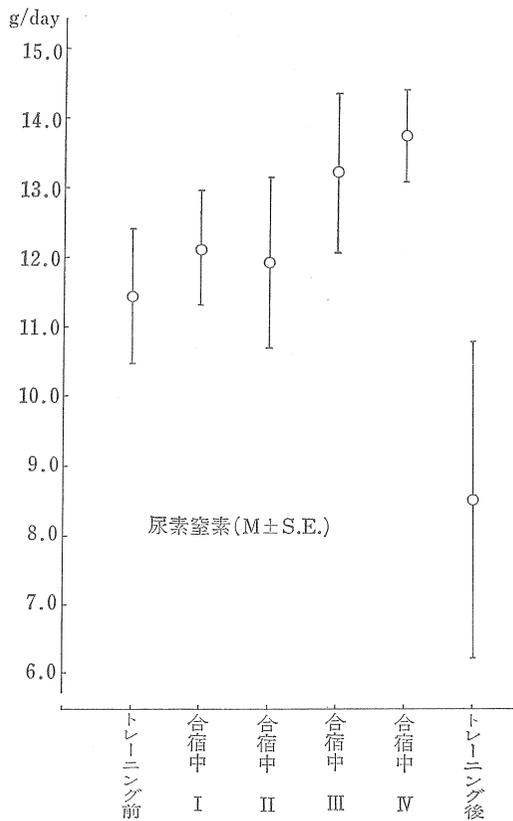


図 2-3 一流水泳選手の強化合宿時における尿素窒素排泄量の変動

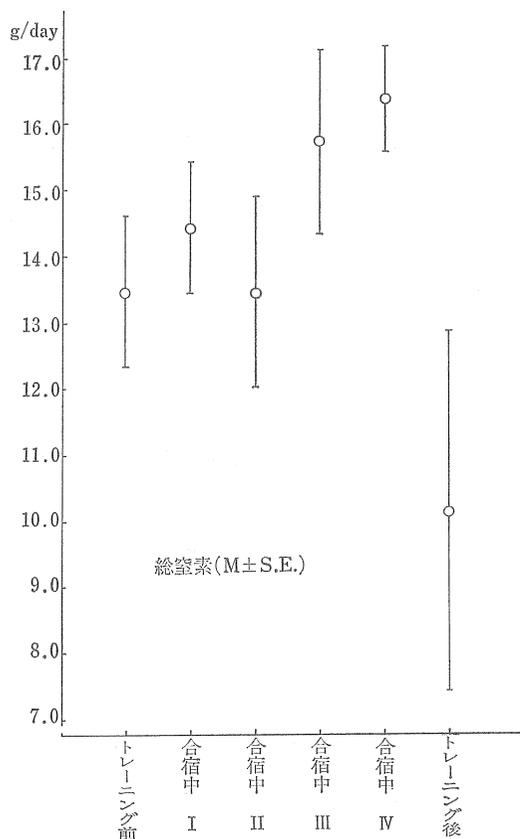


図 2-2 一流水泳選手の強化合宿時における尿中総窒素排泄量の変動

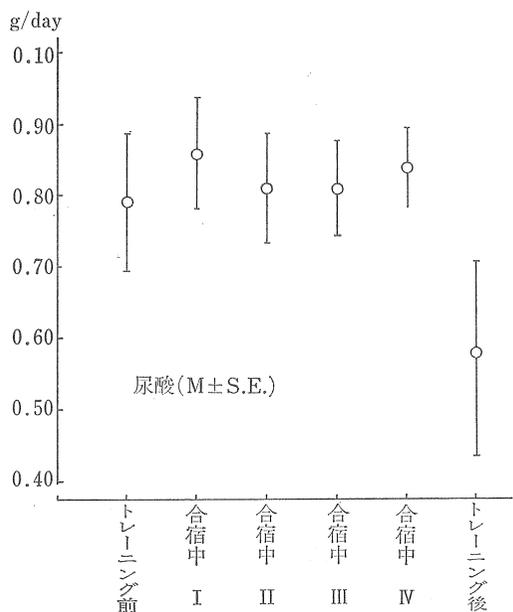


図 2-4 一流水泳選手の強化合宿時における尿酸排泄量の変動

で同 1,123.2ml/day となり、合宿中も 1,000.2 ないし 1,596.1ml/day という一般成人の正常範囲内で推移し、1日蓄尿量に特定の変動傾向は認められなかった。

2. 尿中窒素化合物の変動

体内の窒素代謝の調節を知る指標とした尿中総窒素の、強化合宿時の変動を 図 2-2 に示した。図は同じく参加全選手の平均値の動向として示したが、合宿前に平均13.47g/dayであったものが、合宿の経過とともに排泄量に増加の傾向がみられ、合宿第4回測定時には平均 16.39g/day と一般成人の正常範囲の上限界に達した。しかし合宿終了後の尿中総窒素は急速に減少し、平均10.14g/day と正常範囲ではあるが、下限界近くの排泄量に減少した。

肝臓における蛋白質中間代謝の機能を知る指標とした尿素窒素の、強化合宿にともなう変動を 図 2-3 に示した。同じく合宿前に平均11.44g/dayであったものが、合宿の経過とともに排泄量が増加し、合宿第4回測定時には平均 13.77g/day と一般成人の正常範囲の上限界に達した。しかし合宿終了後の尿素窒素は、同じく急激に減少し、8.53 g/day と下限界近くの排泄量を示すにとどまった。

摂取食物中の核蛋白質などに由来するものも含めて、プリン体代謝の終末産物としての尿酸の、強化合宿にともなう変動を 図 2-4 に示した。合宿前の平均 0.79g/day から合宿の経過にともなわずかな増加の傾向を示し、合宿第4回測定時には平均 0.84g/day に達したが、合宿終了後は図にもあるように 0.58g/day と一般成人の正常範囲の下限界近くに、排泄量の減少を示した。

筋肉中に存在するクレアチン磷酸は、貯蔵エネルギー源として重要な役割を果たすが、その脱水物であるクレアチンは、体内全組織の水分中に平等に含まれていると考えられており、正常尿中には常に 1~2g/day 程度の排泄のあることが認められている。図 2-5 にも示したように合宿前では参加全選手の平均が 1.40g/day であったが、その後、著しい変動はなく、合宿第4回測定時に 1.68g/day とやや増加の傾向を示したものの、合宿終了後のクレアチンは、やはり平均1.18g/day

と著しい減少となった。

3. 尿中電解質および酵素の変動

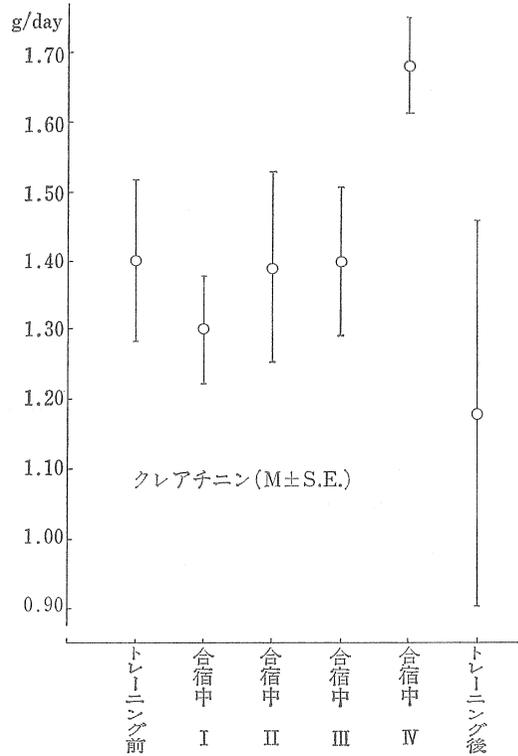


図 2-5 一流水泳選手の強化合宿時における尿中クレアチニン排泄量の変動

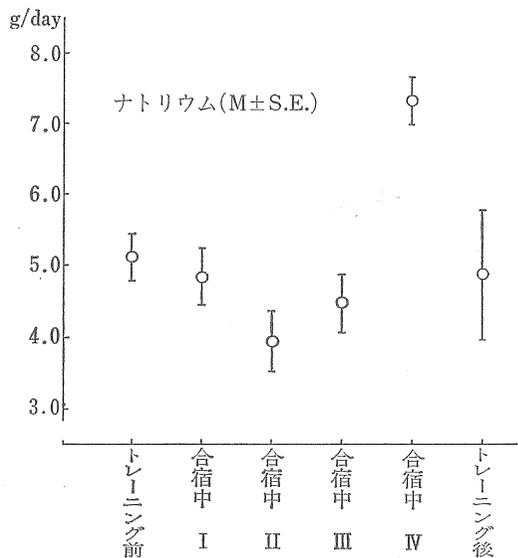


図 2-6 一流水泳選手の強化合宿時における尿中ナトリウム排泄量の変動

尿中電解質の変動はナトリウム、カリウムおよびクロールによって観察した。図2-6に示したナトリウムは、合宿前の平均 5.11g/day から、その後も大きな変動はなく、合宿第4回測定時のみ 7.33g/day と著しい増加となったが合宿終了後は 4.88g/day と、ほぼ合宿前のナトリウム排泄量を回復していた。図2-7に示したカリウムでは、合宿前の平均 1.61g/day から、強化合宿

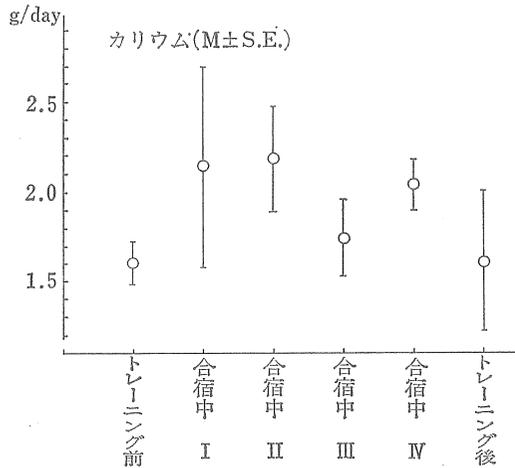


図 2-7 一流水泳選手の強化合宿時における尿中カリウム排泄量の変動

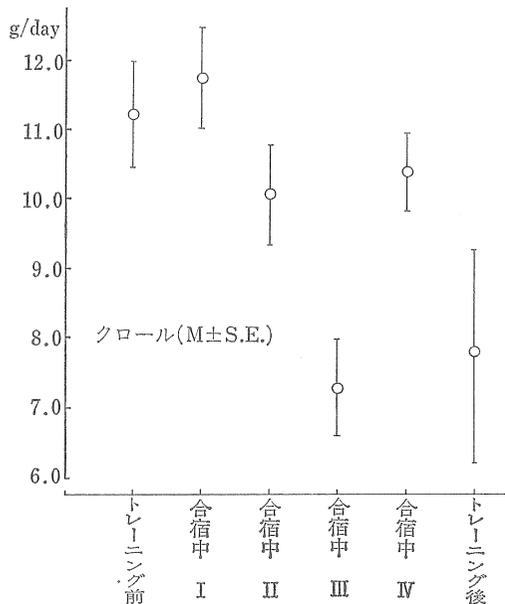


図 2-8 一流水泳選手の強化合宿時における尿中クロール排泄量の変動

中、やや尿中排泄量増加の傾向を示したが、合宿終了後は 1.62g/day と、ほぼ合宿前のカリウム排泄量と一致していた。図2-8に示したクロールでは、合宿前の平均 11.21g/day から、強化合宿にともない徐々に減少しはじめ、合宿終了後は平均 7.75g/day の尿中排泄量であった。一般に、これら尿中電解質の合宿にともなう変動は、必ずしも有意な傾向としてとらえることはできなかった。

酵素アミラーゼの尿中排泄量の変動は、図2-9に示した。合宿前の平均 349.25U/hr は、一般成人の正常範囲のほぼ上限界に相当したが、合宿の経過とともに、図のように次第に減少していき、合宿終了後には平均 160.67U/hr と、前記正常範囲の、ほぼ下限界に近い値となった。

4. 尿定性試験の成績

定性試験は、蛋白、糖、Keton体、Urobilino-gen, Bilirubin, 潜血および細菌についてテストした。トレーニング前はもちろんのこと、合宿中 I および合宿中 II の段階では、実験に参加した全選

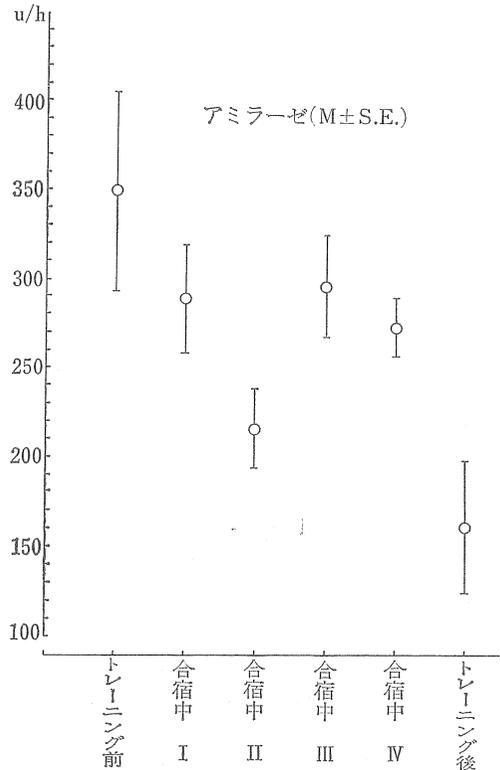


図 2-9 一流水泳選手の強化合宿時における尿中アミラーゼ排泄量の変動

宿中Ⅲおよび合宿中Ⅳの段階、あるいは合宿終了のトレーニング後の段階では、1ないし3名に25 mg/100ml までの尿蛋白陽性反応が認められた。また特定の1名については、合宿中Ⅳの段階およびトレーニング後の時点で細菌尿の疑いが生じたが、内科的な異常を見つけることはできなかった。

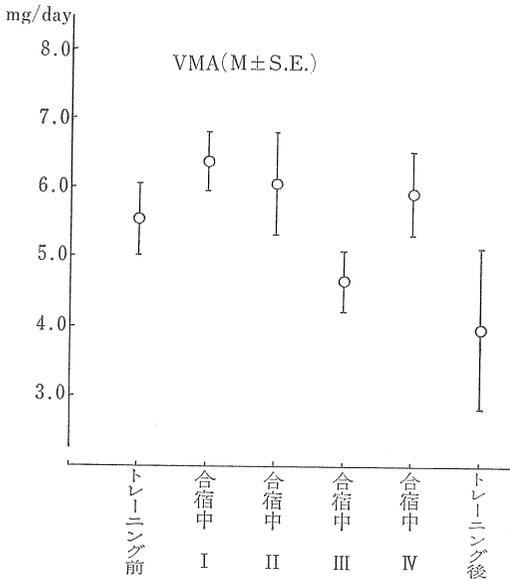


図 2-10 一流水泳選手の強化合宿時における尿中 VMA 排泄量の変動

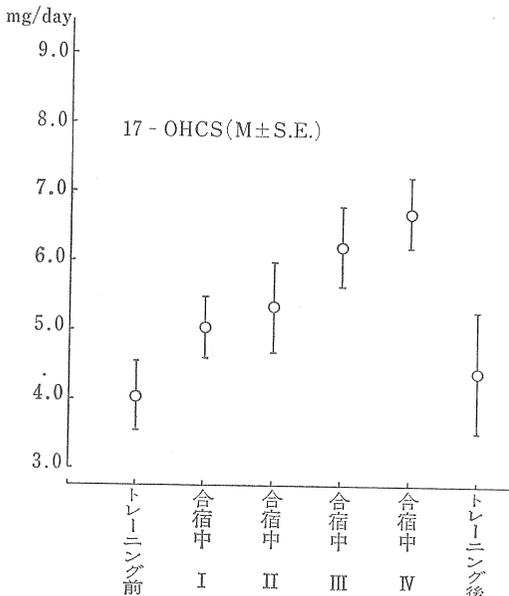


図 2-11 一流水泳選手の強化合宿時における尿中 17-OHCS 排泄量の変動

手16名とも、全項目に陰性を示した。しかし次の5. 尿中ホルモンの変動

交感・副腎系ホルモンをみるものとして尿中 VMA 排泄量の変動を図 2-10 に示した。合宿前の参加全選手の平均 5.54mg/day にたいし、強化合宿中、わずかに増加の傾向がみられたが、合宿終了後は、平均 3.97mg/day と一般成人の正常範囲の下限界近くまで著しい排泄量の減少をみた。

次に、副腎皮質ホルモンのうち尿中 17-OHCS 排泄量の変動を図 2-11 に示した。合宿前の平均 4.04mg/day から、強化合宿にともなう排泄量の推移は、図のようにはほぼ直線的に増加していき、合宿第 4 回測定時には平均 6.69mg/day と、一般成人の正常範囲のおよ上限界にまで達した。しかし合宿終了とともにこの尿中排泄量は激減し、平均 4.40mg/day と合宿前のレベルに回復していた。同じく尿中 17-KS 排泄量の変動を図 2-12 に示した。この 17-KS 値は、合宿前の平均 9.27mg/day から、合宿の経過にともなって漸次減少の傾向を示し、図のように合宿終了後に平均 6.85mg/day と、この期間の最小値を示した。

考 察

運動時の体内におけるさまざまな中間代謝を統

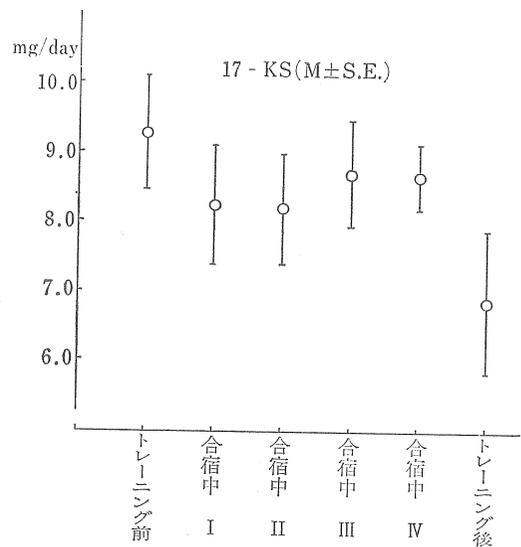


図 2-12 一流水泳選手の強化合宿時における尿中 17-KS 排泄量の変動

合し、中心的役割を果すものは肝臓であるが、多くの代謝調節に関する因子のうち、尿中物質の変動パターンから得られる情報は血中諸物質のそれにくらべ、肝機能の動態を瞬時に反映するものではない。しかしたとえば、尿中総窒素量は、ほぼ異化された蛋白質窒素量と等しいことが知られており²⁸⁾、体内窒素代謝、とくに一定期間内の窒素平衡をみる上に重要な情報を与えてくれる。

実験成績でも触れたように、オリンピック代表を含む一流水泳競技選手の、ハード・トレーニングを主内容とする2か月間の強化合宿では、まず、尿中に排泄される総窒素量が、平均でも21.7%の増加、個々のケースでは最高105%の増加を示していた。もともと、蛋白質はおよそ16%の窒素を含んでいるが、これがエネルギーとして燃焼する際には、この窒素が脱アミノされて尿中に排泄されることが知られている²⁸⁾。したがって尿中の総窒素量を測定して、単純にはそれを6.25倍すれば燃焼した蛋白質の量を求めることもできる。したがって、少なくとも平均的傾向として、強化合宿時に、各水泳選手は、異化された体蛋白が、20%以上も量的に増大してくると推測することができる。

一般には3大栄養素と並び称されても、蛋白質は、他の糖質や脂質と異なり、代謝の効率が必ずしも良くない^{14),17),29)}。蛋白質は、完全燃焼すれば、それは1gにつき5.65Calのエネルギー量を発生するが、実際には吸収率が100%に達しないうえに、糖質などに比して完全燃焼することもないため、30%を減じてカロリー換算率を4.0Calと量定されている^{12),27)}。これら蛋白質の未利用部分も、尿素とか尿酸といった窒素化合物として、尿中にそのまま排泄されることが知られている²⁹⁾。図2-4に示した尿酸値は、強化合宿時の変動が、平均では10%にも満たない程度の、わずかな排泄量増加に過ぎないが、尿素窒素は図2-3にあるように、平均でも強化合宿にともない、20%を越える排泄量増加を示している。これらの動向は、全排泄量をかりに未利用部分と仮定したとしても、蛋白代謝の高まっていることを示唆する一つの資料に外ならないと考えられる。

一般に、激運動では、生理機能の代謝水準が高

まり、エネルギー源の大量の需要が生じるとともに、筋などの体構成要素の消耗も生じる^{11),19),20)}。たとえば運動鍛練性の貧血について、赤血球成分の減少を、血中蛋白の筋蛋白への供給利用によるとする推定もなされている¹¹⁾。運動に際してはこのように、大筋群活動が主となるため、筋線維内でも新陳代謝が亢進し、構築材としての蛋白質の交換も活発になると考えられている。クレアチニンはこのような大筋群活動の結果、尿中に排泄される窒素化合物であり、生体負担の大きい運動であるほど、量的増大も著しいことが知られている^{5),15),16)}。図2-5で示した尿中クレアチニン排泄量は、必ずしも著しい変動を示していないが、それでも合宿第4回測定時にはかなりの増加が認められる。

これら尿中窒素化合物の変動のなかで、最も特徴的なことは、尿量の変動が多少バラツキをもつにしても、合宿終了のトレーニング後の時点で、尿中総窒素、尿素窒素、尿酸、クレアチニンなどの排泄量がいずれも激減していることである。いずれも一般成人の正常範囲を逸脱するほどの値ではないが、確実に有意の減少を示している。しかも比較的、平均値からの分散も、図に示したように大きい。

本実験の被検者となった一流水泳競技選手にとっては、強化合宿に入る前の身体的条件が、すでに水泳シーズンを迎えてかなりのトレーニング計画を消化している段階であることが考えられ、したがって合宿前の生理的諸機能の測定値は、その後の強化合宿中の身体的条件に連続している。これに反し、トレーニング後の時点は、全日本水泳選手権の終了2日後で、大学対抗競技会および国民体育大会出場者以外は、シーズン終了を迎えた、いわば休息状態に近いものと推測される。したがって、肝臓における蛋白中間代謝を含め、体内すべての窒素代謝も、また、これを調節する内分泌機能も、ともに、単に著しく低下減少したというよりは、むしろ平常の状態に復したのではないかと思われる。折から平均値的には減少したにもかかわらず、その分散の著しく大きくなった原因として、これら水泳選手に、シーズン終了者と、さらに続く全国的規模の競技会出場者とが混

在していることによるとする推定も成り立つ。

副腎・交感神経系のホルモンであるカテコールアミンは、その大部分が VMA まで代謝されて尿中に排泄される。この排泄量は遊離カテコールアミンのほぼ10倍量に相当するといわれ、生体内のカテコールアミン・レベルを間接的に知る手段として、その有用性が高く評価されている^{2),7),26)}。運動の負荷強度が高いとき、カテコールアミン分泌も増大し、exhaustive exercise 時の尿中 VMA 排泄量は指数函数的に増加することが知られている^{4),22),24)}。しかし高度のトレーニングによって、同一の生体負担にたいするカテコールアミン放出の減少することも知られており、尿中 VMA 排泄も、増加量が少なくて済むようになる^{6),8),18),25)}。図2—10に示した水泳選手の強化合宿にともなう、尿中 VMA 排泄量の推移も、合宿の期間中、わずかな増加にとどまっている。これはハード・トレーニングにもかかわらず、副腎・交感神経系に、前述したような一種の適応が生じたものと推察される。

このことは次の副腎皮質ホルモンの動態からも推定される。図2—11はその尿中代謝産物である 17-OHCS 排泄量をみたものであるが、実験成績でも触れたように、合宿中、ほぼ直線的に増加していく。運動が生体にとってストレスの1種である以上、このストレスに対応して副腎皮質ホルモン分泌にも変動が生ずることは当然であり、とくに 17-KS の尿中排泄量はストレスの違いによって減少することはあっても、17-OHCS の尿中排泄量は、負荷強度に対応して増加することが知られている^{4),23),25)}。これらの知見をあわせ考えれば、代謝的変動ばかりでなく、内分泌機能の反応が、ハード・トレーニングに適応しつつも、かなり高い水準の充進を示していることがうかがわれる。しかもこれらのホルモン調節の変動パターンからみても、合宿終了のトレーニング後の時点が、比較的安静状態にある者を含む分布となっていることを示唆している。

これらを要約すると、一流水泳競技選手の2か月わたる強化合宿においては、尿中物質の変動パターンから推察すれば、合宿の経過にともない、筋線維内での新陳代謝が充進し、構築材とし

ての蛋白質の交換が活発化しているものと考えられ、肝臓の蛋白中間代謝を含む、体内すべての窒素代謝がうながされ、同時にこれを調節する副腎・交感神経系の内分泌機能も著しく充進してることが示唆された。こうした尿中窒素の排泄は、体内で異化された蛋白質窒素量とほぼ等しいことが知られており、窒素平衡からみる限り、筋量ひいては筋力増加という競技力向上の原則に照らして、必ずしも十分な目的を果すものとはなり得ないのではないかと考察した。

蛋白質は、前述したように、外からの摂取にたいし、吸収率が良くない上にエネルギー発生効率もわるく、さらにその蛋白質を体内で同化するためのエネルギーが30%ほど余分に必要と推量されている²⁷⁾。したがって、今回、実験の対象として取り上げた水泳選手の強化合宿が、運動時のエネルギー需要にたいして、蛋白質を中心とするエネルギー供給が、まだ相当量の不足を来たしていると考えられよう。

総 括

運動時の生体内代謝の中心的役割を果すものは肝臓であり、糖質、脂質および蛋白質という3大栄養素すべての代謝作用に関係する。これらのエネルギー供給を受けて、筋収縮とそれにともなう力の発揮が行なわれるが、一方、筋力は筋の横断面積の函数といわれており、水泳のように、水中における推進力を、筋力にたいする水の抵抗の反作用によって生み出す競技では、筋量増大が競技力向上のための必須条件となる。したがって選手強化のためのトレーニングでは、エネルギー供給における蛋白代謝への依存度を、可能な限り小さくするような機転の形成が期待される。本報告では、一流水泳競技選手の強化合宿時の尿中物質の変動パターンを観察することによって、肝機能を主とする蛋白代謝とその調節機構に考察を加えようとした。

被検者には、1980年度のオリンピック代表選手を含む、一流水泳競技選手16名をえらんだ。年齢は平均 20.1 ± 1.2 才であった。採尿は1日量とし、尿量、尿 pH のほか、総窒素、尿素窒素、尿酸、Creatinineなどの窒素化合物、ナトリウム、カリ

ウム、クロールなどの電解質、酵素アミラーゼ、また VMA, 17-OHCS, 17-KS などの副腎・交感神経系ホルモンを測定した。水泳選手の強化合宿は1980年7月1日から同9月1日まで、日大水泳部合宿所で行なわれ、尿中物質変動の観察には、合宿前後と合宿中4回の時点を選んだ。

尿量の変動傾向に特徴はみられなかったが、尿中窒素化合物は、一般成人の正常値の範囲内で、合宿の経過にともない変動した。すなわち、尿中総窒素量および尿素窒素は増加、また尿酸およびクレアチニンの尿中排泄量もわずかながら増加の傾向を示した。尿中電解質の排泄量には有意の大きな変動はみられなかったが、酵素アミラーゼはやや減少の傾向を示した。尿定性試験成績では、強化合宿の後半に若干名の尿蛋白陽性反応が出現した。副腎・交感神経系ホルモンの動態をみる指標としてえらんだ尿中 VMA 排泄量は、合宿中わずかながら増加の傾向を示し、また 17-OHCS 排泄量もほぼ直線的な増加を示したが、17-KS 値はむしろ漸減の傾向にあった。

このような一流水泳競技選手の2か月にわたる強化合宿中の尿中物質の変動パターンから考えて、合宿の経過にともない、筋線維内での新陳代謝が亢進し、構築材としての蛋白質の交換が活発化しているものと考えられ、肝臓の蛋白中間代謝を含む、体内すべての窒素代謝がうながされ、同時に、これを調節する副腎・交感神経系の内分泌機能も著しく亢進してくることが示唆された。こうした尿中窒素の排泄は、体内で異化された蛋白質窒素量とはほぼ等しいことが確められており、窒素平衡からみる限り、この強化合宿におけるトレーニングが、筋量の増大あるいは筋力の発達という水泳競技力向上の原則とは、一部、相容れない部分のあったことが推察された。したがって運動時のエネルギー需要をカバーするためには、本実験でとりあげた合宿条件のような場合、蛋白質を中心とする一層のエネルギー供給を必要とするのではないかと考えた。

本研究を実施するにあたり、日本大学水泳部・東島コーチ、上野マネージャーおよび水泳部員諸氏の好意あるご協力を得た。ここに記して深く感謝

の意を表します。

なお本研究は、昭和55年度・体協スポーツ科学委員会プロジェクト「競技選手における筋肉量と蛋白代謝に関する研究」(研究班長・東京大学・宮下充正助教授)の分担研究として行なわれたものである。

参 考 文 献

- 1) Costill, D. L. (1970): Metabolic responses during distance running., *J. Appl. Physiol.* **28**, 251-255.
- 2) Davies, C. T. M. and J. D. Few (1973): Effects of exercise on adrenocortical function., *J. Appl. Physiol.*, **35**, 887-891.
- 3) Duffield, M. H. (1969): Exercise in water., Bailliere, Tindall & Cassell Ltd, London.
- 4) Euler, U. S. v. (1974): Sympatho-adrenal activity in physical exercise., *Med. Sci. Sports* **6**, 165-173.
- 5) Felig, P. and J. Wahren (1971): Amino acid metabolism in exercising man., *J. Clin. Invest.*, **50** (12), 2703-2714.
- 6) 後藤芳雄, 堤 達也, 江橋 博, 芝山秀太郎(1977): 鍛練者における運動時のカテコールアミン及び副腎皮質ホルモン分泌について, 第28回日本体育学会大会号 216.
- 7) 後藤芳雄(1977): 運動とカテコールアミン, *体育の科学* **27**(4), 289-294.
- 8) 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤 達也, 江橋 博, 芝山秀太郎 (1978): 長期トレーニングによる運動時の代謝的変動及び内分泌反応の変化, *体力研究* **39**, 38-55.
- 9) Howald, H., G. Glutz and R. Billeter (1978): Energy stores and substrates utilization in muscle during exercise., In Landry, F., and W. A. R. Orban Eds, "Biochemistry of exercise" 75-86, Symposia Specialists, Florida.
- 10) Keul, J., E. Doll and D. Keppler (1972): Energy metabolism of human muscle., S. Karger, Basel.
- 11) 宮下充正 (1980): トレーニングの科学, 講談社, 東京.
- 12) 中野昭一, 小林啓三 (1979): 運動と肝機能—血中諸物質の変動, *体育の科学* **29**(8), 567-575.
- 13) Newsholme, E. A. and C. Start (1973): Regulation in metabolism., John Willey & Sons, London.

- 14) 二瓶泰一(1967): エネルギー代謝, 片桐英郎編「生化学講座4, 中間代謝の化学1」171-218, 共立出版, 東京。
- 15) Ohira, Y., H. Shibayama and H. Ebashi(1979): Energy sources in skeletal muscle for various types of exercise. *Bull. Phys. Fitness Res. Inst.* **43**, 28-40.
- 16) Poortmans, J. R. (1975): Effects of long lasting physical exercise and training on protein metabolism. In Howald, H. and J. R. Poortmans Eds "Metabolic adaptation to prolonged physical exercise" 212-228, Birkhäuser Verlag, Basel.
- 17) Ricci, B. (1976): Physical and physiological conditioning for men., W M. C. Brown Co., Iowa (芝山秀太郎, 江橋 博訳「科学的な身体づくり」現代人社, 東京, 1976).
- 18) 芝山秀太郎, 江橋 博, 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤達也(1974): 長時間運動時の血中生理的化学物质の変動, 体協スポーツ科学研究報告5, 持久性1, 31-41.
- 19) 芝山秀太郎, 江橋 博, 西島洋子, 松沢真知子(1978): 大学女子運動部員の摂取エネルギーの分類, 人類働態学会報**31**, 4-5.
- 20) Shibayama, H. and H. Ebashi (1978): A study on the energy requirement and energy source in cross-country skiing., *Abstracts of Asian Congress for Sports and Health*, 26, Bangkok.
- 21) 芝山秀太郎, 江橋 博, 西島洋子, 松沢真知子(1979): 水泳運動の身体機能におよぼす効果, 体力研究**44**, 47-53.
- 22) 芝山秀太郎, 江橋 博, 西島洋子, 松沢真知子, 塚越克己, 伊藤静夫, 松井秀治(1981): 女子における長時間激運動後の尿中物質の変動——第1回東京国際女子マラソン大会出場者について, 体力科学 **30** (1) 印刷中。
- 23) 堤 達也, 後藤芳雄, 青木和江(1969): 高温曝露時の副腎皮質機能と尿中電解質の変動, 体力研究 **17**, 1-8.
- 24) Tsutsumi, T., H. Shibayama, H. Ebashi, Y. Goto and N. Kita (1977): Characteristics of well-trained long distance runners in the prolonged exercise from the biochemical viewpoint., *Bull. Phys. Fitness Res. Inst.*, **36**, 1-15.
- 25) 堤 達也(1979): 運動とホルモンの動態, 体協スポーツ関係臨床医研修会報告, 61-73.
- 26) Viru, A. and Korge, P. (1971): Metabolic processes and adrenocortical activity during marathon races., *Int. Z. Angew. Physiol. Arbeitsphysiol.* **29**, 173-183.
- 27) Williams, M. H. (1976): Nutritional aspects of human physical and athletic performance., Charles C. Thomas, Ill.
- 28) Wray, J. (1976): Metabolism of proteins and amino acids., In Bell, G. H., D. Emslie-Smith and C. R. Paterson Eds "Textbook of physiology and biochemistry" 221-231, Churchill Livingstone, London.
- 29) 山川民夫(1976): アミノ酸代謝と生体アミン, 日本生化学会編「生化学実験講座11」東京化学同人社, 東京。

