

昭和48年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. V 持久性運動に関する研究
—第 1 報—

財団法人 日本体育協会

ス ポ ー ツ 科 学 委 員 会

持久性運動について

順天堂大学	石河 利寛
順天堂大学	青木 純一郎
大阪体育大学	金子 公宥
明治生命体力医学研究所	芝山 秀太郎
日本女子体育大学	山川 純

現在、一般国民の生活の近代化に伴う持久力の低下が問題となっている。一方、主として持久競技における持久性運動によるトレーニングは日常的に用いられるようになっている。しかしながら、持久性運動に関する研究は、被験者の協力や実験条件の困難さから、とくにわが国では非常に乏しく、わずかに持久性運動の選手について呼吸循環機能が調査されているにすぎない。

そこで「持久性運動」に関する研究班を組織し、研究を推進することにした。本研究班では、まず持久性運動とは何かを論議した結果、一時間以上継続する運動を研究対象とした。具体的には、ランニング、歩行、自転車などがその研究対象となる。本年度の研究はつぎのように概括される。

1. 総説 持久性運動に関する最近の知見

順天堂大学 石河 利寛

持久性運動を研究するに当たり、まずこの方面の内外の研究の概要を述べ、どのような点が問題となり、どのような点が研究されているかを報告した。

2. 1時間走に対する鍛練者と非鍛練者の生理・生化学的応答

順天堂大学 青木純一郎、石河 利寛
高岡 郁夫

鍛練者と非鍛練者に最大酸素摂取量の70%前後

で1時間のトレッドミル走を行なわせ、主として生理学、生化学的立場から研究を行なった。

3. 1時間のトレッドミル走行における代謝と体温変化

大阪体育大学 金子 公宥、豊岡 示朗
定速度(250m/分)で10名の陸上競技選手にトレッドミル走を行なわせ、競技成績と走中の生理的反応との関係を研究した。

4. 長時間運動時の血中生理的化学物質の変動

明治生命体力医学研究所

芝山秀太郎、江橋 博
後藤 芳雄、喜多 尚武
堤 達也

未訓練者について、最大酸素摂取量の70%に相当するスピードでトレッドミル走およびロードワークを60~70分間実施させて、その時の生理的、生化学的応答を研究した。

5. 自転車競技選手養成所における年間を通しての血液・尿性状の消長について(第Ⅰ報)

1日の変動について

日本女子体育大学 山川 純、深山 智代
東京大学 伊藤 幸子

自転車選手養成所において、訓練期間中の血液および尿の一日の変動について研究が実施された。

1. 総説 持久性運動に関する最近の知見

順天堂大学 石河利寛

1. 持久性運動とその Performance

運動が長時間にわたるものは、持久性運動または長時間運動 (Prolonged Exercise) と呼ばれている。どの程度の長さの運動を Prolonged Exercise と呼ぶべきかについては、Ahlborg¹⁾ (1967) がつぎのように述べている。「いろいろな研究報告に Prolonged Exercise の時間が明確に規定されて用いられている訳ではない。30分を Prolonged と呼んでいる場合がない訳ではないが、普通 1 ~ 数時間の作業時間が用いられている。」

したがって、持久性運動の作業時間を 1 ~ 数時間と規定すれば、競技の実際面で持久性運動に相当するものは、陸上競技長距離走（クロスカントリー、ロードレース）、自転車競技（ロードレース）、スキー競技（距離）、および競歩である。以下に述べる研究成績はすべてこれらの種目の運動を実験室内またはフィールドで実施してえられたものである。

持久性運動の特徴の一つは、エネルギー消費が大きい点にある。Costill と Fox¹⁰⁾ (1969) は 6 人の訓練者にトレッドミルを用いて、実際のランニングと同じように風を考慮した結果、マラソンレースは 2400 キロカロリー (Kcal) のエネルギーを消費すると述べている。

このような大きなカロリー消費には、主として外部から取り入れた酸素の酸化作用によって発生するエネルギーが用いられる。

したがって、運動実施者の最大酸素摂取量が大きければ、単位時間当たりの消費カロリーが大きく、それだけ持久性競技の成績が良くなる訳である。しかし Costill ら¹²⁾ (1971) は著名なマラソン選手である Clayton を調べて、その最大酸素摂取量はマラソンランナーとしてとくにすぐれている訳ではないのに、トレッドミルテストで Performance は他の 6 人の選手よりも大きく、最大

酸素摂取量のみならず、エネルギー消費の経済性と最大酸素摂取量の何%まで実際に使用しうるかが問題であると結論している。

このように、持久性運動では、最大酸素摂取量が重要であるが、その他いろいろな要因が関与してくるにちがいない。

普通運動の強度を表わすのに、その運動が最大酸素摂取量の何%に相当するかで、表示する場合が多い。これが、持久性運動の Performance を決定する主因となることがつぎの論文に示されている。

Gleser と Vogel²⁴⁾ (1973) は一定の負荷で継続しうる最大時間 (Endurance Time) の対数は負荷と最大酸素摂取量の比に比例することを述べている。したがってもし機械的効率を一定とすれば、最大作業時間の対数は、負荷が最大酸素摂取量の何%に相当するかに比例することになる。しかし、この比例式の比例常数はトレーニングによって変化したことを彼らは報告している。

Michael ら⁴³⁾ (1961) は 30 人の被験者で作業時間は負荷強度が小さくなると延長するが、トレッドミル歩行において、最大酸素摂取量の 35% 以下、心拍数 120/分以下では 8 時間継続しうることを観察した。この程度が一般人が長時間作業を継続しうる限界と思われる。

2. 筋グリコーゲン

持久性運動では、そのエネルギー源についてもっとも関心が寄せられている。一般に筋作業に必要なエネルギーは主として、つぎの 4 つから由来する¹¹⁾。

- (1) 筋細胞中のアデノシン 3 磷酸とクレアチニン
- (2) 筋細胞中のグリコーゲン
- (3) 筋中の貯蔵物から由来する遊離脂肪酸
- (4) 肝グリコーゲンから由来する血糖

以上のうち、高エネルギー磷酸（アデノシン3磷酸とクレアチニン磷酸）は短時間に多量のエネルギーを必要とする無気的運動の際に動員される。したがって持久性運動ではあまり重要でない。Karlsson³⁶⁾ (1971) は2~4時間にわたるクロスカントリーランニングと5~7時間にわたるクロスカントリースキーの実施後筋バイオプシーを実施したが、アデノシン3磷酸およびクレアチニン磷酸は安静時の値と比較して変わらないことを報告している。そこでまず、筋グリコーゲンについてその成果を述べよう。

持久性運動に伴う筋グリコーゲンの変化は動物および人間を対象として実施されている。後者のサンプルは筋バイオプシーによってえられるが、実施上の容易さから、主として大腿四頭筋（脚）および三角筋（腕）などの大きな筋が用いられる。グリコーゲンの含有量の表示は一定していないが、以下は100g wet muscle中のg数で表示しておく。

Ahlborg ら²⁹⁾ (1967) は9人の被験者について、PWC₁₇₀の62%の負荷（平均値710kpm/min）を用いて平均127分（70~190分）の作業を行ない、総作業量が 9.3×10^4 kpm (3.2×10^4 ~ 17.1×10^4)に達した。この結果、安静時に 1.53 ± 0.41 g/100g wet muscle あった大腿四頭筋のグリコーゲン量が 0.38 ± 0.20 g/100g wet muscle に減少した。

Hermansen ら³⁰⁾ (1967) は鍛練者と未鍛練者に持久性運動を課して疲労困ぱいに至らせた。すなわち、10人の鍛練者と10人の未鍛練者に最大酸素摂取量の77%に相当する負荷で、前者は約90分、後者は約85分自転車エルゴメーターで作業を行なわせ、疲労困ぱいに至らせた。この結果、大腿四頭筋のグリコーゲン量が安静時には 1.6 (1.1 ~ 2.5) g/100g wet muscle であったが、運動後ほとんど消失し、未鍛練者では 0.06 g、鍛練者では 0.12 g となった（図1）。

Gollnick ら²⁵⁾ (1969) は3人の被験者に最大酸素摂取量の75~80%に相当する自転車エルゴメーター作業を疲労困ぱいに至る迄行なわせた。この結果、筋バイオプシーによって筋グリコーゲンが減少 (2.57 g→ 0.22 g, 1.41 g→ 0.85 g, 3.09 g→ 0.37 g/100g wet muscle) し、疲労筋は電子顕微鏡で

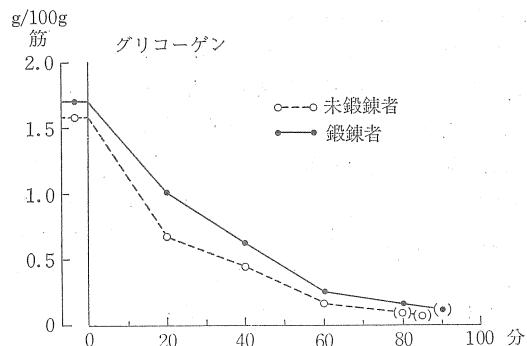


図1 10人の鍛練者および10人の未鍛練者が疲労困ぱいする迄運動をした場合の運動前および運動中の大腿四頭筋の側部のグリコーゲン量。かっこ内は2人の結果を示す (Hermansen ら, 1967)。

グリコーゲン分子がほとんど消失していた。

Olsson⁴⁶⁾ (1970) は2~4時間の腕および脚のはげしい運動を19人の被験者に課した。その後2日間脂肪と蛋白質から成る食事をとり、つぎの4日間炭水化物 (2300 kcal) と蛋白質から成る食事をとった。大腿（大腿四頭筋）と腕（三角筋）の筋のグリコーゲン量が最初から3日目には 0.45 g および 0.26 g/100g wet muscle に低下していたものが、7日目には 1.99 g および 1.69 g/100g wet muscle と増加した。また炭水化物食によって、体水分量が 2.21 増加し、これから推定して筋や肝に約500gのグリコーゲンが蓄積したものと思われた。

Pernow と Saltin⁴⁷⁾ (1971) は4人の被験者に1本の脚で $1-1\frac{1}{2}$ 時間自転車運動を行なわせて、疲労困ぱいに至らせた。その結果、筋グリコーゲンは 1.17 g/100g wet muscle から 0.03 g/100g wet muscle に減少した。その後炭水化物を含まぬ食事をした後、翌日最大下（最大酸素摂取量の60~70%以下）の運動をさせたが、平素と同じように実施できた。

Karlsson と Saltin³⁵⁾ (1971) は体育学部の学生を被験者として30km レースを走り、特別食（高炭水化物食）と混合食が筋グリコーゲンに与える効果を調べた。大腿四頭筋のグリコーゲンは運動前に特別食で 3.52 g/100g wet muscle、混合食で 1.77 g/100g wet muscle であったが、レース後は、特別食で 1.90 g/100g wet muscle、混合

食で $0.52\text{g}/100\text{g}$ wet muscle に低下した。

Costill ら¹³⁾ (1971) は 5 人の鍛練者に 10 マイル走 (16.1km) を最大酸素摂取量の 80% の強度で 3 日間連続して実施した (所要時間 60~80 分)。この結果、大腿四頭筋のグリコーゲン量は第一日の運動前に $1.85\sim2.50\text{g}/100\text{g}$ wet muscle あったものが、次第に減少し、第三日目の運動前値に半分近くに低下した (図 2)。運動中止後 5 日目にはほぼ最初の状態に戻ったが、戻らない者もあった。

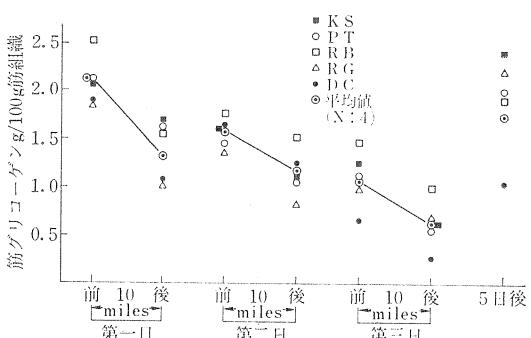


図 2 連続 3 日間 10 マイル走を実施した際の筋グリコーゲンの変化、5 日後は第三日目の運動後 5 日を意味する (Costill ら, 1971)。

Fröberg と Mossfeldt²³⁾ (1971) は 7 人の被験者について、85km のスキー前後の筋バイオプシーを大腿四頭筋に実施した。グリコーゲン量がスキー前には $1.589\text{g}/100\text{g}$ wet muscle あったものが、スキー後には $0.699\text{g}/100\text{g}$ wet muscle に低下したが、なお 40% 近くのグリコーゲンが残っていた。

Bergström ら⁷⁾ (1973) は同じく 85km スキー レース後の筋グリコーゲンを調べた。4 人の被験者で、大腿四頭筋には安静時の半分またはそれ以上のグリコーゲンが残っていたが、三角筋にはグリコーゲンがほとんど残っていなかった ($0.10\sim0.51\text{g}/100\text{g}$ wet muscle)。したがって、スキーでは脚筋よりも腕筋のグリコーゲンが涸渇しやすいことがわかった。

グリコーゲンの消耗は筋線維の種類によって異なることが知られている。ねずみでは、白筋、中間筋、赤筋の 3 種類の筋が存在するが、人間では速筋線維 (Fast Twitch Fibre, 白筋に相当する) と遅筋線維 (Slow Twitch Fibre) の 2 種類が知

られている。

Baldwin ら⁶⁾ (1973) はラットを 15 分、60 分および 120 分走らせて筋グリコーゲンを調べた。外側広筋の表在部 (白筋) にはグリコーゲンがほとんど減少していないのに、ひらめ筋 (中間筋) と外側広筋の最深部 (赤筋) では 2 時間後に 42~72% の減少が見られた。

Gollnick ら²⁶⁾ (1974) は 13 人の体育学部学生に最大酸素摂取量の 31% で 180 分、64% で 120 分、84% で 75 分自転車エルゴメーターで運動を行なわせた。その結果、大腿四頭筋のグリコーゲンの消耗は、運動強度が大きい程はげしかった。PAS 染色で調べて、遅筋線維が最初にグリコーゲンを失ったが、作業を継続すれば、速筋線維もグリコーゲンを失った。しかし運動強度の小さい場合には 180 分後にも速筋線維にかなりのグリコーゲンが残っていた。

以上の研究結果から、つぎの点が明らかとなった。(1)持久性運動では筋グリコーゲンの消耗が著しく、疲労困ぱいに至るような作業ではグリコーゲンがほとんど涸渇してしまう。(2)グリコーゲンの消失はまず遅筋線維に現われるので、持久性運動では遅筋線維が運動の主役をしている。(3)もし、連続して毎日 10 マイルくらいの持久性運動を実施すれば、筋グリコーゲンは次第に減少し、休息を取りなければ元に戻らない。(4)あらかじめ炭水化物の豊富な食事を摂れば、筋グリコーゲンは増加する。

3. 脂質代謝

体内に貯蔵された脂肪は主として中性脂肪の形で存在する。すなわち、グリセロールに 3 分子の脂肪酸が結合したエステルの形を取り、トリグリセライド (TG) と呼ばれる形で存在する。脂肪は 1 グラム当たり 9 kcal の熱量を発生し、この熱量は炭水化物や蛋白質の倍以上に当たるので、貯蔵に適している。

トリグリセライドは加水分解して、脂肪酸とグリセロールを生じる。脂肪酸 (ふつう遊離脂肪酸 FFA または非エステル化脂肪酸 NEFA と呼ばれる) は β 酸化によってアセチル CoA を経て、Krebs 回路に入り酸化される。代表的な脂肪酸であるパルミチン酸 ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)^{14}\text{COOH}$) を例

にとると、1分子が完全に酸化される際に、23分子の酸素を用いて、この際発生するエネルギーで130分子のアデノシン3磷酸を合成する。一方ぶどう糖では1分子が酸化されるのに6分子の酸素を用いて、38分子のアデノシン3磷酸を合成する。したがって酸素1分子当たりのアデノシン3磷酸合成分子数は、前者が5.65、後者が6.33となり、ぶどう糖の方がアデノシン3磷酸の合成に酸素がやや少なくてすむが、それ程大きなちがいではない。ただし呼吸商(R.Q.)は前者が0.70、後者が1.00で両者に大きなちがいがある。

持久性運動では炭水化物のみならず、脂質もエネルギー源として利用されるので、持久性運動と脂質代謝が研究の対象となる。このためには、ふつう、TG、FFA、グリセロール、R.Q.などが研究対象として用いられる。

Young ら⁶³⁾(1967)は9時間のトレッドミル歩行によって、炭水化物の貯蔵を最小にした後¹⁴C、で印をつけたパルミチン酸塩を投与して、その代謝を調べた。すなわち、その後4.5時間歩行を続けたが、¹⁴CO₂として呼気より排出したものは総CO₂排出量の約50%に達し、これは安静時の38%より増加した。すなわちFFAの代謝が高まっていた。

Hermansen ら³⁰⁾(1967)は前述の鍛練者と未鍛練者の実験で、運動時間が長くなるにしたがってR.Q.が低くなる傾向を示したが、運動中のR.Q.はつねに鍛練者の方が未鍛練者よりも低く、前者の方が脂質の利用が高まっていることを観察している。

Pruett⁵¹⁾(1970)は健康な9人の男子を用いて、自転車エルゴメーターおよびトレッドミルによって、いろいろの運動強度で持久性運動を行なった。その結果、血清FFAは最大酸素摂取量の70%迄の運動強度までは運動中に増加した。85~90%の運動強度では、運動中は低下したが運動後5時間以上にわたって増加した。

Costill ら¹⁸⁾(1971)は前述の三日連続持久走の実験において、日を重ねるにしたがって、呼吸商が低下し、血清FFAが増加した。前述の筋グリコーゲンの低下の所見とともに、次第に脂肪の異化が進むことを示した。

FröbergとMossfeldt²³⁾(1971)は前述の85kmのスキーでグリコーゲンと同時にTGを大腿四頭筋のバイオプシーによって測定した。この結果TGが運動前には17μモル/1g wet muscleあったものが、8μモルに減少し、TGが持久性運動のエネルギー代謝に重要な役割を演じていることを示した。しかし筋の構成要素として重要な脂質は少しも減少していないかった。

小川ら⁴⁵⁾(1972)は100km強歩大会で、34km, 50km, 76km地点で採血した血清TGは減少したが、FFAは増加し、運動後2時間までは安静値に戻らなかった事を観察している。

Kaijser ら³¹⁾(1972)は15人の健康な被験者について、動脈血と冠静脈洞血を分析した結果、脂質と炭水化物が心筋の酸化的代謝に関与する割合は、安静時も運動時も変わらなかつたが、動脈酸素差は運動がはげしくなる程増加したことを報告している。

Baldwin ら⁶⁴⁾(1973)は前述の動物実験で、2時間運動後の赤筋ではTGが約40%減少したのに、中間筋および白筋ではほとんど減少しなかつた。このことは、グリコーゲンの減少と合わせて赤筋が持久性運動に主となって働いていることを物語っていた。

Kuel ら³⁷⁾(1974)は10人の学生が1時間持久走を行なった後、15分して採血した。この結果TGは不变であったが、グリセロールは5倍、FFAは3倍に高まつた。2時間走後回復15分では、TGは50%増、グリセロールは9倍、FFAは4倍となつた。この結果は、運動時間が長くなる程、脂質の動員が高まつたためと考えられた。

以上の結果つぎの結論がえられよう。(1)持久性運動では、主として赤筋のTGが用いられる。(2)他の組織から脂質が動員される。これは主としてFFAとグリセロールに分解して動員され、運動が軽度であれば血清FFAは上昇するが、強度の場合は低下する。(3)運動後は筋における脂質の利用が低下するので、動員が過剰となつて軽度のTGの増加と高度のFFA、グリセロールの増加が血清中に見られる。(4)鍛練者は未鍛練者と比較して、脂質の利用が高まつてゐる。(5)心筋では運動中にエネルギー源の消費が高まるが、炭水化物と

比較して、脂質代謝がとくに高まるようには思われない。

4. 血糖と肝グリコーゲン

肝グリコーゲン量の測定は人体における肝バイオプシーが困難であるので、動物実験によらなければならぬ。血糖は主として肝グリコーゲンによって補われる所以、血糖が極端に低下した場合は、肝グリコーゲンの涸渇を推定させる。

Young ら⁶⁴⁾ (1967) は9時間トレッドミル歩行により炭水化物の貯蔵をミニマムにしたあと、¹⁴C を用いて炭水化物および脂質の代謝を研究した。投与後さらに4.5時間歩行を続けた場合、ぶどう糖、グリセロール、パルミチン酸塩、乳酸塩、アラニンは¹⁴CO₂ として82.1%，75.4%，70.7%，80.0%，81.4%排出され、安静時の44.0%，41.7%，26.4%，42.1%，35.0%と比較して、投与された炭水化物および脂質の利用が高まっていた。

Ahlborg ら²²⁾ (1967) は2人の被験者について20%ぶどう糖を静注して合計300g および180g の糖を投与した。筋グリコーゲンの項で述べたような運動負荷を行ない、運動1時間後の血糖は310 g/100ml および254mg/100ml に達し、作業終了後には214mg/100ml および258ml/100ml となつた。この際の筋グリコーゲンの低下の程度は無負荷の時と変わらなかつたが、筋グリコーゲンの回復は早くなつた。

黒田ら³⁹⁾ (1969) は鍛練者5名について、20～42km の持久走を行なつた際の血糖を調査したが、安静時とほとんど変わらなかつた。これに反して、1,500m～10,000m 走では安静時より高い値を示した⁴⁰⁾。

Pruett ら⁴⁹⁾ (1970) は17人の比較的よく鍛練された健康人に、最大酸素摂取量の70%に相当する作業を数時間実施させた結果、血糖が安静時の60%くらいに低下した。高脂肪食(3,000 kcal, 蛋白質72g, 脂肪200g, 炭水化物180g) を取つても、標準食と比較して血糖の低下は変わらなかつた。

Pruett⁵⁰⁾ (1970) は4人の鍛練者に最大酸素摂取量の85～90%の負荷で自転車エルゴメーターを用いて疲労困ぱいする迄作業を行なわせた。血糖は最初の10分間にわずかに減少したが、10分以後および疲労困ぱいのときは安静値またはそれ以上と

なつた。

Costill ら¹⁸⁾ (1971) は前述の三日継続10マイル走で、血糖は第一日目の運動終了後は安静値よりも上昇していたが、日を重ねるにしたがつて上昇度がにぶり、第三日目の運動終了後には安静値とほとんど変わらなかつた。

小川ら⁴⁵⁾ (1972) は前述の強歩大会(100km) で、34km 地点で血糖を調査したところ、安静時よりもやや低下(最低値 50mg/100ml) していることを認めた。しかし中途の50km 地点で食事を取ると、それ以後血糖の低下が見られなかつた。

Costill ら¹⁴⁾ (1973) は6人の被験者に¹⁴C で印をつけたぶどう糖を31.8g 経口投与し、投与前に30分間、後に60分間の運動(走または自転車) を実施した。その結果、運動は糖の腸からの吸収に影響を与えたなかった。¹⁴C は投与後5～7分して呼気に現われ、運動の最後の20分には炭水化物酸化の5%が投与された糖に由来するものであった。

Baldwin ら⁶⁵⁾ (1973) は前述のラット走の結果、2時間走後に赤筋および中間筋でグリコーゲンが約50%，白筋で100%近く残つていたのに、肝のグリコーゲンは約85%を消耗したことを見出した。この結果肝グリコーゲンの方が筋グリコーゲンよりも重要であるとの結論を得た。この時血糖はわずかに低下していた。

Keul ら³⁷⁾ (1974) は前述のように1時間走および2時間走を行なわせたが、運動中の血糖の低下はわずかで、最低値が安静値の80%にとどつた。

以上の結果により、つぎの結論がえられよう。
(1)持久性運動では極端な血糖の低下は見られなかつた。(2)しかし血糖が低下する場合には、肝グリコーゲンが涸渇するおそれがある。(3)運動中に炭水化物を投与すると、炭水化物の利用が高まり、血糖の低下を防止することができる。(4)しかし、経口的に投与された糖の腸からの吸収は安静時と変わらない。

5. 乳酸

乳酸はグリコーゲンまたはぶどう糖の無気的解糖によって生じる。筋中に発生した乳酸は血液中に出てくる。発生した乳酸は再び肝、心筋、骨格筋などに取り入れられて、エネルギー源となる。一

部は汗および尿から排泄される。

Ström⁶¹⁾ (1949) は 2 人の被験者に正常の空気と低酸素の空気を吸入させて、自転車作業を行なった。その結果、血清中の乳酸量は、低酸素状態の方が増加するが、回復期の低下の度合いから見て、乳酸の利用度は変わらなかった。

Åstrand ら⁴⁾ (1963) は 10~85km のクロスカントリースキーにおいて、レース終了後 1~3 分に採血して乳酸を測定した。その結果、血清乳酸値は 10km (所要時間 35~36 分) で 139mg/100ml, 30km (所要時間 1 時間 50~56 分) で 68mg/100ml, 50km (所要時間 3 時間 6~18 分) で 39mg/100ml, 85km (5 時間 1 分~8 時間 30 分) で 23mg/100ml であった。すなわち最大努力でゴールしたにもかかわらず、距離が長くなるにしたがって、血清乳酸値が低下した (図 3)。

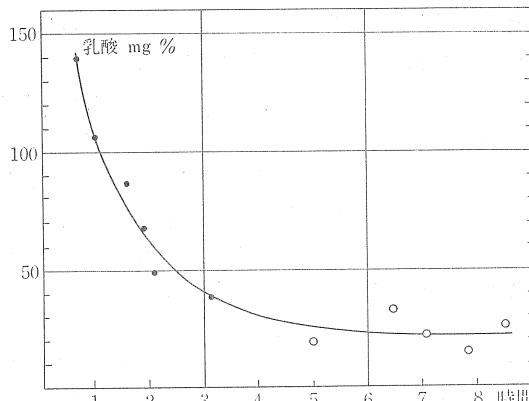


図 3 種々の時間のクロスカントリースキー レース後の血中乳酸濃度。●は平均値、○は個人の値。
(Åstrand ら, 1963)。

Davies ら¹⁵⁾ (1965) は 3 人の被験者に 600kpm/min の作業を 1 時間実施したが、運動開始後 7~10 分して血清乳酸値が最高となり、その後時間の経過とともに低下した。血清 pH は乳酸と逆の経過を示し、乳酸が高いときに pH は低下した。しかし、負荷漸増法 (200 kpm/min → 1000 kpm/min) で 50 分間作業を実施した場合には乳酸は次第に増加し、pH は次第に低下した。

Rowell ら⁵⁷⁾ (1966) は 6 人の健康な被験者に最大酸素摂取量の 48~70% に相当するトレッドミル走を 60~70 分にわたって実施し、その間に肝に

出入する血液を調査したが、生成された乳酸の約 46% が肝で 60 分間に取除かれることを明らかにした。

Karlsson ら³⁴⁾ (1968) は 2~2.5 時間のクロスカントリー走前後に、5 人の健康な被験者について、最大酸素摂取量の 75% および最大作業を実施して、Åstrand ら⁴⁾ の結果を追試した。この結果、血清乳酸はクロスカントリー前に最大下作業および最大作業を行なった場合よりも、クロスカントリー後に二種の作業を行なった方が低かった。しかし、筋中の乳酸量はクロスカントリー前後で変わらなかった。

Karlsson ら³³⁾ (1968) は 4 人の被験者に 2~2.5 時間のクロスカントリー競走を、2 人の被験者に 4~4.5 時間の自転車またはトレッドミル運動を実施した。この結果大腿四頭筋の乳酸脱水素酵素 (LDH) が 21% 上昇した。その中 2 人に 24 時間絶食後検査したが、やはり LDH が高まっていた。したがって長時間運動後の乳酸値が低いのは LDH が低いためではないと考えられる。

黒田ら³⁹⁾ (1969) および黒田ら⁴⁰⁾ (1972) も 1500m から 42km のランニングで距離とともに乳酸が減少することを認めている。

Costill¹¹⁾ (1970) も 1.5~42km のランニングレースで血液中の乳酸値の減少を認めた。彼は鍛練されたランナーでは最大酸素摂取量の 70% を越えた運動をすると、乳酸が増加するが、距離が長くなると、運動強度が低下するから乳酸の蓄積が少ないと考えている。

Costill ら¹³⁾ (1971) は連続 3 日間の 10 マイル走で、次第に乳酸の蓄積が減少し、反対に FFA が増加することを観察し、これはグリコーゲンの利用が低下し、脂質の利用が増加したためと考えている。

Karlsson³⁶⁾ (1971) は 2~4 時間のクロスカントリーランニングおよび 5~7 時間のクロスカントリースキーで、アデノシン 3' 磷酸およびクレアチニン磷酸が筋中に減少していなかった。しかし、5~7 時間後の持久性運動後の最大テストで、乳酸があまり上昇しなかった。また持久性運動後の血清乳酸があまり上昇しなかった。これらの所見から、無気的解糖の結果発生して血液中に出了乳

酸の利用が高まって、その結果筋中から血液中へ乳酸の移動が増したと Karlsson は推察した。

McManus ら⁴²⁾ (1974) は平地と 3060m の高さに相当する低圧下で、平地の最大酸素摂取量の 30 % の強さで作業をさせた結果、血清中の乳酸は高地の方が高かったが、運動後平地と同じ経過を辿って減少したことを観察した。

以上の結果からつぎの結論がえられよう。

(1)運動中の血中乳酸のレベルは運動時間とともに減少する。(2)この原因の一つとして、長時間の運動では、運動強度が低下することが挙げられる。(3)しかし長時間運動後に、最大運動をしても血中の乳酸は運動しないでただちに最大運動を行なった場合ほど高まらない。(4)このとき、筋中の乳酸脱水素酵素のはたらきは低下していないが、筋中の乳酸は低下している。(5)これらの結果は、筋中のグリコーゲンの減少が乳酸の生成を減少させているのか、生成した乳酸が血中にすみやかに移行しこれが利用されて血中の乳酸レベルが低下しているかの何れかの可能性が考えられる。

6. 呼吸循環機能

呼吸循環機能は持久性運動時の変化とトレーニングによってどのような効果が見られるかについて研究が行なわれている。

Plas⁴³⁾ (1963) はトレーニングによって心電図の T 波が增高し、長時間の旅行やサイクリングによって、臨床的に心障害の所見が無いのに心電図がつぎのように変化する 4 つのタイプがあることを述べている。

ST の上昇、T 波の分裂、ST と T の融合、ST が弯曲して高まり T が陰性。

Davies ら¹⁵⁾ (1965) は一時間にわたる一定負荷の自転車作業で、時間とともに乳酸が低下するために、血液の pH が上昇し、肺胞炭酸ガス張力 (P_{CO_2}) が低下するが、換気量は一定であるという所見をえた。したがって、彼らは換気に対する化学的要因の影響が運動の後半に減少すると考えた。

Ekelund²⁰⁾ (1966) は 6 人の男子被験者に臥位で 1 時間にわたる持久性運動を行なわせた結果、心拍出量は一定であったが、心拍数は運動とともに次第に増加した。したがって、拍動量が次第に

低下することが明らかとなった。

Ekelund²¹⁾ (1967) は 6 人の男子被験者に、今回は座位で前回²⁰⁾と同じ作業を行ない、前回と同様の所見とともに、血液量が最初の 10 分間に 7.2 % 減少し、これは血管運動神経の緊張が低下したためと考えた。なお、上の 2 つの論文はともに心カテーテル法によって心拍出量を測定したために、運動終了時にも心拍数が 140 拍/分程度であった。

Ekelund ら²²⁾ (1967) は座位 760.0 kpm/min 臥位 758.3 kpm/min で約 1 時間にわたって運動を実施させた結果、心拍数の増加とともに心臓容積が減少を認めた。しかし疲労困憊の前に半数の者の心臓容積が増加した。

松井ら⁴¹⁾ (1967) は 1 名の長距離走選手に 2 時間半にわたる持久走を行なわせた (トレッドミル走、スピード 200 m/分、斜度 2.5°)。この結果環境温 23.5~26°C で、心拍数と呼吸数は次第に増加し、酸素脈と酸素摂取率は次第に減少した。体重の減少は 2.9kg (5.6%) であった。

Kamon と Belding³²⁾ (1969) は 600ml/min/m² の強さで自転車エルゴメーターを 2 時間漕がせて、40.6°C の水から腕への放熱量から腕の血流量を求めた。その結果、最初の 10 分間に手の血流量が減少し、前腕の血流量が増加したが、その後手および前腕の血流量がともに増加した。

Ekblom¹⁹⁾ (1970) は 7 人の男子被験者についてランニング、自転車漕ぎ作業を主体とした持久力増強のトレーニングを 22 週間にわたって実施した。この結果持久性運動 (最大酸素摂取量の 75% で 60 分) に対する効果を検討して、最大酸素摂取量の増加 (3.41 l/min→3.64 l/min)、最大心拍数の低下 (201 拍/分→194 拍/分) の他に、1 時間の持久性運動中の拍動量、平均血圧が上昇し、動静脈酸素差が減少した。

Dempsey ら¹⁶⁾ (1971) はヘモグロビンの酸素に対する親和性を見るために、ヘモグロビンと酸素との解離を助ける 2,3-ジ磷酸グリセリンの態度を調べたが、運動後約 1 時間してこの物質が減少し、ヘモグロビンの酸素に対する親和性が高まっていると推定された。

今野ら³³⁾ (1972) は男子 3 名の被験者に 90~120 分でオールアウトになるように自転車作業を行な

わせた結果、酸素輸送系には大きな変化がなかった事から、局所筋の疲労を考えているが、局所筋についての所見がえられていらない。

Detry ら¹⁷⁾ (1972) は最大酸素摂取量の80%で12分間作業をし、その後休息または軽い作業することを9人の被験者に疲労困ぱいする迄繰返し行なった。この結果、心拍出量は変わらなかったが、心拍数は次第に上昇し、拍動量と平均血圧は次第に減少した。これは体温が次第に上昇し、血流の配分が変わったためと考えられた。

Nordesjö⁴⁴⁾ (1974) は27人の被験者に強度、持続時間、頻度を変えてトレーニングを自転車エルゴメーターで9週間課した。この結果、もっとも重要なのは強度であり、持続時間や頻度もまた重要だという事がわかった。したがってこの3つの要因が一番強い場合にトレーニング効果がもっともみられた。

McManus ら⁴²⁾ (1974) は低圧室で平地で3060mの高さで平地の最大酸素摂取量の30%の強度で2時間自転車作業を行なわせた。この結果、高地でも平地と同じように拍動量が次第に減少した。

以上の結果つぎの結論がえられよう。(1)持久性運動では心拍出量がほぼ一定なのに、心拍数が次第に増加し、したがって拍動量が次第に減少する。(2)血管の拡張が起こり、血圧が低下し、これが拍動量減少の一因となりうる。(3)呼吸量は減少しないが、呼吸に対する化学的刺激が減少する。(4)トレーニングは血圧の低下と拍動量の減少に対して、この傾向を減らすようにはたらく。

7. 酵素

持久性運動においてとくに研究対象となる酵素は、

Glutamic-oxalacetic transaminase (GOT), Ornithine-carbamyl transferase (OCT), Creatine phosphokinase (CPK), Lactate dehydrogenase (LDH) である。

GOT はトランスアミナーゼで、アミノ基をアミノ酸からケト酸に移動させ、新しいアミノ酸、ケト酸をつくる。

GOT は心筋、骨格筋、肝に多く存在し、つぎのはたらきをする。

GOT : グルタミン酸 + オキザル酢酸 ⇌ αケト

グルタル酸 + アスパラギン酸

OCT は肝臓に存在し、オルニチンサイクルに関与し、つぎのはたらきをする。

OCT : オルニチン + カルバミル磷酸 ⇌ シトルリン + 磷酸

CPK は筋のクレアチニン磷酸の分解に作用し、ATP の再合成に役立つ。

CPK : クレアチニン磷酸 + アデノシン 2 磷酸 ⇌ クレアチニン + アデノシン 3 磷酸

LDH はピルビン酸と乳酸の間にはたらき、無気的解糖を助ける。

LDH : ピルビン酸 + DPNH + H⁺ ⇌ 乳酸 + DPN⁺

(DPN : Diphosphopyridine nucleotide)

Ahlborg³⁾ (1967) は12人の鍛練者に自転車運動ができるだけ強く90分間実施し、GOT, OCT, CPK, LDH が有意に増加したが、その一部は脱水のためと考えられた。

Remmers と Kaljot⁵⁵⁾ (1963) は18人の健康な被験者に2 $\frac{1}{2}$ マイル走を含むはげしい運動を行なわせたところ、GOT が増加した。増加の割合は運動の強さに依存し、年令、体力、筋量とは無関係であった。

Rose⁵⁶⁾ (1970) は6人の鍛練者にマラソンレース後の酵素を調べた。この結果、CPK, LDH の活性が増加した。また電気泳動法によって、LDH のイソ酵素を分離したが、心筋に多く存在する LDH_{1,2} は増加せず、骨格筋に多く存在する LDH_{3,4,5} が増加した。この結果、心筋の障害が起ったとは予測できなかった。

Refsum ら⁵²⁾ (1972) は90km クロスカントリースキー競技について血清酵素の変化を調べた。GOT はレース終了後1.5倍、次の日最高の2.5倍に達した。CPK はレースの終了後3倍、翌日6倍になった。GOT と CPK は5日経っても運動前に戻らなかった。全 LDH と LDH_{4,5} は運動後増加し、翌日正常値に戻ったが、LDH_{1,2,3} と OCT は増加が見られなかった。

以上の結果をまとめると、持久性運動は GOT, CPK, OCT, LDH の諸種の酵素を増加させる。この場合、(1)脱水、(2)局所での代謝の亢進、(3)局所の細胞膜の透過性の増加、(4)局所の組織の破壊

などの原因が考えられる。このうち、脱水と筋細胞内での増加 (GOT, CPK, LDH) が予想されるが、肝や心臓における組織の破壊を思わせる所見は見られなかった。

8. その他の血液成分

血糖、乳酸、酵素以外の血液成分では、ホルモン、代謝産物、無機質などが調べられている。

Pruett⁵⁰⁾ (1970) は最大酸素摂取量の 85~90% の自転車作業を疲労困ぱいする迄行なわせた結果、インスリンが運動中ずっと低下し続けた。これは血糖の変化と一致せず、インスリンの分泌は血糖以外のものにも影響されると考えた。

Viru と Korge⁶²⁾ (1971) は 14人のマラソンランナーのレース前後を調査した。その結果マラソンレースは 17-ハイドロコルチコイドおよび 17-ケトステロイドの尿中への排泄が減少し血中のコチゾルのレベルが低下した。しかし最もよい成績をえた 2人にはこのような変化がみられなかった。

Hartley ら²⁹⁾ (1972) は持久性運動に対するホルモンの変化について研究を行なった。7人の男子被験者に最大酸素摂取量の 73% に相当する自転車運動を疲労困ぱい迄実施させ、安静、運動中、運動後で血液を採取した。血漿ノルエピネフリンは運動中 40 分後および疲労困ぱい時に増加したが、エピネフリンは疲労困ぱい時にのみ増加した。成長ホルモンは運動中に増加したが、疲労困ぱい時には再び減少した。インスリンは運動中に低下し、コチゾルは運動直前から運動中ずっと上昇した。

週 3 回 7 週間にわたるトレーニングによって、ノルエピネフリンは低く、インスリンは高くなり、成長ホルモンは疲労困ぱい時に高くなり、また持久時間が延長した。

Refsum ら⁵³⁾ (1973) は 41人の被験者に 90 km クロスカントリー (0°C , 平均時間 8.09 時間) を行なわせたが、レースによって増加した血液中の物質はクレアチニン、尿素、燐、乳酸およびベータ水酸化酪酸であり、低下したのは Mg, Ca, HCO_3 , pH, Pco_2 , Hb であり、変化しなかったのは Na, K, Cl, 総陽イオンおよび蛋白質であった。またクレアチニンの増加は年長者に著しかった。

Refsum ら⁵⁴⁾ (1973) はまた、90 km および 70

km クロスカントリースキーについて調査したが、血清 Mg はレース後に減少しており、赤血球の Mg は増加していたが、全血の Mg は変化しなかった。

Mc Manus ら⁴²⁾ (1974) は血中カテコールアミンは最大酸素摂取量の 30% の強度で 2 時間の自転車作業によって増加した。同じ作業を低圧 (3060 m) で行なったが、増加の程度は変わらなかった。

以上の結果、つぎの結論がえられよう。(1)持久性運動によって、インスリン（膵臍ホルモン）は低下し、カテコールアミン（ノルエピネフリン、エピネフリン）は増加する。(2)コーチゾル（副腎皮質ホルモン）は一定の傾向を示さない。(3)トレーニングによって、インスリンの低下とカテコールアミンの上昇が顕著でなくなる。

9. 水分代謝、尿、体温、その他

Åstrand と Saltin⁵⁾ (1964) は 6人の被験者について、外気温約 0°C の 85km クロスカントリースキー前と 1 時間後に水分代謝を調査した。その結果、体重は 3.9kg 減少し、水分損失は 5.91 に達した。また血漿量は 0.41 (11%) 減少し、赤血球量は 0.081 (3.2%) 減少し。

Saltin⁵⁵⁾ (1964) は脱水状態では心拍出量がほとんど変わらないのに心拍数が上昇するので、拍動量が低下することを述べている。

Saltin と Stenberg⁵⁹⁾ (1964) は最大酸素摂取量の 75% に相当する負荷で 2 時間トレッドミルまたは自転車エルゴメーターを用いて運動をした (室温約 19°C)。その結果、体重が 3.1kg 減少ししたが、血漿量は 5% 以下の減少であった。拍動量が 126ml から 107ml に減少し、また収縮期血圧、拡張期血圧および平均血圧が約 10% 低下した。

Grimby²⁷⁾ (1965) は 15人の男子に 150~900 kpm/min で仰臥位で自転車エルゴメーターを踏み、最大酸素摂取量の 50% のとき、パラアミノ馬尿酸クリアランスが 70%，重い作業では 35~45% に低下する。また心拍出量の 17% が安静時に腎を循環していたが、作業が強くなるほど減少し、最小限 2.5~5% となった。

Božović ら⁸⁾ (1967) は 85km スキーレース参加者 15人の運動前の尿にはレニンと蛋白の濃度が高い相関を持っていたが、運動後には両者の間に

相関が見られなかったことを報告した。

Casrenfors ら⁹⁾ (1967) は、同じく 85km のスキーレースで、尿中に運動によって全蛋白量およびアルブミン量が増加したが、ぶどう糖と α -アミノ酸は不变であったことを観察した。

Dill ら¹⁸⁾ (1973) は砂漠で 2 時間の歩行実験を行なった。すなわち男子は 37~47°C、女子は 31~42°C で水分摂取を禁止した場合と水分と塩分とを補給した場合で実験をした。水分を補給しないと体重が 2.03kg 減少し、心拍数が上昇するが、水分と塩分をとれば、体重が減少せず、循環機能が良好に保たれた。

Haight と Keatinge²³⁾ (1973) は、9人の健康な男子に約 37km の歩行を行なわせた結果、体温が口腔温、直腸温とも約 0.36°C 上昇し、運動後約 11 時間して消失した。この原因としてわずかな組織の破壊に伴う内因性の発熱物質の放出によるものと思われた。

Soule と Goldman⁶⁰⁾ (1973) は 1 時間トレッドミル歩行、5 時間休息を不眠で 31 時間 (6×1 時間歩行となる) したときの生理的変化を調べた。この結果、主観的には (perceived exertion) 運動が次第に困難に感じられるが、心拍数はあまり変わらなかった。

以上の結果からつぎの結論がえられよう。(1)持久性運動では水分の損失と体重の減少が起こる。(2)脱水状態では心拍数の上昇がいちじるしく、これが拍動量を低下させる。(3)高温下では水分と塩分の補給が大切である。(4)高体温は運動中止後もしばらく続く。(5)長時間運動では、これが非常に長くなると、心拍数の上昇と主観的な運動の困難性とはあまり平行しない。(6)腎循環が低下する。

文 献

- 1) Ahlborg, B. : Capacity for prolonged exercise in man. *Försvarsmedicin* 3 : Suppl. 1 (1967)
- 2) 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)
- 3) Ahlborg, B. and J. Brohult : Immediate and delayed metabolic reactions in well-trained subjects after prolonged physical exercise. *Acta medica scand.* 182 : 41-54 (1967)
- 4) Åstrand, P.-O., I. Hallbäck, R. Hedman and B. Saltin : Blood lactates after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 18 : 619-622 (1963)
- 5) Åstrand, P.-O. and B. Saltin : Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 19 : 829-832 (1964)
- 6) Baldwin, K.M., J. S. Reitman, R. L. Terjung, W.W. Winder and J. O. Holloszy : Substrate depletion in different types of muscle and in liver during prolonged running. *Am. J. Physiol.* 225 : 1045-1050 (1973)
- 7) Bergström, J., E. Hultman and B. Saltin : Muscle glycogen consumption during cross-country skiing (the Vasa ski race). *Int. Z. angew. Physiol.* 31 : 71-75 (1973)
- 8) Božović, L., J. Castenfors and M. Piscator : Effect of prolonged, heavy exercise on urinary protein excretion and plasma renin activity. *Acta physiol. scand.* 70 : 143-146 (1967)
- 9) Castenfors, J., F. Mossfeldt and M. Piscator : Effect of prolonged heavy exercise on renal function and urinary protein excretion. *Acta physiol. scand.* 70 : 194-206 (1967)
- 10) Costill, D. L. and E. L. Fox : Energetics of marathon running. *Med. Sci. in Sports* 1 : 81-86 (1969)
- 11) Costill, D. L. : Metabolic responses during distance running. *J. Appl. Physiol.* 28 : 251-255 (1970)
- 12) Costill, D. L., G. Branam, D. Eddy and K. Sparks : Determinants of marathon running success. *Int. Z. angew. Physiol.* 29 : 249-254 (1971)
- 13) Costill, D. L., R. Bowers, G. Branam and K. Sparks : Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *J. Appl. Physiol.* 31 : 834-838 (1971)
- 14) Costill, D. L., A. Bennett, G. Branam and D. Eddy : Glucose ingestion at rest and during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 34 : 764-769 (1973)
- 15) Davies, H., N. Gazetopoulos and C. Oliver : Ventilatory and metabolic response to graduated and prolonged exercise in normal subjects. *Clin. Sci.* 29 : 443-452 (1965)
- 16) Dempsey, J. A., J. Rodriguez, N. T. Shahidi, W. G. Reddan and J. D. McDougall : Muscular exercise, 2,3-DPG and oxy-hemoglobin affinity. *Int. Z. angew. Physiol.* 30 : 34-39 (1971)
- 17) Detry, J.-M. R., M. G. Gerin, A. A. Charlier and L. A. Brasseur : Hemodynamic and thermal aspects of prolonged intermittent exercise. *Int. Z. angew. Physiol.* 30 : 171-185 (1972)
- 18) Dill, D. B., M. K. Yousef and J. D. Nelson : Responses of men and women to two-hour walks in desert heat. *J. Appl. Physiol.* 35 : 231-235 (1973)
- 19) Ekblom, B. : Effect of physical training on

- circulation during prolonged severe exercise.
Acta physiol. scand. 78 : 145-158 (1970)
- 20) Ekelund, L.-G. : Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise in the supine position. Acta physiol. scand. 68 : 382-396 (1966)
- 21) Ekelund, L.-G. : Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise of moderate intensity in the sitting position. Acta physiol. scand. 69 : 327-340 (1967)
- 22) Ekelund, L.-G., A. Holmgren and C. O. Ovenfors : Heart volume during prolonged exercise in the supine and sitting position. Acta physiol. scand. 70 : 88-98 (1967)
- 23) Fröberg, S. O. and F. Mossfeldt : Effect of prolonged strenuous exercise on the concentration of triglycerides, phospholipids and glycogen in muscle of man. Acta physiol. scand. 82 : 167-171 (1971)
- 24) Gleser, M. A. and J. A. Vogel : Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. J. Appl. Physiol. 34 : 438-442 (1973)
- 25) Gollnick, P. D., C. D. Ianuzzo, C. Williams and T. R. Hill : Effect of prolonged, severe exercise on the ultrastructure of human skeletal muscle. Int. Z. angew. Physiol. 27 : 257-265 (1969)
- 26) Gollnick, P. D., K. Piehl and B. Saltin : Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. J. Physiol. 241 : 45-57 (1974)
- 27) Grimby, G. : Renal clearances during prolonged supine exercise at different loads. J. Appl. Physiol. 20 : 1294-1298 (1965)
- 28) Haight, J. S. J. and W. R. Keatinge : Elevation in set point for body temperature regulation after prolonged exercise. J. Physiol. 229 : 77-85 (1973)
- 29) Hartley, L. H., J. W. Mason, R. P. Hogan, L. G. Jones, T. A. Kotchen, E. H. Mougey, F. E. Wherry, L. L. Pennington and P. T. Ricketts : Multiple hormonal responses to prolonged exercise in relation to physical training. J. Appl. Physiol. 33 : 607-610 (1972)
- 30) Hermansen, L., E. Hultman and B. Saltin : Muscle glycogen during prolonged severe exercise. Acta physiol. scand. 71 : 129-139 (1967)
- 31) Kaijser, L., B. W. Lassers, M. L. Wahlqvist and L. A. Carlson : Myocardial lipid and carbohydrate metabolism in fasting men during prolonged exercise. J. Appl. Physiol. 32 : 847-858 (1972)
- 32) Kamon, E. and H. S. Belding : Dermal blood flow in the resting arm during prolonged leg exercise. J. Appl. Physiol. 26 : 317-320 (1969)
- 33) Karlsson, J., B. Diamant and B. Saltin : Lactate dehydrogenase activity in muscle after prolonged severe exercise in man. J. Appl. Physiol. 25 :
- 88-91 (1968)
- 34) Karlsson, J., B. Diamant and B. Saltin : The influence of prolonged severe exercise on the maximal lactate concentration in the working muscle on man. Acta physiol. scand. 73 : 31A-32A (1968)
- 35) Karlsson, J. and B. Saltin : Diet, muscle glycogen, and endurance performance. J. Appl. Physiol. 31 : 203-206 (1971)
- 36) Karlsson, J. : Lactate in working muscles after prolonged exercise. Acta physiol. scand. 82 : 123-130 (1971)
- 37) Keul, J., G. Haralambie, T. Arnold and W. Schumann : Heart rate and energy-yielding substrates in blood during long-lasting running. Europ. J. Appl. Physiol. 32 : 279-289 (1974)
- 38) 今野道勝, 勝田茂, 吉永浩, 増田卓二, 安永誠, 千綿俊機 : 呼吸ガス代謝からみた長時間の最大下作業 (submaximal exercise) に対する生体の反応。九州大学体育学研究 4 (5) : 11-16 (1972)
- 39) 黒田善雄, 加賀谷熙彦, 塚越克己, 雨宮輝也, 太田裕造, 成沢三雄 : 陸上長距離走時の呼吸循環機能の変動。日本体育協会スポーツ科学研究報告. No. V (1965)
- 40) 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児 : 長距離走の実態調査報告—第2次研究—日本体育協会スポーツ科学研究報告. (1972)
- 41) 松井秀治, 清見俊雄, 宮下充正, 渡辺俊彦, 竹内伸也, 星川保, 亀井貞次, 木村順子, 長谷川賢式 : 長時間走トレーニングの生理学的研究 1. 長時間走の呼吸循環機能について. 体育学研究. 12 : 47-54 (1967)
- 42) McManus, B. M., S. M. Horvath, N. Bolduan and J. C. Miller : Metabolic and cardiorespiratory responses to long-term work under hypoxic conditions. J. Appl. Physiol. 36 : 177-182 (1974)
- 43) Michael, E. D., Jr., K. E. Hutton and S. M. Horvath : Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. J. Appl. Physiol. 16 : 997-1000 (1961)
- 44) Nordesjö, L.-O. : The effect of quantitated training on the capacity for short and prolonged work. Acta physiol. scand. Suppl. 405 (1974)
- 45) 小川新吉, 古田善伯, 井川幸雄, 伊藤朗, 中嶋英昭 : 100km長距離歩行における生体の諸変動。東京教育大体育学部スポーツ研究所報 10 : 1-15 (1972)
- 46) Olsson, K.-E. and B. Saltin : Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. Acta physiol. scand. 80 : 11-18 (1970)
- 47) Pernow, B. and B. Saltin : Availability of substrates and capacity for prolonged heavy exercise in man. J. Appl. Physiol. 31 : 416-422 (1971)
- 48) Plas, F. R. : Electrocardiographic changes during work and prolonged effort. J. Sports Med. 3 : 131-136 (1963)

- 49) Pruett, E. D. R. : Glucose and insulin during prolonged work stress in men living on different diets. *J. Appl. Physiol.* **28** : 199-208 (1970)
- 50) Pruett, E. D. R. : Plasma insulin concentrations during work at near maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.* **29** : 155-158 (1970)
- 51) Pruett, E. D. R. : FFA mobilization during and after prolonged severe muscular work in men. *J. Appl. Physiol.* **29** : 809-815 (1970)
- 52) Refsum, H. E., S. B. Strømme and B. Tveit : Changes in serum enzyme levels after 90 km crosscountry skiing. *Acta physiol. scand.* **84** : 16A-17A (1972)
- 53) Refsum, H. E., B. Tveit, H. D. Meen and S. B. Strømme : Serum electrolyte, fluid and acid-base balance after prolonged heavy exercise at low environmental temperature. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* **32** : 117-122 (1973)
- 54) Refsum, H. E., H. D. Meen and S. B. Strømme : Whole blood, serum and erythrocyte magnesium concentrations after repeated heavy exercise of long duration. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* **32** : 123-127 (1973)
- 55) Remmers, A. R., Jr. and M. V. Kaljot : Effect of strenuous and prolonged physical exercise on healthy young subjects. *JAMA* **21** : 968-970 (1963)
- 56) Rose, L. I., J. E. Bousser and K. H. Cooper : Serum enzymes after marathon running. *J. Appl. Physiol.* **29** : 355-357 (1970)
- 57) Rowell, L. B., K. K. Kraning II, T. O. Evans, J. W. Kennedy, J. R. Blackmon and F. Kusumi : Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man. *J. Appl. Physiol.* **21** : 1773-1783 (1966)
- 58) Saltin, B. : Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. With special reference to the effect of prolonged exercise and/or heat exposure. *Acta physiol. scand.* **62** : Suppl. 230 (1964)
- 59) Saltin, B. and J. Stenberg : Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* **19** : 833-838 (1964)
- 60) Soule, R. G. and R. F. Goldman : Pacing of intermittent work during 31 hours. *Med. Sci. in Sports* **5** : 128-131 (1973)
- 61) Ström, G. : The influence of anoxia on lactate utilization in man after prolonged muscular work. *Acta physiol. scand.* **17** : 440-451 (1949)
- 62) Viru, A. and P. Körge : Metabolic processes and adrenocortical activity during marathon races. *Int. Z. angew. Physiol.* **29** : 173-183 (1971)
- 63) Young, D. R., J. Shipira, R. Forrest, R. R. Adachi, R. Lim and R. Pelligrina : Model for evaluation of fatty acid metabolism for man during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* **23** : 716-725 (1967)
- 64) Young, D. R., R. Pelligrina, J. Shapira, R. R. Adachi and K. Skeretttingland : Glucose oxidation and replacement during prolonged exercise in man. *J. Appl. Physiol.* **23** : 734-741 (1967)

2. 1時間走に対する鍛練者と非鍛練者の生理・生化学的応答

順天堂大学体育学部 運動生理学教室

青木 純一郎, 石河 利寛

高岡 郁夫

全身持久力そのものが勝敗を決定する主因となるマラソンや長距離走に限らず、多くのスポーツのトレーニングにおいて、長い時間走ることが一般化する傾向にある。それは恐らく長い時間走ることが physical performance の向上と密接に関連することが、指導者や選手間に認識されてきたためであろう。

長時間運動に対する運動生理学的関心は、これまで生理学的には主に心拍数¹⁾¹⁰⁾、酸素摂取量¹¹⁾¹⁵⁾などの、また生化学的には乳酸⁸⁾⁹⁾、グリコーゲン²⁾⁶⁾、脂質⁷⁾¹³⁾などの消長に寄せられている。長時間運動に対するこれらの生体の諸機能および諸物質の動態を明らかにすることは、持久性運動競技の記録の制限因子を探る上で極めて重要である。しかしながら、これまでの研究の多くは1回の長時間運動に対する生理・生化学的反応に主眼が置かれていて、特に長期にわたって長時間運動を繰り返すことの意義は必ずしも明らかにされてはいない。

このような観点から、その第1段階として、永年長時間運動を繰り返している長距離走者および一般人を対象に、相対強度が同一の1時間走を行なわせ、両者の生理・生化学的応答を比較検討した。

実験方法

1) 被験者

被験者として、順天堂大学体育学部の長距離走者（鍛練者群）8名および組織的な持久性トレーニングを経験したことのない同学部大学院生（非鍛練者群）5名を用いた。彼等の身長、体重、最大酸素摂取量および鍛練者群のトレーニング経験年数と競技記録を表1に示した。

2) 最大酸素摂取量の測定

最大酸素摂取量の測定は速度漸増法によるトレッドミル走によった。すなわち、走行開始3分および6分に、また9分以後は2分ごとにそれぞれ毎分20mずつ速度を増加させ、“オール・アウト”的状態に至らせた。このとき、9分までは必ず submaximal な負荷となるようにトレッドミル（8.6%上り勾配）走行開始速度を、鍛練者群では161～184m/分、非鍛練者群では117～126m/分の範囲内からそれぞれの被験者の体力に応じて選択した。

その間2～3、5～6分および8分目からは連続してそれぞれ1分間ずつ呼気をダグラス・バッゲに採集した。採集した呼気はただちに湿式実験用ガスマータ（101/回、品川製作所）で計量すると同時に、酸素分析器（OM-11、Beckman）および医用ガス分析器（LB-1、Beckman）でその酸素および二酸化炭素濃度を分析した。なお、両分析器の校正は労研式大型呼気ガス分析器（柴田化学器械工業）によった。

このようにして得られた酸素摂取量の最大値を最大酸素摂取量とした。

3) 1時間走速度の決定

最大酸素摂取量測定時のはじめ9分間の submaximal 段階で得られた3つの酸素摂取量と速度との間の関係式（1次）を最小自乗法にて求め、最大酸素摂取量の70%の酸素摂取量に相当する速度を算出した。なお、1時間走の場合にも、トレッドミルの勾配は8.6%とした。

4) 1時間走中の心拍数、酸素摂取量、呼吸数および直腸温の測定

1時間走中の心拍数は胸部導出心電図を、呼吸数は採氣マスクに装着したサーミスタの温度変化曲線を、直腸温（オールアウト走を除く）は直腸に挿入（約15cm）されたカテーテル型感熱部をサ

一ミスター温度計（日本光電）に導きその出力を、いずれもインク書きオシロに記録して算出した。

酸素摂取量は、走行開始3分までは30秒ごとに、走行終了前2分間は1分ごとにそれぞれ測定し、その中間は5分ごとに1分ずつ測定した。

5) 血液成分および性状の変化

安静時および1時間走後1分に、真空採血管（仁丹テルモ）を用いて肘静脈より15mlずつ採血し、直ちに遠心分離（3,000回転/分）した。

遠心分離された血清について以下の項目を測定した（カッコ内は分析方法⁸⁾

1. 総蛋白量—T-P（屈折計使用）
2. アルブミンとグロブリンの比—A/G（セルローズアセテート電気泳動法）
3. 血糖—Sugar（Hoffman法）
4. グルタミン酸オキザロ酢酸トランスアミナーゼ—GOT（Reitman-Frankel法）
5. グルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼ—GPT（Reitman-Frankel法）
6. アルカリリフォスファターゼ—Al-P（Kind-

King変法）

7. 乳酸脱水素酵素—LDH（Wróblewski法）
8. α -ハイドロキシ酪酸脱水素酵素—HBD（Rosalki法）
9. ロイシンアミノペプチダーゼ—LAP（Goldbarg変法）
10. コレスステロール総量—T-Ch（OPA試薬使用）
11. 尿素窒素—Urea-N（ジアセチルモノオキシム法）
12. クレアチニンフオスフォキナーゼ—CPK（Nuttal-Wedin変法）
13. ナトリウム—Na（炎光光度計使用）
14. カリウム—K（同）
15. 塩素—Cl（クロライドメータ使用）
16. クレアチニン—Creatinine（Jaffe法）
17. チモール混濁試験—TTT（オートアナライザ一日立500にて）
18. 硫酸亜鉛混濁試験—ZTT（同）
19. 血中乳酸濃度—LA（酵素法）

表1 被験者の特徴

群 被験者	年令 才	身長 cm	体重 kg	$V_{O_2 \text{ max}}$ ml/kg·min	トレーニング経験 年	5,000m走
鍛練者群						
朝倉 忠勝	21.3	162.0	52.4	74.6	6	15'02"0
匂坂 清貴	22.3	170.9	58.8	74.4	10	14'22"0
枝松 武彦	21.8	162.5	53.5	71.2	6	14'42"0
山口 直之	20.6	167.0	56.7	74.0	7	15'10"0
中橋富士夫	20.9	172.0	54.5	70.4	6	14'42"0
入江 利昭	19.8	161.0	51.4	74.7	5	15'02"0
大谷 久夫	18.8	168.9	54.2	75.9	7	14'49"0
田中 登	18.9	168.8	57.8	78.1	7	14'45"0
\bar{X}	20.6	166.4	54.9	74.2	7	14'49"0
SD	1.29	3.98	2.62	2.45	1.5	15"2
非鍛練者群						
大柿 哲朗	23.3	164.8	57.5	54.8		
長岡 良治	23.3	176.0	69.2	59.7		
玉木 伸和	24.2	176.4	61.4	58.5		
鈴木 哲郎	24.2	170.7	64.0	63.4		
中島 宣行	26.3	165.0	64.4	52.5		
\bar{X}	24.3	170.4	63.3	57.8		
SD	1.23	5.66	4.29	4.26		

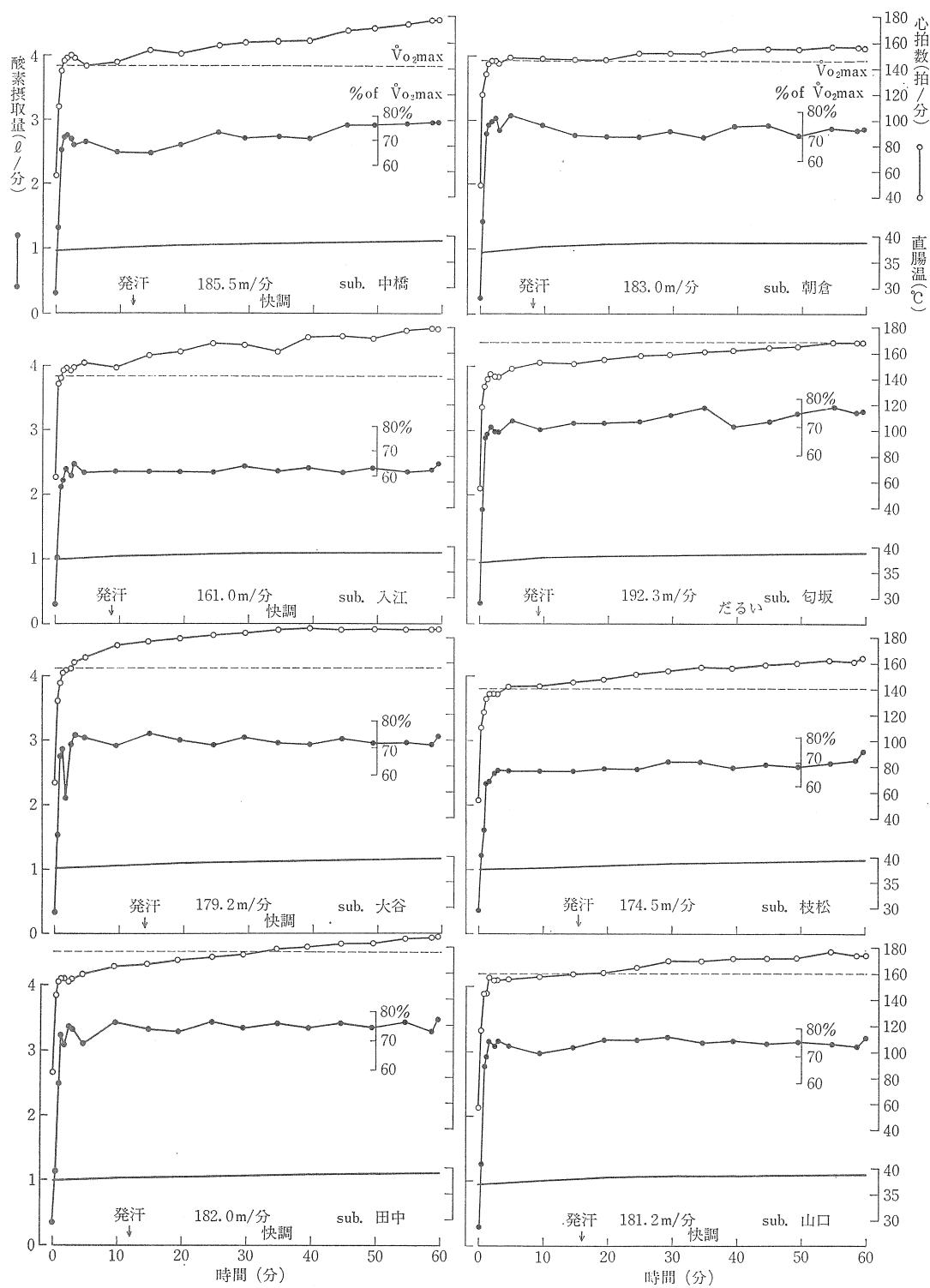


図1 鍛練者の1時間走における心拍数、酸素摂取量および直腸温の変化

6) 体重、発汗、尿検および主観的体調

1時間走の前後に体重の測定およびヘマコンビスティックス(Ames)による尿検査(潜血、ブドウ糖、蛋白、pH)を行なうとともに、走行中の発汗の観察、走者の主観的体調の記録もあわせ行なった。

7) 実験環境

オールアウト走および1時間走は、昭和49年6月21日から7月17日にわたって、順天堂大学体育

学部運動生理学教室において行なわれた。その時の室温、湿度および気圧は、それぞれ $25.5 \pm 1.77^{\circ}\text{C}$, $75 \pm 7.0\%$ および $750.4 \pm 2.93\text{mmHg}$ であった。

実験結果

1) 1時間走の強度

酸素摂取量—走行速度関係式から求めた最大酸素摂取量の70%に相当する走行速度は、鍛練者群

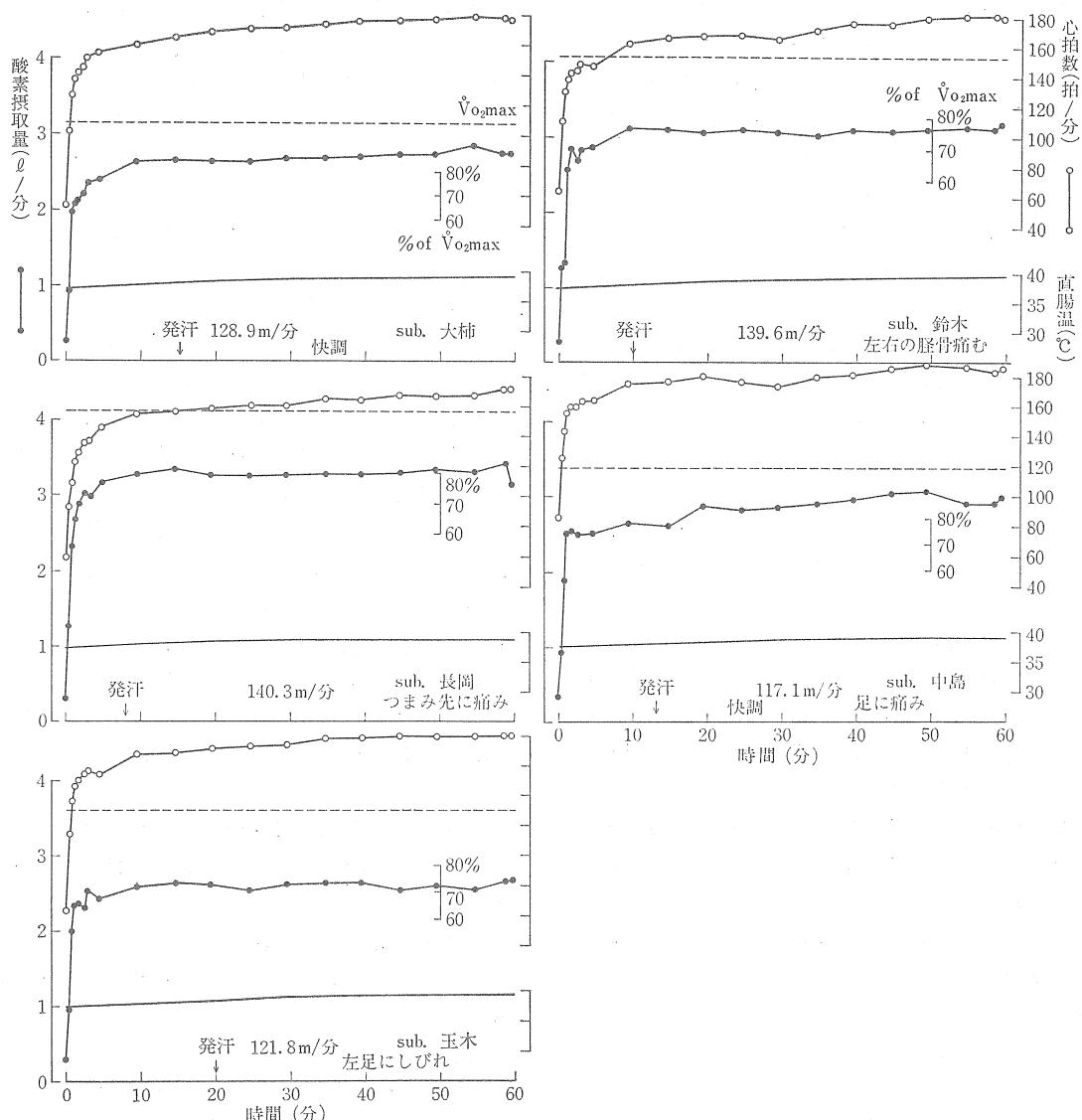


図2 非鍛練者の1時間走における心拍数、酸素摂取量および直腸温の変化

で平均180m/分(161~192), 非鍛練者群で平均130m/分(117~140)であった。両群の走行速度の差は統計的に有意であった($p < 0.001$)。また、このような計算で求めた走行速度は、実際には必ずしも最大酸素摂取量の70%にはならなかった(鍛練者群 $72 \pm 4\%$; 非鍛練者群 $79 \pm 6\%$, 両群の有意性は $p < 0.05$ であった)。特に非鍛練者群では玉木および鈴木を除いて、80~90%になってしまった。

しかし、いずれの被験者も特別なトラブルもなく1時間完走することができた。すなわち、走行中鍛練者群では勾坂が40分頃に若干のだるさを感じた以外は皆快調であった。非鍛練者群では長岡、玉木、鈴木、中島がいずれも40分頃に足に痛みあるいはしびれを感じた。しかし、いずれも走行にさしつかえるものではなかった。

発汗は早くて8分目頃から、遅い場合には20分目にはっきり肉眼で観察されるようになった(平均発汗開始時間12分)。その結果、全員に有意な体重の減少が見られたが、両群に差はなかった。すなわち、鍛練者群は55.2kgから53.9kgに1.3kg($p < 0.01$), 2.4%減少し、非鍛練者群は65.2kgから63.7kgに1.5kg($p < 0.001$), 2.3%減少した。

尿検査の結果、蛋白は鍛練者群で5人、非鍛練者群で3人が、運動後に安静時の評価段階がいずれも1段階上になった。pHは前者で3人、後者で2人が安静時よりわずかに酸性に傾いた。しかし、潜血および糖はいずれの場合にも見い出されなかった。

2) 1時間走の心拍数、酸素摂取量、直腸温および呼吸数の変化

各被験者の1時間走における心拍数、酸素摂取量および直腸温の変化を図1(鍛練者群)および図2(非鍛練者群)に示した。

心拍数 鍛練者および非鍛練者とも、心拍数は走行開始後2分までの増加が著しく、いずれも毎分140~150拍に達した。その後58分ほどの間の増加は非常に緩徐となったが、定常状態は見られなかつた。

1時間走終了直前的心拍数は、鍛練者(174 ± 10.7 拍/分)で8人中4人が、また非鍛練者(179

± 5.5 拍/分)で5人中4人が毎分180拍あるいはそれより数拍多い値に達した。低い値は前者で約160拍/分、後者で約170拍/分であった。

鍛練者群で運動強度が最も低かった被験者入江($\dot{V}O_{2\text{max}}$ の約60%)の心拍数のパターンを、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の約75%の強度で走った田中および山口と比較すると、田中とは差がなく、山口よりは高い水準にあった。非鍛練者群においても、心拍数増加のパターンと運動強度との間に特異な差を見い出すことはできなかった。

酸素摂取量 鍛練者群の酸素摂取量は、走行開始とともに急激に増加し、約3分後の値は、1時間の運動期間中の最高値(2.91 ± 0.061 /分)またはそれに近い値であった。その後、運動終了直前に若干増加がみられるものの、ほぼ定常状態が成り立った。

一方、非鍛練者群では、全体的には鍛練者群とほぼ類似のパターンをとったが、細部については若干異なる傾向がみられた。すなわち、酸素摂取量は走行開始とともに約2分間は急激に増加したが、その後の増加は鈍化し、ほぼ10分で1時間走の最高値(2.90 ± 0.081 /分)またはそれに近い値に達した。それ以後はほぼ定常状態が成立して、鍛練者群と同一の経過をたどった。

直腸温 1時間走により、直腸温は鍛練者群で $37.2 \pm 0.28^\circ\text{C}$ から $39.0 \pm 0.33^\circ\text{C}$ へ、また非鍛練者群では $37.3 \pm 0.25^\circ\text{C}$ から $39.2 \pm 0.31^\circ\text{C}$ へいずれも有意に増加した($p < 0.001$)。増加のパターンは両群とも走行開始とともに徐々に増加し、ほぼ30分までに、約 1.4°C 上昇した。その後の30分の増加量は、前半に比べて減少し、約 0.4°C であった。

呼吸数 呼吸数の最終値は、鍛練者群で 56.6 ± 9.15 回/分、非鍛練者群で 57.0 ± 8.94 回/分であった。

3) 1時間走前後の血液所見

1時間走の前および後に得られた血液の分析結果を表2に示した。

総蛋白、総コレステロールおよび無機質(Na, K, Cl)の有意な増加($p < 0.05 \sim 0.001$)が、両群に見られた。しかし、両群の絶対値の差は運動前、運動後とも有意ではなかった。

表2 1時間走前後の血液所見

		非 鍛 練 者 群		鍛 練 者 群	
		安 静 時	1 時間走後	安 静 時	1 時間走後
総 蛋 白 量	g/dl	6.7 ± 0.4	7.6 ± 0.4**	7.0 ± 0.4	8.0 ± 0.3***
A G 比		2.0 ± 0.2	2.1 ± 0.3	2.1 ± 0.3	2.1 ± 0.3
血 糖	mg/dl	104 ± 10	95 ± 11	99 ± 18	101 ± 13
コレステロール総量	mg/dl	154 ± 24	169 ± 23*	141 ± 19	160 ± 25***
尿 素・窒 素	mg/dl	12 ± 2	15 ± 2**	16 ± 3	17 ± 4
血 中 乳 酸 濃 度	mg/dl	8.1 ± 1.7	27.4 ± 14.2*	8.1 ± 2.2	11.8 ± 6.2
ク レ ア チ ニ ン	mg/dl	1.2 ± 0.1	1.4 ± 0.0	1.1 ± 0.1	1.3 ± 0.1**
ナ ト リ ヲ ム	mEq/l	144 ± 1	148 ± 2**	141 ± 3	144 ± 3*
カ リ ヲ ム	mEq/l	3.9 ± 0.2	4.4 ± 0.2*	3.8 ± 0.3	4.5 ± 0.2***
塩 素	mEq/l	105 ± 2	107 ± 2*	103 ± 2	105 ± 2*
G O T	u	25 ± 14	36 ± 14	23 ± 7	27 ± 9
G P T	u	12 ± 4	16 ± 8*	10 ± 3	13 ± 6
A I - P	u	6.4 ± 1.6	6.8 ± 2.3	7.6 ± 1.9	8.4 ± 2.7
L D H	u	236 ± 45	304 ± 26*	289 ± 31	333 ± 28**
H B D	u	105 ± 42	111 ± 68	146 ± 16	164 ± 19
L A P	u	171 ± 60	191 ± 71	161 ± 16	179 ± 20**
C P K	I U	251 ± 371	286 ± 428	96 ± 94	109 ± 101*
T T T	U	3.1 ± 2.3	3.4 ± 3.4	2.7 ± 1.0	2.5 ± 1.1
Z T T	U	6.2 ± 2.1	6.2 ± 2.6	4.6 ± 1.4	4.2 ± 1.4**

* P<0.05 ; ** P<0.01 ; *** P<0.001

酵素では、乳酸脱水素酵素が両群とも15~30% ($p < 0.05 \sim 0.01$) 増加したほか、非鍛練者群ではGPTに、また鍛練者群ではLAP, CPK, クレアチニン, ZTTにそれぞれ有意な増加 ($p < 0.05 \sim 0.001$) が見られた。

1時間走により、非鍛練者群の血糖は 104 ± 9.6 mg/dl から約9%減少して 95 ± 10.6 mg/dl になった。また、鍛練者群の血糖は、 99 ± 18.1 mg/dl から 101 ± 13.0 mg/dl と2%ではあるが増加した。しかし、いずれもその差は有意ではなかった。

鍛練者群および非鍛練者群の安静時の血中乳酸濃度は、それぞれ 8.1 ± 2.16 mg/dl および 8.1 ± 1.73 mg/dl であった。しかし、1時間走により、前者では約46%の増加 (11.8 ± 6.21 mg/dl, $p > 0.5$) であったのに対して、後者では平均238%の有意 ($p < 0.05$) な増加 (27.4 ± 14.15 mg/dl) がみられた。

考 察

$\dot{V}O_2 \text{max}$ の70%を意図して、酸素摂取量一走行

速度関係式から求めた走行速度で1時間走を行なったところ、鍛練者群では $\dot{V}O_2 \text{max}$ の $72 \pm 4\%$ に相当する酸素摂取水準で定常状態となつたが、非鍛練者群では予定より10%ほど高い水準 ($79 \pm 6\%$) に達してしまつた。これは、酸素摂取量一走行速度関係が1次式で表わされると仮定して、最小自乗法によってその1次式を求め、実測の $\dot{V}O_2 \text{max}$ の70%に相当する速度を決定するという手続き上発生した問題である。すなわち、鍛練者群ではその直線上に $\dot{V}O_2 \text{max}$ があったのに對して、非鍛練者群では、直線より下方に $\dot{V}O_2 \text{max}$ があつたためと考えられる。

Åstrand と Rodahl¹⁴⁾によれば、非鍛練者が1時間走れる強度の上限は、 $\dot{V}O_2 \text{max}$ の50%であり、70%になると30分しか持続できない。また、WHOの至適作業能力に関する科学委員会¹⁵⁾は、一般成人の運動処方として $\dot{V}O_2 \text{max}$ の70%~30分間を推奨している。しかし、本実験でみられる通り、非鍛練者群でも平均 $79 \pm 6\%$ の強度で、平均 $72 \pm 4\%$ で1時間走った鍛練者群とほぼ同様の

発汗および体重減少で走ることができたうえに、尿検査の結果にも何ら異常が認められなかった。したがって、 $\dot{V}o_{2\text{max}}$ の70%で1時間という運動処方は可能である。

生理的機能のなかで、トレーニングに最もよく応答するパラメータの1つに心拍数がある。すなわち、一般に、心拍数は同一の物理的負荷に対して、トレーニング後減少する。しかし、相対強度が同じ場合の鍛練差については報告がない。本実験においては、鍛練者群と非鍛練者群の心拍数応答には有意な差がみられなかった（図3）。

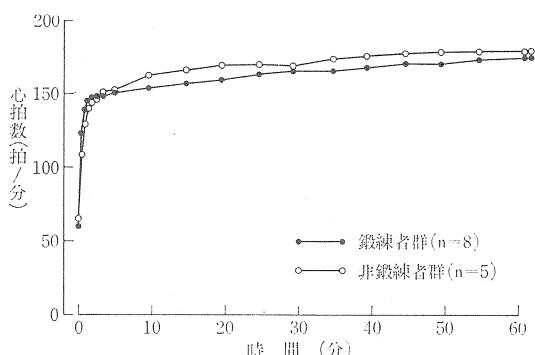


図3 1時間走中の心拍数の変化

$\dot{V}o_{2\text{max}}$ の50%以下の長時間運動では心拍数は運動開始5分後には定常状態に入る⁵⁾。しかし、Ahlborg¹⁾は一定負荷の長時間運動時の心拍数の変化を分析して、30分から100分で疲労困憊になるような長時間運動では運動開始とともに増加し続け、運動終了時に近づくにつれて、その増加率がやや減少し、200分では始めから終りまで1次関数的に上昇し続けることを見た。また、松井ら¹⁵⁾は $\dot{V}o_{2\text{max}}$ の62%に相当する強度で2時間30分にわたるトレッドミル走を行なった結果、心拍数は走行開始後の1分間で急増し、それ以後の変動は少なく10分から30分までは定常状態が成立し、その後平均每分2、3拍づつ漸増することを観察した。したがって、両者の研究より強度の高い本実験において、運動開始直後の急増期から引き続いて運動終了時まで上昇し続けて、心拍数の定常状態が成り立たなかったことと合わせ、長時間運動時の心拍数の増加のパターンは運動強度に依存し、強度の増加に伴ない定常状態が成立しない原

因は、体温の上昇（図1、2参照）による末梢血流の増加によって心臓への静脈帰還血流量が減少すること¹⁴⁾によるものと考えられる。

心拍数とは異なって、1時間走中の酸素摂取量は走行開始10分以後終了まで、両群とも毎分約2.91で定常状態が成り立った。しかし、走行開始10分までの経過には両群に大きな相違がみられた（図4）。すなわち、鍛練者群では走行開始とともに

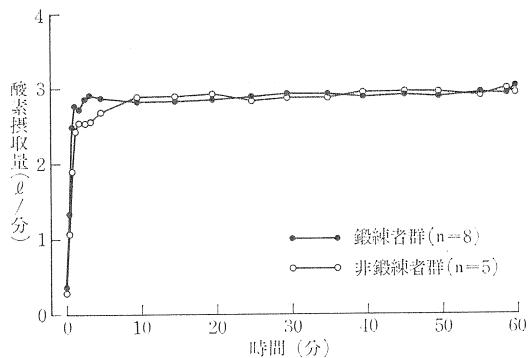


図4 1時間走中の酸素摂取量の変化

に、酸素摂取量の立ちあがりがきわめて早く、3分には、全過程の最高値またはそれに近い値に達し、それよりやや低い値で定常状態に入った。しかし、非鍛練者群では、2分から10分にかけて増加の割合がそれ以前に比較して大きく低下している。

運動開始時における酸素摂取量の両群のこの差は、エネルギー発生機構の差を示唆するものである。すなわち、鍛練者群では有気的エネルギー発生過程が改善されていて、初期酸素不足 O₂ deficit が少なく、したがって運動後の血中乳酸濃度も低い。これに対して、非鍛練者群では、運動開始時に、無気的過程でのエネルギー発生が多く、したがって運動後の血中乳酸濃度が、鍛練者群に比べて高い。

長時間運動能力は筋のグリコーゲン含有量と密接な関係があり²⁾¹²⁾、また長時間運動時のエネルギー発生源の主体は、トレーニングの効果として、糖質の燃焼から脂質の燃焼に移行するといわれている¹⁰⁾。そこで、両群の糖質と脂質の燃焼の割合を呼吸商で比較してみたものが図5である。運動開始とともに非鍛練者群では、酸素の供給が遅れ

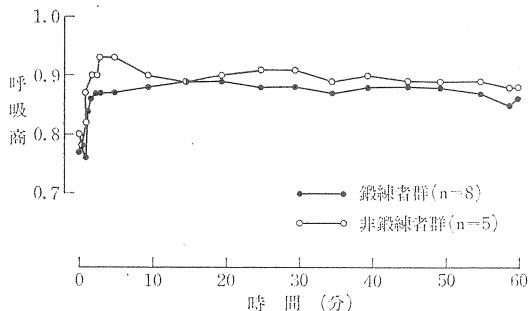


図5 1時間走中の呼吸商の変化

るため、多くの糖質を無気的に分解するとともに、全過程にわたって、鍛練者群より糖質の燃焼の度合が大きいことが推察される。鍛練者群では1時間走による、血糖水準の変化がみられなかったにもかかわらず、非鍛練者群では9%も減少している。これはこのようなエネルギー発生機構上の差に由来するものであろうと考えられる。

運動後血中の総蛋白量および無機質が有意に減少したことは、体重の減少が主に発汗による水分の減少によるものであって、したがって血液濃縮が起っていることを示唆している。本実験で見られた酵素の変化は血液濃縮に埋没されてしまうものであって、今後さらに詳細な検討が必要である。

要 約

1) 長時間運動の生理学的および生化学的特質を明らかにする研究の第1段階として、最大酸素摂取量の70%に相当する強度での1時間走に対する生理・生化学的応答を検討した。

2) 被験者として、順天堂大学体育学部の長距離走者（鍛練者群）8名および大学院生（非鍛練者群）5名を用いた。

3) 行走強度は、最大酸素摂取量の70%を目標にしたが、実際には鍛練者群で $72 \pm 4\%$ 、非鍛練者群で $79 \pm 6\%$ であった。

4) 心拍数は、両群とも、走行開始後2分までの増加が著しく、140～150拍/分に達した。その後は定常状態になることなく、緩徐な増加を示し、鍛練者群で 174 ± 10.7 拍/分に、非鍛練者群で 179 ± 5.5 拍/分に達した。運動強度と心拍数増加のパターンには特異な関係が見られなかった。

5) 鍛練者群の酸素摂取量は、走行開始とともに

に急激な増加を示し、約3分後に運動中の最高値 (2.9 ± 0.061 /分) またはそれに近い値に達した。その後は、運動終了直前にわずかに増加がみられたものの、ほぼ定常状態が成り立った。一方、非鍛練者群では、2分までの増加が急で、その後は緩徐になって約10分で最高値 (2.9 ± 0.081 /分) またはそれに近い値に達した。その後はほぼ定常状態が成り立った。

6) 直腸温は、鍛練者群で $37.2 \pm 0.28^\circ\text{C}$ から $39.0 \pm 0.33^\circ\text{C}$ へ、非鍛練者群で $37.3 \pm 0.25^\circ\text{C}$ から $39.2 \pm 0.31^\circ\text{C}$ へ増加した ($p < 0.001$)。増加のパターンは走行開始30分後までが急で、約 1.4°C 増加し、その後の増加は鈍化して、増加分は約 0.4°C であった。

7) 血中の総蛋白量および無機質が有意に減少し ($p < 0.05 \sim 0.001$)、かつ約2%の体重減少が主として発汗によると思われる所以、血液濃縮が起ったものと考えられる。酵素の変化はいずれも血液濃縮によって説明のつく程度のものであった。

8) 非鍛練者群の血糖値が9%減少したにもかかわらず、鍛練者群では2%増加した。また、血中乳酸濃度は、前者では238%増加し ($p < 0.05$)、後者では46%の増加 ($p > 0.05$) であった。

9) 呼吸商の変化は、鍛練者群の方が、非鍛練者群より脂質の燃焼の度合が大きいことを示唆した。

10) 以上の結果から、鍛練者群では有気的エネルギー発生過程が改善され、初期酸素不足が少なく、したがて運動後の血中乳酸濃度が低く、また、脂質がより多く燃焼され、したがって血糖の低下が少ないことが、高い長時間運動能力の源となっているものと考えられる。

文 献

- 1) Ahlborg, B. : Pulse rate during prolonged exercise in man. *Försvarsmed.* 3 : 112-120 (1967)
- 2) 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)
- 3) Åstrand, P.-O. I. Hallbäck, R. Hedman and B. Saltin : Blood lactates after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 18 : 619-622 (1963)
- 4) Åstrand, P.-O. and K. Rodahl : *Textbook of work physiology.* 1st ed. p. 292, McGraw-Hill :

- New York (1970)
- 5) Ibid. p. 290.
 - 6) Bergström, J. and E. Hultman : The effect of exercise on muscle glycogen and electrolytes in normals. *Scandinav. J. Clin. & Lab. Investigation* 18 : 16-20 (1966)
 - 7) Fröberg, S. O. and F. Mossfeldt : Effect of prolonged strenuous exercise on the concentration of triglycerides, phospholipids and glycogen in muscle of man. *Acta physiol. Scand.* 82 : 167-171 (1971)
 - 8) 金井 泉：臨床検査法提要。第23版，金原出版：東京 (1964)
 - 9) Karlsson, J. : Lactate in working muscles after prolonged exercise. *Acta physiol. Scand.* 82 : 123-130 (1971)
 - 10) Keul, J., G. Haralambie, T. Arnold and W. Schumann : Heart rate and energy-yielding substrates in blood during long-lasting running. *Europ. J. Appl. Physiol.* 32 : 279-289 (1974)
 - 11) 今野道勝，勝田 茂，吉水 浩，増田卓二，安永誠千綿俊機：呼吸ガス代謝からみた長時間の最大下作業 (submaximal exercise) に対する生体の反応。 *九大体育学研究* 4 : 11-16 (1972)
 - 12) Pernow, B. and B. Saltin : Availability of substrated and capacity for prolonged heavy exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 31 : 416-422 (1971)
 - 13) Pruett, E. D. R. : FFA mobilization during and after prolonged severe muscular work in men. *J. Appl. Physiol.* 29 : 809-815 (1970)
 - 14) Rowell, L. B. : Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.* 54 : 75-159 (1974)
 - 15) 松井秀治，浅見俊雄，宮下充正，渡辺俊彦，竹内伸也，星川 保，龜井貞次，木村順子，長谷川賢式：長時間トレーニングの生理学的研究 1. 長時間の呼吸循環機能について。 *体育学研究* 12 : 47-54 (1967)
 - 16) WHO Scientific Group : Optimum physical performance capacity in adults. *World Health Org. Techn. Rep. Ser.* No. 436 (1969)

3. 1時間のトレッドミル走行における代謝と体温変化

大阪体育大学

金子公宥, 豊岡示朗

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) は、今日、持久的運動能を推し測る最も代表的な生理的指標とされ、国際的にもそのテスト法の標準化がなされている⁵⁾。 $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の決定には、一般に比較的短時間(10分内外)で疲労困憊に達する負荷が与えられるが、実際の陸上長距離競技では、1万mが約30分、マラソンは2時間余も持続する。このような長時間走では、普通、定常状態が持続する訳であるから、走行中のエネルギーの経済的使用(効率の良さ)や酸素の動員能力⁴⁾、あるいは体温調節機能¹⁴⁾などが、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の大きさに加えて、見逃がせない要因のように思われる。また疲労因子としてのエネルギー源の枯渇(または減少)や代謝産物の蓄積¹⁰⁾¹⁴⁾なども当然関係すると思われる。

本研究では、大学の長距離選手を対象に、相当に強い負荷条件(スピード)下で1時間のトレッドミル走を与え、この時の呼吸循環系反応や血中乳酸、および体温の変化を記録して、それら指標が選手の運動成績とどのような関係にあるのかを

考察しようとした。

(方 法)

1) 被検者はO大学陸上競技部員(中・長距離選手)10名である。彼らの年令は19~23才、身長は162.7~176.1cm、体重は50.4~64.6kg、5000mの最高記録は15'23"2~18'17"0の範囲にある(表1参照)。

2) 1時間のトレッドミル走スピードは、各人共通に250m/分(平面走)とした。これは5000mを20分で走るペースに相当するので恐らく全員が1時間完走するであろうとの予想で設定したものである。

3) 実験手続は次のようである。実験は全て、大阪体育大学の環境制御室において、室温20°±1°C、相対湿度50~70%の人工環境下で行った。

本実験に先立ち、予備実験として被検者にマスクや直腸温用サミスターなどを模擬的に装着して、トレッドミルに馴れるための試走をさせた。本実

表1 被検者の特徴

Subj. No.	Subj. (cm)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2 \text{ max}$ (l/min)	$\frac{\dot{V}O_2 \text{ max}}{W}$ (ml/kg/m)	5000m Record	Running Speed in Exp. (m/min)	*%V — 5000m	**%V — 1500m
1.	K. A.	167.2	59.2	4.34	76.9	15'23"2	250	76.9	67.7
2.	T. I.	162.7	53.9	3.74	70.1	15'46"4	250	78.9	68.1
3.	K. O.	166.4	50.4	3.59	71.5	15'49"0	250	79.1	71.5
4.	T. H.	166.6	63.0	4.46	72.5	15'54"0	250	79.6	70.4
5.	K. M.	166.7	61.2	4.49	74.2	15'55"0	250	79.6	70.4
6.	S. K.	176.1	64.6	4.37	68.2	16'08"0	250	80.6	69.0
7.	K. U.	167.8	61.2	4.12	68.8	17'18"4	250	86.5	75.3
8.	S. A.	170.7	64.1	4.19	65.4	17'30"4	250	87.4	78.9
9.	N. M.	167.0	58.8	3.70	62.9	17'53"0	250	89.4	81.4
10.	M. F.	166.9	62.6	3.73	59.3	18'17"0	250	91.6	78.6

* %V : 5000m 競走における平均スピードに対する実験条件のスピード(250m/分)の%

** 同様に1500m 競走の平均スピードに対する%

験において、被験者はショートパンツだけを着用した上半身裸体で入室し、直腸温用と皮膚温用サミスターを装着したのち、30分間椅子座位で安静をとった。呼気ガス用マスクや心電図電極はこの安静時の初期にとりつけ、安静終末10分間に安静時の諸記録を得た。安静後、200m/分のスピードで3分間 Warm-up をし、続いて3分間休息して250m/分のスピードの1時間走に入り、走行後再び椅子で30分間安静に保った。

4) 測定項目と測定法は次の通りである。

(1) 体重：50g 精度の横杆型体重計で運動前後に測定。

(2) 酸素摂取量と換気量：ダグラスバッグ法で採気し、乾式ガスマーテーで換気量を測り、労研式ガス分析器で O_2 と CO_2 含量を分析し、両者から換気量 (BTPS) と酸素摂取量 (STPD) を算出した。運動時の採気は、開始5分間は1分ずつ連続し、以後10分おきに1分間ずつ採気した。回復期は0~1分、1~5分、5~10分、以後10分ずつ30分まで連続採気した。

(3) 心拍数：実験の全過程を通して、胸部双極誘導による心電図を連続記録し、毎分のR棘全数を数えて心拍数とした。

(4) 呼吸数：サミスター素子をマスク内に固定し、

表2 長時間運動終末時の反応水準

Subj. NO.	$\dot{V}O_2$ (l/min)	$\frac{\dot{V}O_2}{W}$ (ml/kg/min)	% $\dot{V}O_2$ max (%)	\dot{V}_E (l/min)	$\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}O_2}$	f (times/min)	fH (beats/min)	O_2 pulse (ml/kg/beat)	Tr (°C)	Ts (°C)	Tr-Ts (°C)	Step (freq/min)
1.	2.62	44.3	60.4	66.6	21.5	46	150	0.29	38.70	33.44	5.26	177
2.	2.64	49.2	70.6	83.1	27.1	83	157	0.31	38.25	34.51	3.94	179
3.	2.25	44.6	62.7	72.5	28.0	58	170	0.26	38.80	32.44	7.02	183
4.	3.01	49.4	67.5	73.1	20.2	43	170	0.29	38.60	34.43	4.17	180
5.	3.14	51.3	70.0	85.1	22.9	51	182	0.28	39.60	33.46	6.14	176
6.	2.87	44.4	65.7	75.8	21.7	43	173	0.26	38.40	33.66	4.74	175
7.	2.97	48.6	72.1	90.3	25.1	62	190	0.25	40.05	33.55	6.50	188
8.	2.89	45.0	69.0	93.4	26.6	52	185	0.25	39.40	33.89	5.51	174
9.	2.63	44.7	71.1	81.2	25.4	52	180	0.25	38.95	33.27	5.68	178
10.	3.04	48.6	81.5	115.2	31.7	94	182	0.27	39.05	34.35	4.70	192

(註) f : 呼吸数 (回/分)

fH : 心拍数 (拍/分)

Tr : 直腸温

Ts : 平均皮膚温

表3 運動後 (回復期) の各指標反応水準

Subj. No.	O_2 debt (1)	$\frac{O_2 \text{debt}}{W}$ (ml/kg)	LA. (O')	LA (30')	Albmine (U) (ml/dl)	En. cost (1)	$\frac{En. cost}{W}$ (l/kg)	$\frac{O_2 \text{ debt}}{En. cost}$ $\times 100$ (%)
1.	1.53	27.2	14.0	12.4	—	141.15	2.38	1.08
2.	1.41	26.8	13.4	10.6	±	138.36	2.57	1.02
3.	1.34	27.3	20.0	12.0	+30	125.75	2.50	1.07
4.	3.10	50.4	33.4	13.6	±	162.88	2.59	1.90
5.	3.76	62.8	16.3	13.9	+30	167.58	2.74	2.24
6.	1.99	31.4	24.0	20.2	+30	158.01	2.45	1.26
7.	3.21	54.0	23.4	13.0	+30	169.40	2.77	1.90
8.	3.89	61.6	91.0	27.8	+100	80.84	1.26	4.81
9.	2.44	42.8	46.0	13.6	+30	143.72	2.44	1.70
10.	2.65	42.6	80.2	38.0	+30	79.65	1.27	3.33

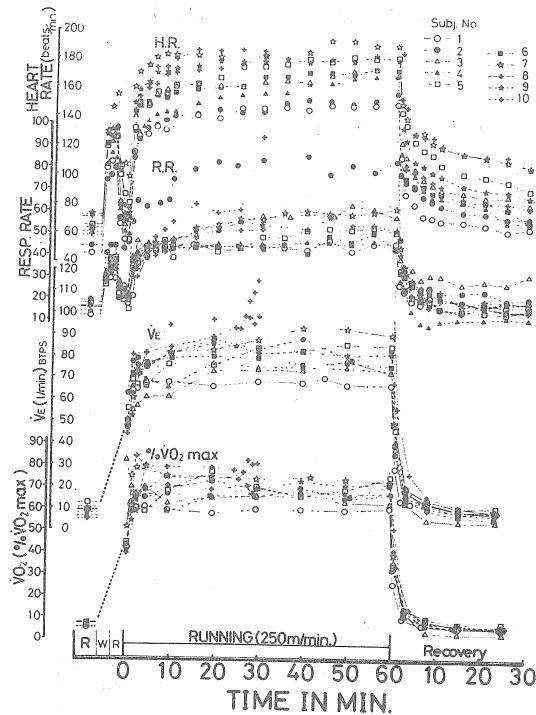


図1 1時間走中の（上から）心拍数、呼吸数、換気量、酸素摂取水準（% VO₂max）の変化

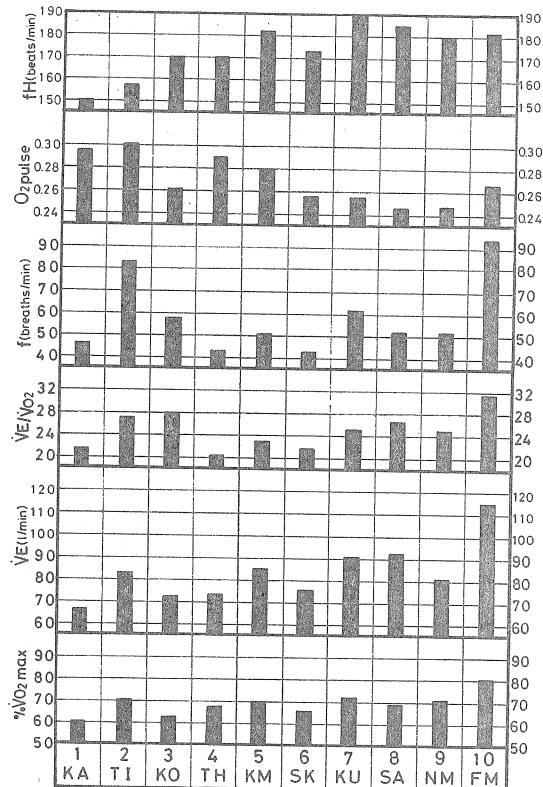


図2 運動終末時の各指標の比較（最下段は被検者の略記号および5000m成績順位）

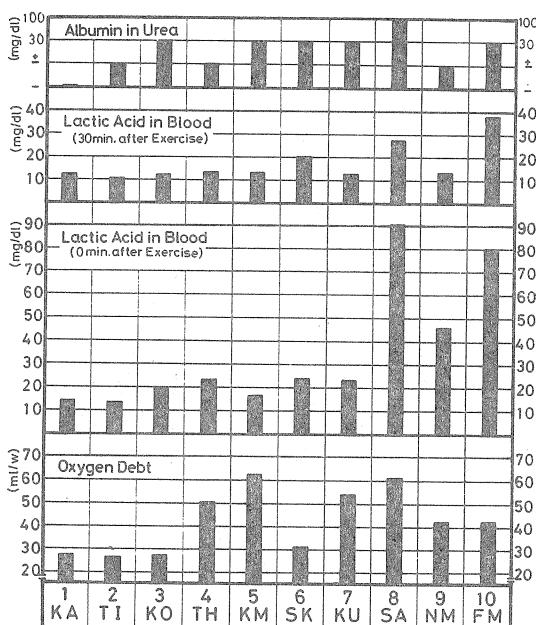


図3 運動後の（上から）尿蛋白、血中乳酸濃度（30分後値、直後値）、酸素負債の比較図

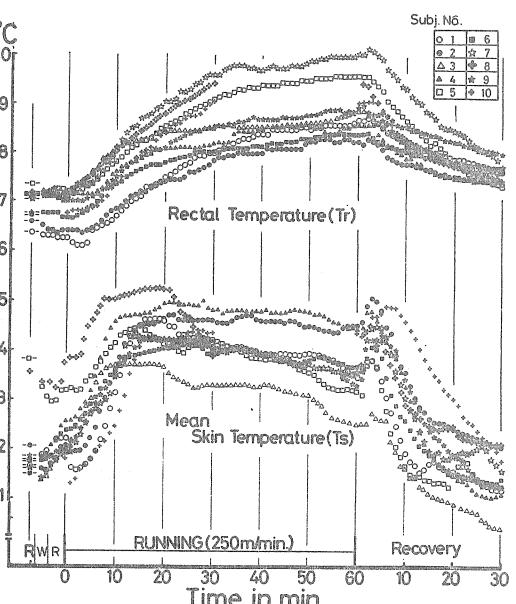


図4 運動中の直腸温（Tr）と平均皮膚温（Ts）の変化

呼吸とともに温度変化を記録して呼吸数を数えた。

(5)血中乳酸濃度：運動前および運動後（直後と30分後）に正肘皮静脈血より混合静脈血を採取（約10～15ml）し、酵素法により分析した。

(6)尿蛋白：実験室に入る前に最初の採尿をし、次はその時点から2時間後（運動・回復期の終了

後）に行い試験紙法により定性的に測定した。

(7)直腸温：直腸温用サミスター素子の先端を直腸内に15cm挿入し、1分毎に連続記録した。

(8)皮膚温：皮膚温用サミスター素子（円盤型）を、胸（乳頭の2～3cm上）、上腕（中央部外側）、大腿（中央部前面）、下腿（中央部やや外側）の4点に貼布して、1分毎に連続記録し、Ramanath-

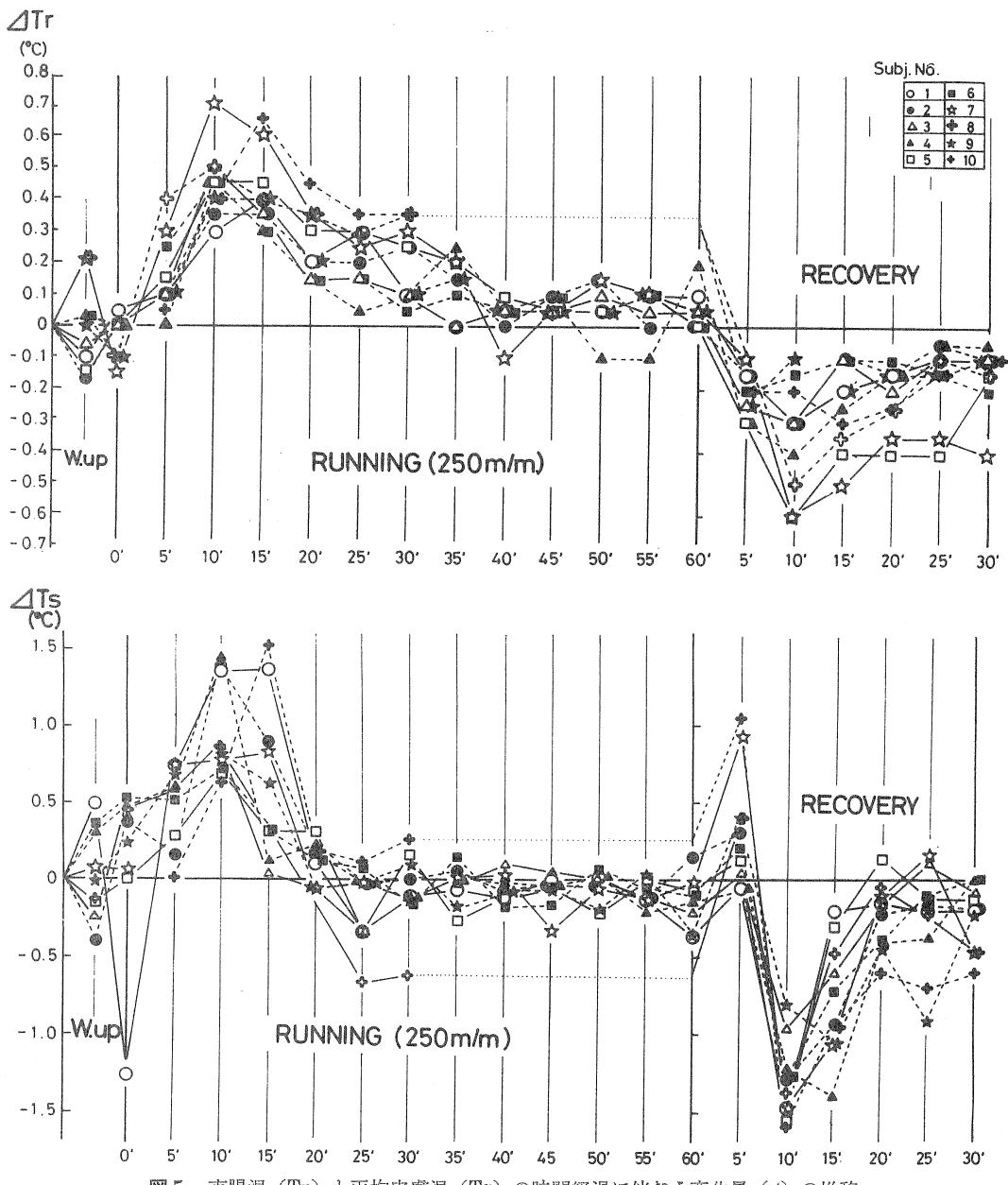


図5 直腸温 (Tr) と平均皮膚温 (Ts) の時間経過に伴なう変化量 (Δ) の推移

an¹²⁾の次式で平均皮膚温 (Ts) を算出した。

$$Ts = 0.3(\text{胸} + \text{上腕}) + 0.2(\text{大腿} + \text{下腿})$$

(9)最大酸素摂取量のは次のような方法で測定した。すなわち、トレッドミルを5°の上傾で固定し、3分間の Warm-up 後、各被検者が5~10分間で疲労困憊に達するような初期スピードからスタートして、1分毎に10m/分ずつスピードを増し疲労困憊に追いこんだ。この間終末3~4分間の呼気ガスを採取し、最大酸素摂取量を決定した。

(結 果)

(1)代謝反応と競技成績の関係

表1に各被検者を5000mタイムの良い順にNo.を付して上から下に配列し、種々測定成績を示した。彼らの最大酸素摂取量 ($\dot{V}o_2 \text{ max}$) は、3.59~4.49l/min、体重当り ($\dot{V}o_2 \text{ max}/\text{kg}$) は62.9~76.9ml/kg/min の範囲にある。 $\dot{V}o_2 \text{ max}$ と競技成績との相関は1500m タイムとの間で $r = -0.348$ 、5000m タイムとの間で $r = -0.366$ となり、いずれも有意ではないが、体重当り ($\dot{V}o_2 \text{ max}/\text{kg}$) との間では、1500m タイムが $r = -0.870$ 、5000m タイムが $r = -0.937$ となって、いずれも1%水準で有意である。しかし個々にみると競技成績に大差のある No. 2 の T. I. と No. 7 の K. U. が同程度の $\dot{V}o_2 \text{ max}/\text{kg}$ 値を示す例などもある。

1時間走のスピード (250m/分) は、1500m タイムから計算した平均スピードの67.7~81.4%，5000m の平均スピードの76.9~91.6%に相当する。このスピードの1時間走終末時点の測定値が表2であり（ただし、S. A. と M. F. の2名は約30分で疲労困憊になり走行を中止した）、このうち、心拍数 (fH)，呼吸数 (f)，換気量 (\dot{V}_E)，酸素摂取水準 (% $\dot{V}o_2 \text{ max}$) の時間経過を図1に示した。同図において、各反応は運動開始後約5分で最高値の約90%に達し、以後はほぼ一定（正常状態）に経過していることがわかる。

運動終末時の酸素摂取量は平均 2.80l/min、体重当りで平均 47.0ml/kg/min となり、それらは最大酸素摂取量の約70% (70% $\dot{V}o_2 \text{ max}$) である。しかし、そこには個人差があって、ある選手には60%，またある選手には82% $\dot{V}o_2 \text{ max}$ の強度になっている（表2参照）。約30分で疲労困憊になっ

た M. F. は 5000m タイムが全被検者の中で最も悪く (subj. No. 10)，走行中の酸素摂取水準も最も高いもの (82% $\dot{V}o_2 \text{ max}$) であった。そして、彼の呼吸数と換気量は、疲労困憊直前に著明な増加を示した（図1参照）。30分で疲労困憊に至ったもう一人の被検者 (S. A.-No. 8) の場合は、酸素摂取水準はそれほど高くなく (69% $\dot{V}o_2 \text{ max}$) 換気量が他者に比べて著しく高い（呼吸の効率が悪い）という特徴を示した。他方、5000m タイムの最も良い被検者 K. A. (No. 1) の場合は、1時間走中の酸素摂取水準、換気量、心拍数のいずれもが、全被検者中最も低い（余裕がある）。

図2は、運動終末時の測定値、図3は回復時のもの（表3）をそれぞれ棒グラフに表わしたもので、最下段の被検者は、No. が示すように競技成績順に右から左へ配置し、競技成績（5000m タイム）との関係を見やすくしたものである。30分で疲労困憊に至った2被検者 (No. 8 と No. 10) は血中乳酸濃度も著しく高く、ことに No. 8 (S. A.)においては、その他に酸素負債、尿蛋白も他の選手に比べて著明に高い。こうした回復期の状況は当然、運動時の状況を反映したものである。No. 5 の K. M. もまたその一つの典型例で、酸素負債が高いだけでなく運動中の酸素摂取水準や心拍数も高い。こうした競技成績と各指標との関係を表4に一括して示した。

(2)体温変化と競技成績

直腸温 (Tr) と平均皮膚温 (Ts) の時間経過を図4に、それらの時間毎の変化量の推移を図5にそれぞれ示した。これらの図にみられるように、直腸温は運動の前半30分間に急速な上昇 ($\Delta Tr = +1.05 \sim 2.50^\circ\text{C}$) を示し、後半は徐々に上昇 (+0.3~0.7°C) する。皮膚温は開始15分頃まで急速に低下し（図5において明らか），以後は徐々に低下 (-0.69~ -2.46°C) した。したがって運動中の温度勾配 (Tr-Ts) は、約15分目まで低下し、以後直線的に増加の傾向をたどる。

直腸温の最高値は 40.05°C (No. 7-K. U.), 次が 39.60°C (No. 5-K. M.) であった。両選手は平均皮膚温が最も低い群に属し、温度勾配が著しく大きかった。競技成績の良い K. A. (No. 1) と

T. I. (No. 2) は、直腸温の上昇が最も低い群に属した。競技成績が第3位 (No. 3) の K. O. は、直腸温の上昇が著るしいが、皮膚温が最も低かった。また30分で疲労困憊に達し、終末に呼吸数、換気量の急激な増加を示した M. F. (No. 10) は、直腸温が運動開始とともに著明に上昇 (ΔTr が大) して、終末には 39.05°C に達し、一方の皮膚温には、上昇の遅れが著るしく、上昇したのも殆んど低下することなく疲労困憊に陥入った。

運動終末時の直腸温は、前半30分間の上昇度 (ΔTr) と高い相関 ($r = 0.777$, $p < 0.02$) をもち、後半の変動とはあまり関係しない ($r = 0.341$, $p > 0.05$)。しかし、全体的にみると、運動終末の直腸温と競技成績との間には有意な相関々係が認められなかった。

(論 議)

個人の最大酸素摂取量が、持久的運動競技者においてすぐれていることはすでに指摘されているが¹⁵⁾、本研究の結果もまた、 $\dot{V}o_2 \text{ max}/\text{kg}$ と 5000 m タイムとの間に高い相関 ($r = -0.937$, $p < 0.001$) を示した。さらに % $\dot{V}o_2 \text{ max}$ で表わした運動中の酸素摂取水準もまた、競技成績との間に $r = 0.767$ ($p < 0.01$) の有意な相関どころからみて、最大酸素摂取量の大きさが、他の代謝反応の水準に大きく影響したものと解される。Costillたち (1973)¹⁶⁾ も、10mile 走タイムが $\dot{V}o_2 \text{ max}/\text{kg}$ との間に $r = -0.91$ ($p < 0.01$)、走行時の % $\dot{V}o_2 \text{ max}$ との間に $r = 0.94$ ($p < 0.01$) という高い相関を認め、同時に他の諸因子との考察を進めていく。本研究の競技成績上位者をみると、第1位の K. A. は運動時の反応が殆どの項目において低く、余裕のあることが伺われる。第2位の T. I. は 70% $\dot{V}o_2 \text{ max}$ の水準で走り、換気量、呼吸数が比較的、高い (図3) が、回復期の酸素負債や乳酸濃度が低いから、余り無酸素的負担は強くなかったと思われる。この両者は直腸温の上昇が少なく、鬱熱が少なかったと解される。第3位の K. O. は運動開始20分頃までの直腸温の上昇が比較的著るしかったが、皮膚温が早い時点から大きく低下し、大きな温度勾配を示した点からみて、発汗による熱放散が良好であったと考えられる。被検者

S. A. (No. 8) の場合は、酸素摂取水準が比較的低い (70% $\dot{V}o_2 \text{ max}$) にもかかわらず、30分で疲労困憊に至った。この解釈は難かしいが、一つの要因は直腸温が 39.4°C まで上昇したことであろう。もう一つは酸素負債が最も高かったことからみて、70% $\dot{V}o_2 \text{ max}$ といえども無酸素的状況に追いついていたと解される。言いかえれば、 $\dot{V}o_2 \text{ max}$ が大きいのに、それを充分運動において動員出来なかつたと言える。そして血中乳酸濃度も高かった。血中乳酸濃度は一般に、酸素負債に比例する⁹⁾ とされているが、マラソンのような長時間走では競技成績との間に直接的な関係はないとされている²⁴⁾。しかし本実験のようなスピードでは、血中乳酸が起る負荷水準 (65%)⁸⁾ を越えたために、競技成績との間に有意な相関々係を生じた (表3参照) ものと思われる。

30分で疲労困憊に達した M. F. (No. 10) の場合は、相対的負荷 (% $\dot{V}o_2 \text{ max}$) が 81.5% という最も高い水準にあり、また疲労困憊時点の呼吸数、換気量の激増を考慮すると、彼の酸素運搬能の低さ ($\dot{V}o_2 \text{ max}$ が少ない) が主因となって、酸素供給が必要に追随出来ず疲労困憊に至ったものと思われる。また彼の場合、直腸温も 39.05°C まで達し、しかも、皮膚温の初期上昇の遅れ (熱の体中心部から皮膚側への移行が遅い) が認められ、皮膚温は低下することなく疲労困憊に至った。したがって、この M. F. の場合は、発汗による熱放散の失敗も疲労困憊に至った一つの limiting factor であったと考えられる。比較的高温下のマラソンでは、直腸温が 40°C 付近に達することがあり、^{6,7)} それがほぼ限界であろうと言われる¹¹⁾。また運動時の体温上昇は、気温 ($0\sim 30^{\circ}\text{C}$) や気流に関係なく⁸⁾、総作業量のような作業因子にも直接関係ない⁴⁾ とされている。本研究では、環境温や気流が一定、総作業量は体重差に関係している。この関係は明らかでないが、少なくとも相対的負荷強度 (% $\dot{V}O_2 \text{ max}$) と体温上昇との間に (全体的には) 有意な相関々係を見出すことは出来なかった。それは環境温が 20°C という比較的快適な条件だったからかも知れない。運動時の体温 (直腸温) は、皮膚血流と発汗によって見かけ上の平衡状態 (equilibrium level) に入る¹⁰⁾ とされ、血流

動能や発汗機構が（特に高温下では）重要な制限因子になると思われる。それは今後の課題である。

（要 約）

陸上競技の中・長距離選手10名に、250m/分のスピードで1時間のトレッドミル走（平面）を与える、この時の酸素摂取水準（% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ）や心拍数、血中乳酸および体温（直腸温と皮膚温）などを測定して、それらが競技成績とどのように関わっているかを検討した。その結果は次のようにある。

(1) 5000m走タイムと最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2\text{max}}/\text{kg}$ ）の間には高い相関係数 ($r = -0.937$, $p < 0.001$) がある。

(2) 運動終末の酸素摂取水準（% $VO_{2\text{max}}$ ）は、60.4~81.5%の範囲にあり、その水準と5000m走タイムとの間には有意な相関係数 ($r = 0.767$, $p < 0.01$) が認められた。

(3) 運動終末時の心拍数（150~182拍）、換気量（66.6~115l/分）、体重当りの酸素脈（0.25~0.27 ml/kg/拍）も5000m走タイムと有意な相関を示したが、換気当量、呼吸数には有意な相関がなかった。

(4) 運動終了後の血中乳酸濃度は、直後と30分後の値とともに、5000m走タイムとの間に有意な相関をもち、とくに30分で疲労困憊に達した2被検者の場合は、80~90mg/dlという高い濃度が検出された。

表4 5000m走タイムと各指標との相関

[運動終末時]	
酸素摂取水準（% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ）	$r = 0.767^{**}$
換気量（ \dot{V}_E ）	$r = 0.797^{**}$
換気当量（ $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ ）	$r = 0.600$
呼吸数（RR）	$r = 0.329$
酸素脈（ $O_2 \text{ pulse}$ ）	$r = -0.666^*$
心拍数（HR）	$r = 0.730^{**}$
[運動後]	
酸素負債量	$r = 0.437$
血中乳酸（直接）	$r = 0.809^{**}$
血中乳酸（30分後）	$r = 0.675^*$
尿蛋白	$r = 0.644^*$

* 5%水準で有意, ** 1%水準で有意

(5) 酸素負債量は競技成績と相関する傾向を示したが、統計的には有意でなかった。

(6) 直腸温は運動開始30分まで急上昇し、以後見かけ上の緩やかに上昇を続け、運動終末には平均39°C、最高40.05°Cに達した。また直腸温の上昇高は、開始30分までの上昇度と有意な相関があった。

(7) 直腸温の上昇高と5000m走タイムの間に有意な相関は認められなかったが、競技成績の最上位者の直腸温は低く、最下位者は高いという傾向が認められた。

(8) 皮膚温は運動開始15分まで上昇したのち20分までに急下降し、以後緩やかに下降を続けた。平均皮膚温および温度勾配（Tr-Ts）と競技成績との間に一義的な関係が認められなかった。

(9) その他諸反応の関係から個人的特徴を論じた。

引 用 文 献

- Costill, D. L. : The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J. Sports Med.* 7 : 61-66, 1967.
- Costill, D. L. : Metabolic responses during distance running. *J. Appl. Physiol.* 28(31) : 251-255, 1970
- Costill, D. L., H. Thomason and E. Roberts : Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports* 5(4) : 248-242, 1973.
- Ekblom, E., C. J. Greenleaf, J. E. Greenleaf and L. Hermansen : Temperature regulation during continuous and intermittent exercise in man. *Acta Physiol. Scand.* 81 : 1-10, 1971.
- ICSPFT : Physical Fitness Standards. Final Report at 1970 Conference, Oxford, England.
- 河合正光：マラソン競走に及ぼす環境温の影響について *体力科学* 5 (2) : 62-66, 1955.
- 黒田善雄、加賀谷熙彦、塙越克己、雨宮輝也、太田裕造、成沢三雄：陸上長距離走時の呼吸循環機能の変動。日本体育協会スポーツ科学委員会報告 V., 1969.
- Lind, A. R. : A Physiological criterion for setting thermal environmental limits for every day work.
- Margaria, R., H. T. Edwards and D. B. Dill : The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.* 106 : 689-715, 1933.
- Nielsen, B. and M. Nielsen : On the regulation of sweat secretion in exercise. *Acta physiol. scand.*

- 64 : 314-322, 1965.
- 11) 緒方維弘：スポーツと体温調節。「スポーツ医学」393-414, 体育の科学社 1964.
 - 12) Ramanathan, N. L. : A new weighing system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.* 19(3) : 531-533, 1964.
 - 13) Saltin, B. and J. Steinberg : Circulatory responses to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 19(5) : 833-838, 1964.
 - 14) Saltin, B. and C. Hermansen : Esophageal, rectal and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol.* 21 : 1757-1762, 1966.
 - 15) Saltin, B. and P. O. Astrand : Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23 : 353-358, 1967.

4. 長時間運動時の血中生理的化学物質の変動

体力医学研究所

芝 山 秀 太 郎, 江 橋 博
後 藤 芳 雄, 喜 多 尚 武
堤 達 也

緒 言

持久性能力は一般に陸上競技の中長距離走やマラソンなどで代表される長時間運動について論じられる。そしてこのことは酸素摂取と消費のバランスのとれた定常状態をいかに長時間持続できるかで評価されている³⁾⁶⁾¹⁰⁾¹³⁾²⁵⁾。

猪飼らはこのような従来の概念を拡大して、比較的短時間、一定強度を維持する能力、あるいは一定スピードを持続する能力にも適用してこれを無酸素的持久性 anaerobic endurance とし、一方従来の長時間運動を有酸素的持久性 aerobic endurance と呼ぶことを提案した²³⁾²⁴⁾。

ところで体力、あるいは身体的作業能力の指標としての持久力は、筋運動が主体となる筋持久力と全身持久力に分けて考えられている。全身持久力は主として筋活動による代謝系の亢進と呼吸循環機能の亢進との対応に関係するという立場から cardiovascular endurance とも呼ばれている¹⁾¹⁷⁾²⁰⁾²¹⁾。

このように全身持久性は主役をなす呼吸循環機能の他に筋、体温調節機構、および代謝機構などあらゆる因子を含んでいる。そして持久性を高めるため、換言すれば長時間の運動を維持するためには、まず生体がどのような条件を満足していればよいかを考える必要がある。

生体が活動するにはかならずエネルギーの消費がある。このエネルギーは生体内で貯蔵物質として存在するものであり、エネルギーを考えるには貯蔵、消費、さらに補給の関係を明らかにしなければならない⁷⁾¹⁵⁾³⁰⁾。このエネルギーの供給源は筋やその他の組織内に貯蔵されているATP, ADP

などの磷酸化合物であり、この分解過程で放出されるエネルギーが仕事に用いられている。補給源となるのは体内的糖、脂肪、蛋白などで、とくに糖はグリコーゲンの形で肝臓、筋などの組織に貯蔵され、脂肪は皮下などの脂肪組織に貯えられ、ATP などのエネルギー物質の合成補給のために使われる。このような糖質は必要に応じて動員され、急速に燃焼してエネルギーを補給することができる。運動によって使われたエネルギーの補充物質として最も重要である⁴⁾⁷⁾⁹⁾²⁸⁾。

脂肪も糖とならんで重要なエネルギー源で長時間水泳などの場合にはエネルギー源ばかりでなく、皮下脂肪層の断熱性のため体温の維持に関しても大きな役割を果している⁸⁾³⁰⁾⁴⁰⁾。

一方蛋白質も糖や脂肪と異なる重要な意義をもち、すべての生体運動を遂行する基礎物質であると考えられる。

以上のような生体のエネルギー源には運動によって ATP が消費されグリコーゲンの分解によって補給される機構が存在する。グリコーゲンの分解方式には無酸素的分解と有酸素的分解があり、前者は焦性ブドー酸を経て乳酸を生成する間にエネルギーを放出する。この分解過程で生成された乳酸が筋や血中に増加する。この乳酸は血中に 0.03%~0.14%になると運動持続が不可能になるといわれている。したがって持久性運動を継続するためには無酸素的な分解過程は生体反応として好ましくない¹⁾¹⁴⁾。

一方有酸素的分解はグリコーゲンが焦性ブドー酸を経て CO_2 と H_2O となる過程で非常に効率のよいエネルギー放出法である。

一般に実際の運動では短距離走は無酸素的作業

で、長距離走は有酸素的作業といわれている¹⁰⁾¹⁸⁾²⁵⁾。したがって長時間運動においては有酸素的作業能力 aerobic work capacity が大きい者ほど持久性の運動能力に優れた成績を示すことが考えられる¹⁶⁾³⁵⁾。このような定常状態の成立する作業、すなわち持久性運動ではエネルギー補給のため酸素を使う有酸素性の方式がとられる。勿論酸素は各組織に充分供給され、また組織細胞内には酸素を有効に使うための酵素活性が充分でなければならない。

全身に酸素を充分供給するためには充分な換気能力と酸素摂取能力が要求される。すなわち最大換気量、最大酸素摂取量として評価される¹⁸⁾²⁴⁾。さらに充分に酸素をとり入れた血液は心臓血管系の作用によって全身に供給されることが要求される。したがって呼吸、循環、血液関係からなる酸素運搬能力は持久性運動の主要な部分を構成する。そのため全身持久性を評価する方法はこれまでそのほとんどが酸素運搬能力に関する報告であった。すなわち

1) 最大酸素摂取量による評価、^{2) 3) 16)} 2) 総酸素摂取による評価、¹⁰⁾²⁶⁾ 3) 最大酸素脈／心臓容積による評価、³⁵⁾ 4) 毎分酸素摂取量／毎分換気量による評価、¹⁸⁾²⁰⁾²¹⁾ 5) 心拍数による評価、¹⁶⁾ 6) 持久走時間による評価、²²⁾²⁶⁾などが持久性能力評価の主な項目である。

このような因子で評価される全身持久性はトレーニングによって比較的はやくその能力ができるという事実である²⁾⁶⁾¹²⁾¹⁹⁾。トレーニングが有効であることは先人達の報告で明らかであるが、それは次のような変化によって得られるものと考えられる²⁹⁾。すなわち呼吸筋の発達、肺容量の増大、赤血球および Hb の増加、心臓の強化、血管系とともに筋、心臓、肺などの毛細血管の発達などで、

これらはいずれも適正なトレーニングによって達せられる。とくにトレーニングによって最大酸素摂取量が 2 倍に達したという報告は注目に値するものといえよう⁶⁾。一般によくトレーニングされた運動選手においては長時間運動に際して効率よく運動を持続させる能力の発達していることが推察される。

著者らはこれまで、前述の酸素供給と代謝産物の排泄という二つの重要な役割を有する全身持久能力の解明とその制限因子を明らかにするため、持久性運動 prolonged exercise を負荷したときの各種生体反応について報告してきたが¹⁾³⁷⁾³⁹⁾、さらに長時間運動時の血中物質の変動を追求し、全身持久性のメカニズムについて観察しようとした。

実験方法

1. 運動負荷条件

持久性運動として 60~70 分走を選んだ。負荷の方法は Road work および Treadmill work とした。負荷強度の決定に際しては実験前にあらかじめ傾斜角 3 度の Treadmill を試走させ各被験者の最大酸素摂取量、最大心拍数を求め $\dot{V}_{O_{2\max}}$ のお



図 1 Road work 実験時の被験者の装備と測定伴走車

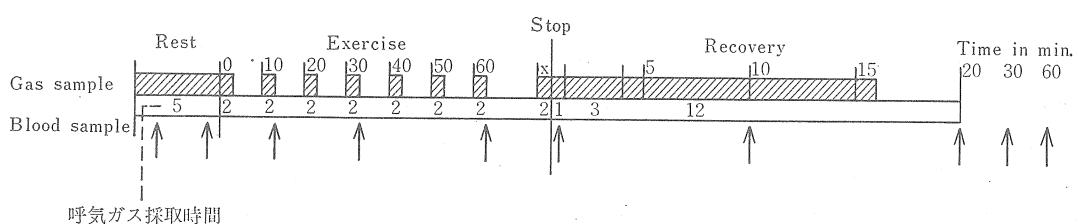


図 2 長時間運動時の採気、採血に関する time table

よそ70%を負荷条件とした。これは PWC 150~160に相当する。

2. Road work による実験

Road work 実験は山梨県南都留郡足和田村の富士西湖一周コース (10.5 km) を選んだ。

実験に際しての被検者の装備は図 1 に示したごとくである。呼気ガス採取は Douglas Bag 法により、ガスマスクはヤール糸創膏で二重に固定した。採気は図 2 に示したごとく運動中各 2 分間ずつ、回復過程は運動後16分まで行なった。運動中に採集した呼気ガスサンプルは図 3 に示したように伴走車内で呼気量を測定し、同時に分析用のガスサンプルを Sample tube に 4200cc 採取した。

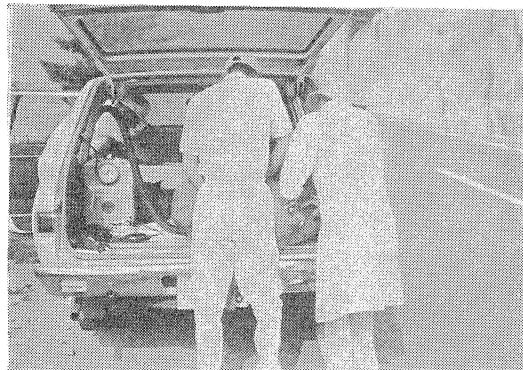


図 3 Road work 実験時の呼気ガス処理

なお運動中の呼気ガス採取に際しては図 4 に示したごとく伴走者が被検者に追随し、Douglas Bag のコック切換作業を行なって被検者の走行運動を妨げないよう配慮した。

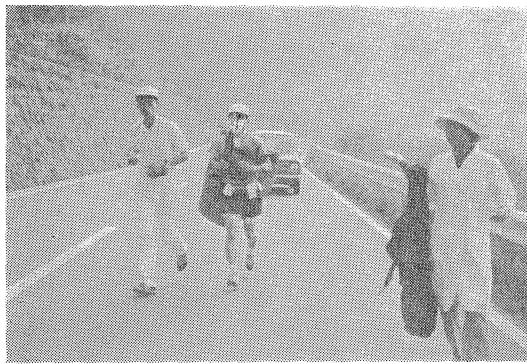


図 4 Road work 実験状況

心拍数は Heart rate meter (NEC 製) を用い、

送信装置は図 1 のごとく被検者の腹部にベルトで固定し、受信装置を伴走車に積載して連続的に記録した。

採血は左前腕静脈に静脈内カニューレ (MEDI CUT) を装着し、図 2 に示した各位相ごとに約 5cc 採血した。運動中の採血は図の 5 のように被検者の走行を約30秒間停止させて行なった。採取した



図 5 Road work 実験時の採血状況

血液は伴走車内で簡単な処理をした。すなわち血液約2ccを 6 %過塩素酸で除蛋白し、残りの約 3cc はヘパリンで攪拌後放置した。Road work 実験終了後すみやかに血清分離をして保存し、研究室で分析した。

なお安静時、回復過程の測定は図 6 に示したごとく仰臥位にて行なった。

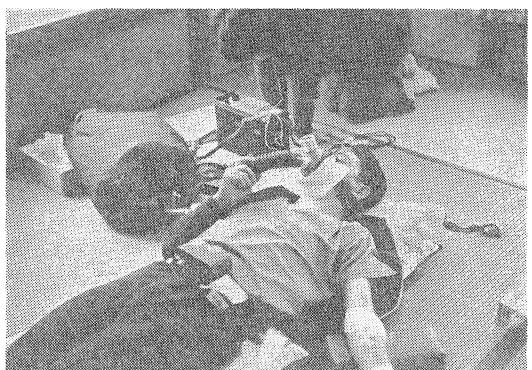


図 6 安静時および回復時の測定状況

3. Treadmill による実験

Treadmill による運動負荷条件は、傾斜角 3 度、負荷時間は各被検者の Road work 時間と同じとし、走行速度は $\dot{V}_{O_2\max}$ のおよそ70%の条件を予

備実験によって求め、これを負荷強度とした。その結果トレッドミル・スピードは130m/min～150m/minの範囲であった。

呼気ガスサンプルおよび血液サンプル採取に関しては図2に示したように各被検者のRoad work 実験時と同じ位相で行なった。呼気ガスサンプルは採気後ただちに分析した。また血液サンプルはFFA, TG, Total Cholesterol, LDH, GOT, GPT 測定のため採血後すみやかに血清分離して分析した。また乳酸、血糖は6%過塩素酸で除蛋白した後分析した。

4. 測定項目

血中物質の測定項目は血清FFA、血清TG、血清総コレステロール、酵素関係として血清LDH、血清GOT、血清GPT、その他乳酸、血糖の8項目とした。このほか酸素摂取量、心拍数について測定した。

血清FFAの定量は、Itayaら²⁷⁾によるBiscyclohexanone-oxalyldihydrazone(BOD)を指示薬として、600μの吸光度で比色を行なった。

血清TGの定量はVan Handel法のクロモトロープ酸法を検討した内藤ら³⁴⁾の変法を用いた。

血清総コレステロールの定量は従来より用いられているZak and Henry法⁴¹⁾を用いた。

血清GOT、GPTの定量はReitman-Frankel法による茂手木ら³³⁾の変法を用いた。

血清LDHはBabsonら⁵⁾の比色法によって定量した。

乳酸、血糖の定量は前者がRosenbergら³⁶⁾の酵素を用いての分光光度法によった。また後者は百瀬ら^{31,32)}の3-6ジニトロフタル酸による測定法によって定量した。

心拍数の測定はRoad workとTreadmill workでは異なった方法によった。すなわちRoad work時はtelemetering systemによるHeart rate meter(NEC製)を用いた。一方Treadmillによる実験時には胸部双極誘導による心電図を連続的に記録し、Rスパイクを計測することによって心拍数とした。

酸素摂取量の測定はRoad work実験時にはBreath analyzer(フクダ医

理化研究所製)によった。この測定装置については先にフィールド・ワークにおける有酸素的作業能力の研究に有用であり、機能的にもすぐれた計測器であることを報告している³⁸⁾。またTredmillによる実験時にはBreath analyzerと労研式大型呼気ガス分析装置を用い、同一Sample gasを2つの装置で分析した。

5. 被検者

被検者は30才～39才の一般健康成人男子4名である。これらの被検者には実験前に呼吸、循環、血液関係の臨床的検査を行ないあらかじめ異常のないことを確認した。表1に被検者の体格測定値およびTreadmill work時の各被検者における負荷強度走行速度を示した。

結果と考察

1. 長時間運動時の酵素系の反応

Prolonged exercise時の血清GOT値の変化を図7に、同じく血清GPT値の変化を図8に示した。図中の点線はroad workコースの実走時における推移をあらわし、実線はtreadmill走行中の変化を示している。図にも明らかなように、GOTでは運動時に20～30%程度の増加を示し、またGPTでも運動によりおよそ20%の増加を示した。これら血清transaminaseは1時間走のときに若干上昇の傾向が認められたが、その増加のpatternは比較的ゆるやかな山型を示し、安静時値にたいし20～30%程度の増加量に達したところで曲線は平坦となりconstantな変動量をあらわすことが認められた。

また乳酸の産生に関与する乳酸脱水素酵素LDHの変化を図9に示した。このLDHも運動により血中における活性が20～30%程度増大することが認められ、増加の様相は酵素系全般の傾向

表1 被検者の体格測定値及びTreadmill speed

Sub	Age & Sex	Body height cm	Body weight kg	Chest girth cm	Rohrer's Index	Treadmill speed m/min
H. E	32, m	163.5	54.0	85.0	123.5	150
H. S	38, m	165.8	59.1	86.8	129.7	140
Y. G	30, m	162.5	58.7	89.5	136.8	140
N. K	39, m	174.3	54.7	85.2	103.3	130

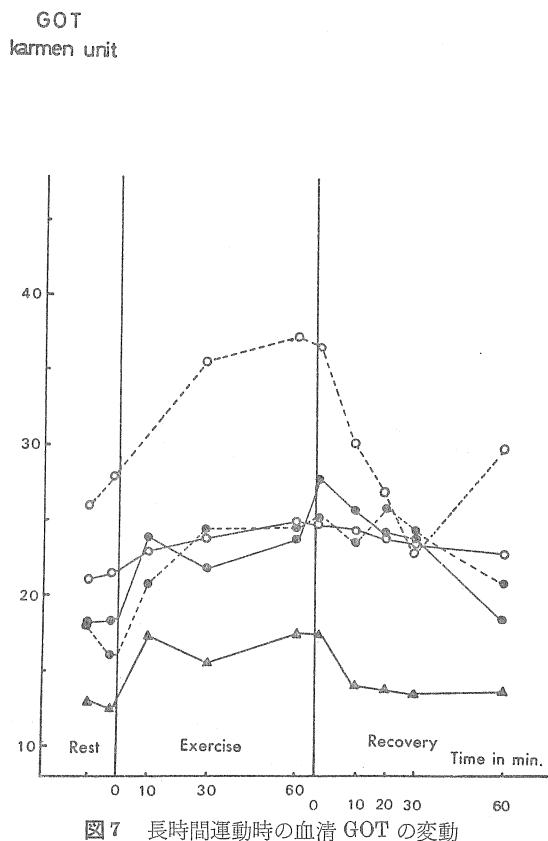


図7 長時間運動時の血清 GOT の変動

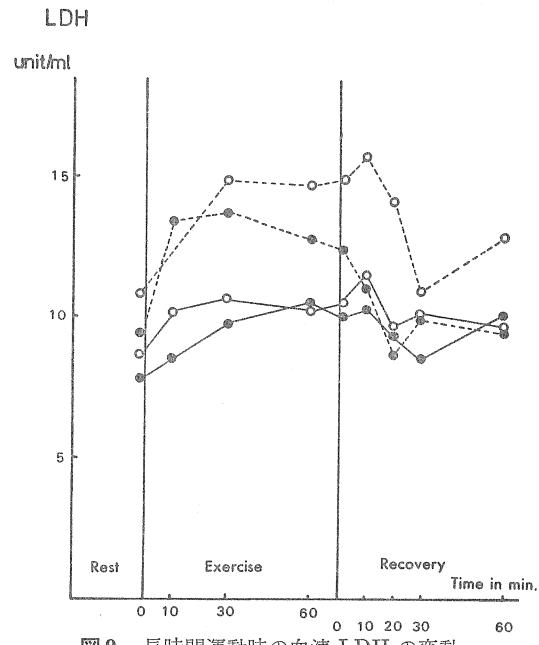


図9 長時間運動時の血清 LDH の変動

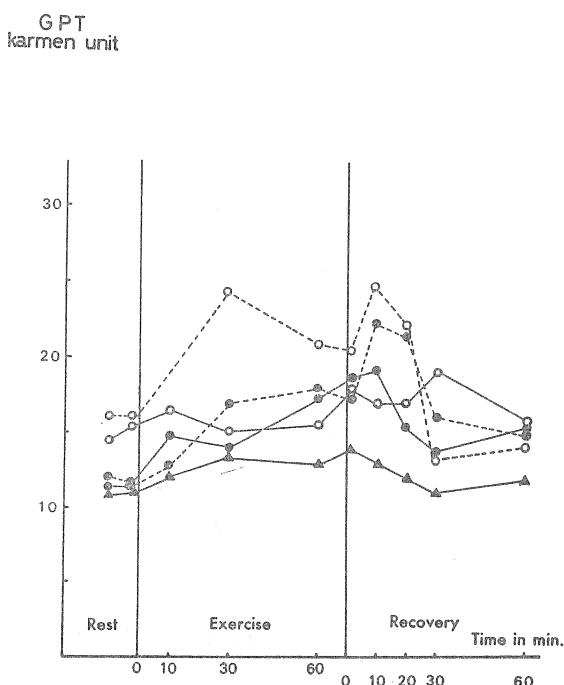


図8 長時間運動時の血清 GPT の変動

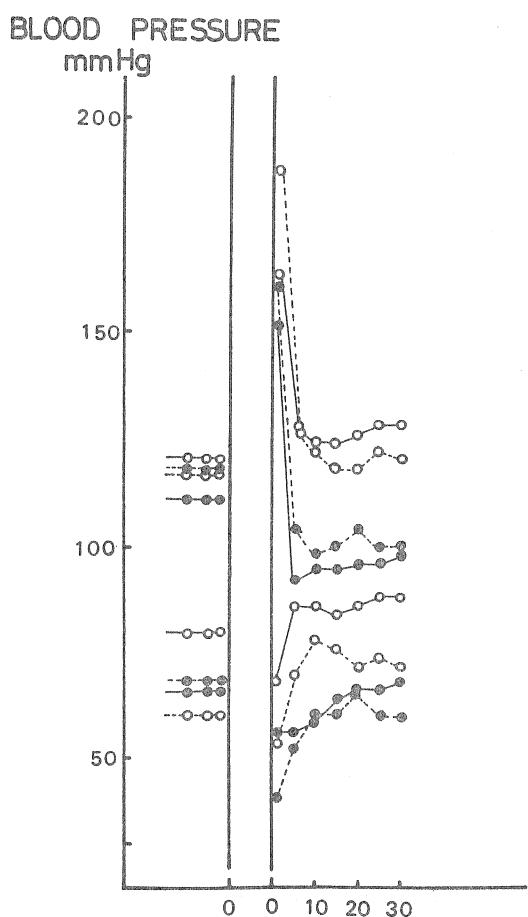


図10 長時間運動時の血圧の変動

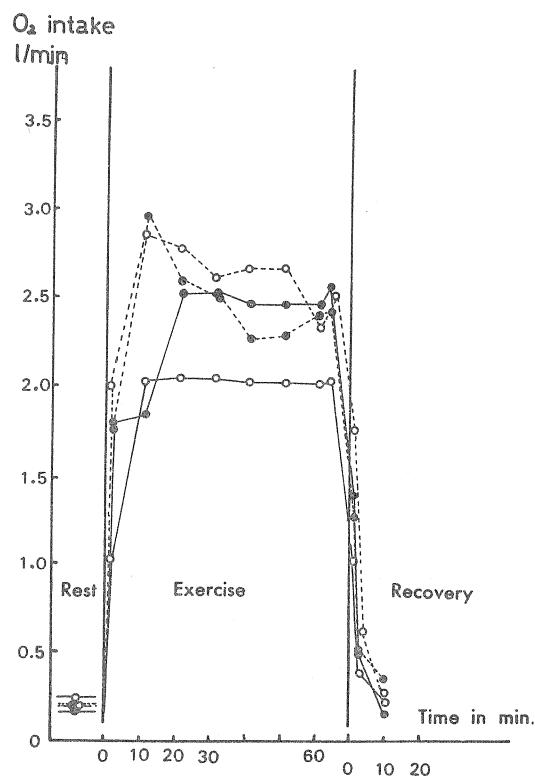


図11 長時間運動時の酸素摂取量の変動

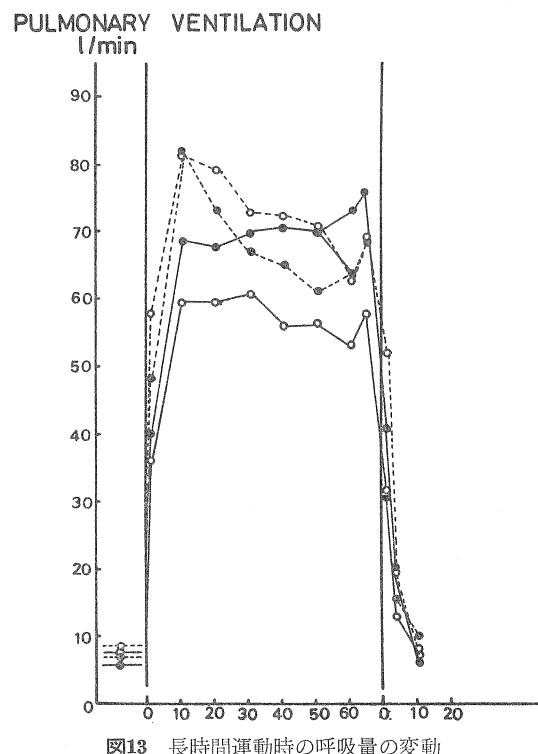


図13 長時間運動時の呼吸量の変動

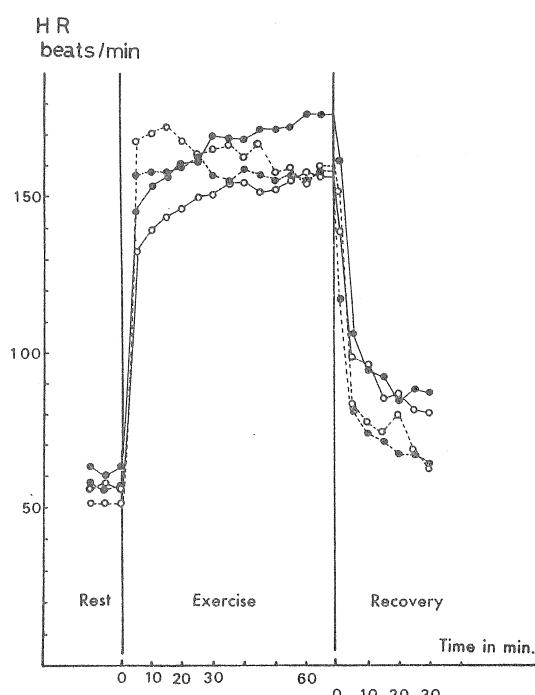


図12 長時間運動時の心拍数の変動

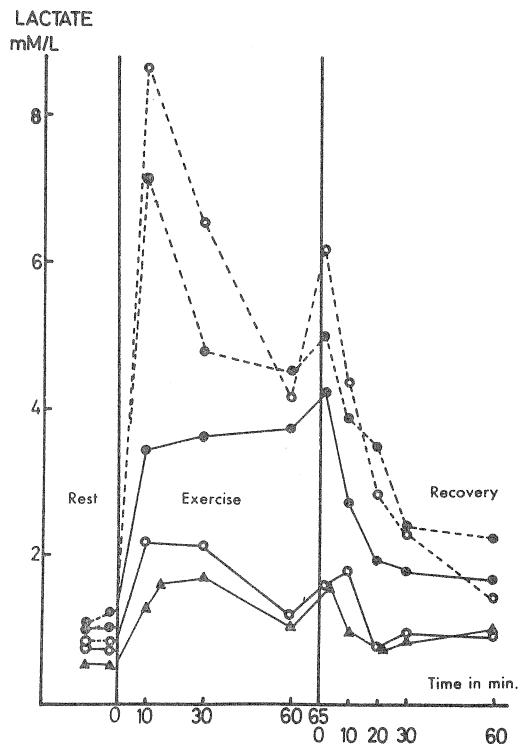


図14 長時間運動時の血中乳酸の変動

と一致してゆるやかな山型を示した。この LDH の変動では、road work コースの実走のときに変化量が大となる傾向を示したが、これはこのときの酸素負債が大きかったものと考えられる。

運動によるこれら酵素系の変動は、安静時レベルへの回復に30~60分を要し、1時間走の負荷が与える生体負担のかなり大きいことを示唆した。

2. 長時間運動時の循環系反応

Prolonged exercise 時の血圧変動を運動終了直後から観察したものが図10である。一般に運動直後の最大血圧は安静時値の50%以上におよぶ増加を示し、一方最小血圧は安静時値より低下する傾向にあった。運動直後の最大血圧は160~190mm Hg に達し、したがって脈圧は100mmHg 前後を示すことが多かった。血圧変動は回復30分を経過してもなお安静時レベルには復しなかった。

同じく酸素摂取量の推移をあらわしたもののが図11である。70分前後の長距離走を完走しうるような運動負荷では、酸素摂取量にして 2.0~2.9 l/min, STPD の需要があり、運動時にはずっとこの 2.5l/min 前後の摂取水準が維持された。回復過程10分経過後にはほぼ安静時レベルに復する

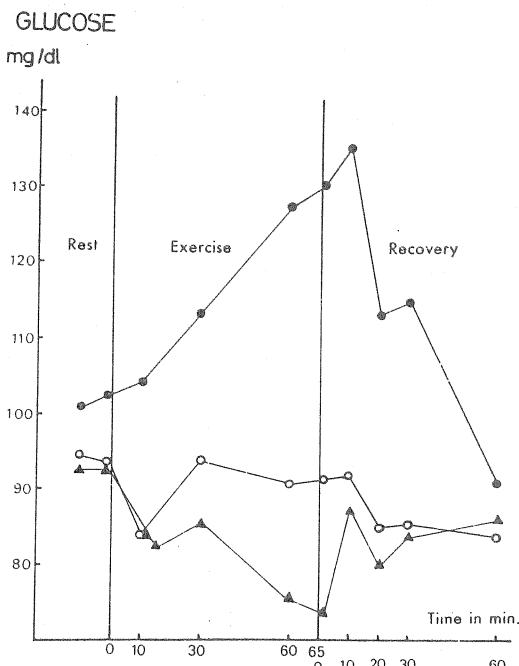


図15 長時間運動時の血糖の変動

ことが多かった。また点線で示したように実走では運動開始直後の initial level が非常に高く、また運動終了直前にいたっても終末努力のあらわれたような現象の見られる点が特徴であった。

運動時の心拍数変化は図12に示した。心拍数は運動開始とともに上昇し運動10分で毎分 150 拍前後に達する。1時間走を持続するときの心拍数は毎分160~170拍でほぼ定常状態を示していた。

運動時の呼吸量の推移は図13にあげた。1時間走を行なわせたときの呼吸量の増加は、最大値の70%前後に達した。

3. 長時間運動時の血中乳酸及び血糖の反応

血中乳酸は図14にもあるように運動により著しく増加する傾向が認められ、安静時値の 2ないし 5 倍にも達した。乳酸量の変化は、Margaria らも指摘するように酸素負債のために発生すると考えられるが、点線で示した road work コースの実走の場合に増高が著しく、傾向としては酸素摂取量や心拍数の推移に似て initial level が高く、また final effort のみられる点に特徴があった。

運動による血糖値の変動を図15に示した。1時間における血糖量の消長は一般に、運動とともに一たん低下し、その後徐々に回復して安静時レベルにかえる動きを示すが、しかし酵素系の反応と

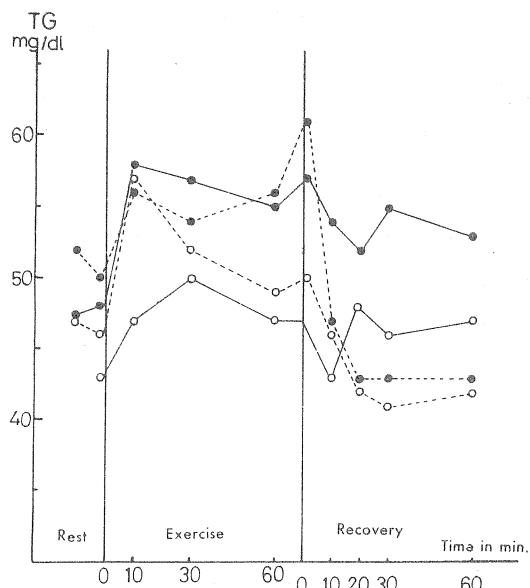


図16 長時間運動時の血清トリグリセライドの変動

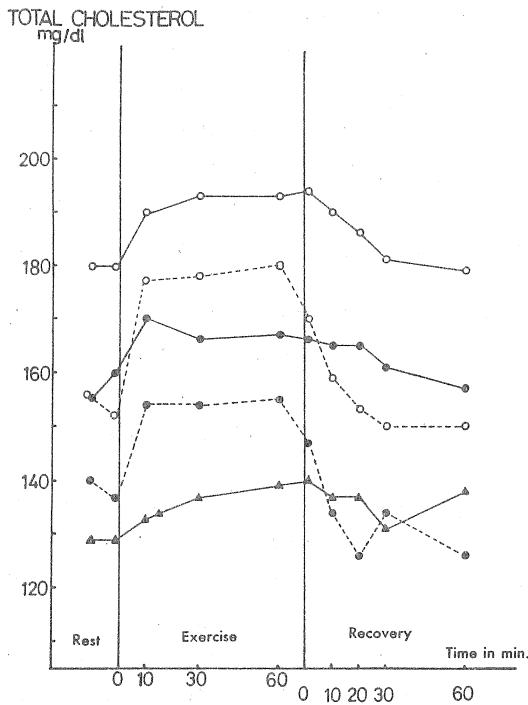


図17 長時間運動時の血清総コレステロールの変動

同様、回復60分時にいたっても尚安静時値を下まわる成績を示した。

4. 長時間運動時の血中脂質の反応

Prolonged exercise 時の血清 triglycerides (TG) の変動を図16に示した。血清 TG 値は運動とともになって20%程度の増加を示すが、運動終了30分前後で安静時レベルに回復した。しかし Carlson や Konttinen らの報告と同様その後安静時値よりもなおも低下する傾向が認められた。

運動時の血清総 cholesterol (CH) の変動は次の図17に示されている。Malinow らはこの CH もわずかではあるが運動時のエネルギー源として利用されていることを認め、運動が酸化による CH の除去を促進すると報告している。1 時間走を負荷したときの CH の傾向は酵素系の変動とやや似た pattern を示し、運動開始とともに上昇して安静時値の10%前後の増加となり、回復にはおよそ30分を要した。

運動時のエネルギー源として筋細胞で利用されている FFA について観察したものが図18である。1 時間走における血清 FFA の変動は、運動開始

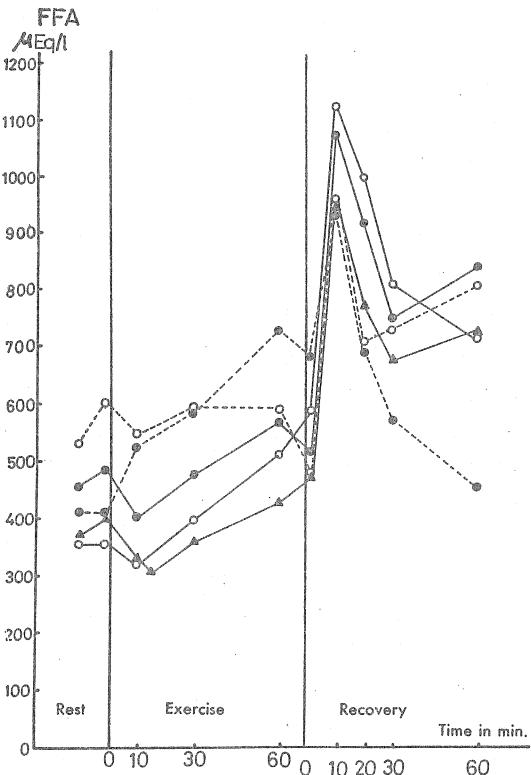


図18 長時間運動時の血清 FFA の変動

とともにやや低下し、その後図にもあるように徐々に増加の傾向を示した。運動後10分時にみられる一過性 rebound は、運動時に動員された FFA の量的傾向を示唆するものと考えられるが、図中に点線で示した road work コースの実走における方が FFA の運動後の peak がやや小さい傾向にあった。

5. 長時間運動時の血中生理的化学物質の変動

Prolonged exercise 時の血中における生理的化学物質の変動 pattern を、以上のような実験成績からまとめてみると次の図19のように表わされる。図は上から酵素系の反応、乳酸の反応そして脂質系（主として血清 FFA であるが）の反応をそれぞれ模式的に示した。

ここで FFA の変動と乳酸の消長とは、運動の energy source における脂質と糖質の燃焼の割合を示すものと考えられ、実走時の運動初期のいわゆる initial level の高い時点で、血中乳酸値の上昇が著しいのに対し FFA の変動の小さいことは、

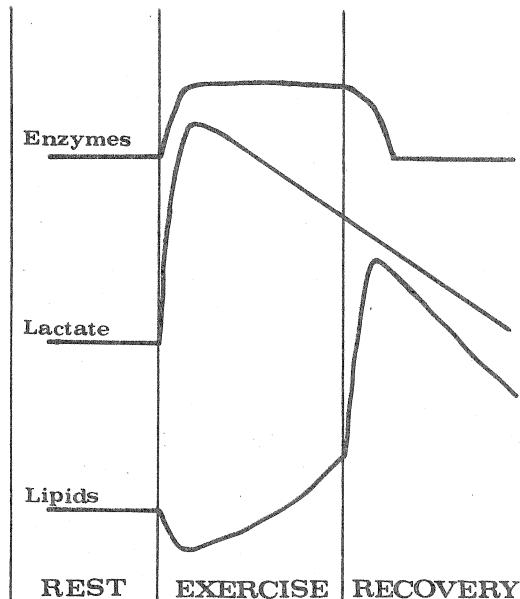


図19 長時間運動時の血中生理的化学物質の変動

energy source として糖質酸化が大きく脂質の燃焼の少ないことを示すものと考えられる。同様なことは実走終了直前の final effort の発揮される時点についても、乳酸値の再上昇と脂質の若干の低下とが観察された。

総 括

体力を構成する要素のうち、全身諸器官のすべてを動員した状態における作業能力、すなわち全身持久性は主として、酸素の供給と代謝物の排泄という 2 つの重要な働きによって支えられている。これらについては循環・呼吸機能が大きな役割を果すことはいうまでもなく、したがってこれまでにも最大酸素摂取量との関係が多く論じられてきた。しかしマラソンのように 2 時間半も要する運動では、単に循環・呼吸系の機能だけではカバーしえないほど、さまざまな因子が関与して長い定常状態の持続を成り立たせている。そこで著者はこの持久性能力の本態を解明し、その制限因子を明らかにする目的で、持久性運動を負荷したときの各種生体反応を追求した。

運動するためのエネルギー源の運搬とそれを燃焼させるための酸素の供給という 2 つの重要な役割を有するものとして、近年、運動時の血中生理

的化学物質の変動に注目した報告がしばしば見受けられるようになった。著者らも持久性運動時のこれらの動態を観察することによって、持久性能力の本態に接近する一つの手がかりが得られるのではないかと考えた。

持久性運動としては陸上競技長距離走をえらび、負荷強度を $\dot{V}o_{max}$ の 70% 前後、運動時間を 60~70 分と規定した。負荷の方法は road work (一周 10.5km) および treadmill work (傾斜 3 度、走行速度 130~150m/min) とした。負荷強度の決定に際してはあらかじめ treadmill を試走させて予備実験を行ない、全被検者の最大酸素摂取量、最大心拍数を求めた。実験の負荷強度は PWC_{150~160} に相当した。被検者には 30~39 才の一般健康成人男子 4 名をえらんだ。

測定の項目は血中脂質を中心として FFA, TG, 総 cholesterol のほか、LDH, GOT, GPT など各種の血清酵素活性、また血中乳酸、血糖などの変動に注目した。このほか酸素摂取量、呼吸量、呼吸数、血圧、心拍数などの変化も記録して解析の参考とした。

一般に長時間運動時における血中の生理的化学物質の変動は、GOT, GPT などの血清酵素活性が運動とともに 20~30% 増加し、その pattern は比較的ゆるやかな山型を示すことが認められた。また乳酸の産生に関与する LDH も、運動により血中の活性の大きくなることが認められ、酵素系全般の傾向と一致した。

循環系の反応では運動直後の最大血圧が安静時値の 50% 以上におよぶ増加を示し、一方最小血圧は安静時値以下に低下して、脈圧は 100mmHg 前後へと著しい増加を示した。酸素摂取量は運動時 2.5 l/min, STPD 前後の摂取水準が維持され、回復過程 10 分でほぼ安静時レベルへの回復が認められた。心拍数は運動開始とともに上昇し運動 10 分で 150 beats/min に達し、1 時間走を持续するときの心拍数は、160~170 beats/min で定常状態を示した。

血中乳酸は酸素負債のために発生すると考えられるが、road work の実走では心拍数や酸素摂取量の推移を観察すると、initial level の高いことと final effort のみられることが特徴であり、血

中乳酸はこの initial level が高く、酸素消費と関連ある傾向を示していた。酸素負債が大となる実走では酵素系の値も大きくなり、LDH も一層大となる傾向が認められた。運動時における血糖量の消長は一般に、運動とともに一たん低下し、その後徐々に回復して安静時レベルにかえる動きを示した。

血中脂質では TG と総 cholesterol が酵素系の変動とやや似た傾向を示した。FFA は運動開始とともにやや低下しその後徐々に増加の傾向を示した。運動後の一過性 rebound は運動時に動員された FFA の量的傾向を示唆するものと考えられる。

この FFA 変動と乳酸の消長とは、運動の energy source における脂質と糖質の燃焼の割合を示すものと考えられ、実走時の運動初期に乳酸値の上昇が著しいのに対し、FFA 変動の小さいことは、energy source として糖質酸化が大きく脂質の燃焼の少ないことを示すものと考察した。

参考文献

- 1) 朝比奈一男 (1965) スタミナ。朝比奈一男他編「スポーツ科学講座 2 スポーツと体力」76-129, 大修館書店。東京
- 2) Astrand, I. (1960) Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.* **49** (suppl. 169) 1-92.
- 3) Åstrand, P. O. (1952) Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Ejner Munksgaard. Copenhagen.
- 4) Åstrand, P. O., J. Hallbäck, R. Hedman and B. Saltin (1963) Blood lactates after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* **18**(3) 619-622.
- 5) Babson, A. L., G. E. Phillips (1964) A rapid calorimetric assay for serum lactic dehydrogenase. *Clin. Chem. Acta* **12**, 210-215.
- 6) Bevegård, S., A. Holmgren and B. Jonsson (1963) Circulatory studies in well-trained athletes at rest and during heavy exercise with special reference to stroke volume and the influence of body position. *Acta physiol. Scand.* **57**, 26-50.
- 7) Brooks, G. A., K. E. Brauner and R. G. Cassens (1973) Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am. J. Physiol.* **224**(5) 1162-1166.
- 8) Carlson, L. A. (1967) Lipid metabolism and muscular work. *Fed. Proc.* **26**(6) 1755-1759.
- 9) Costil, D. L., A. Bennet, G. Branam and D. Eppy (1973) Glucose ingestion at rest and during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* **34**(6) 764-769.
- 10) Cureton, T. K. (1951) Physical fitness of champion athletes. Univ. Illinois Press., Urbana.
- 11) 江橋 博, 芝山秀太郎 (1974) Prolonged exercise 時の循環系反応, 日本生理誌 **36** (8)
- 12) Ekblom, B. (1970) Effect of physical training on circulation during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.* **78**, 145-158.
- 13) Ekelund, L. G. (1967) Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* **70** (suppl. 292) 1-38.
- 14) Gleser, M. A. and J. A. Vogel (1973) Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. *J. Appl. Physiol.* **34**(4) 438-442.
- 15) Hermansen, L. and I. Stensvold (1972) Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiol. Scand.* **86**, 191-201.
- 16) Hettinger, Th. u. K. Rodahl (1960) Ein modifizierter Stufentest zur Messungen der Belastungsfähigkeit der Kreislaufes. *Deut. Med. Wochenschr.* **85**, 553-557.
- 17) Hettinger, Th., N. C. Birkhead, S. M. Horvath, B. Issekutz and K. Rodahl (1961) Assessment of physical work capacity. *J. Appl. Physiol.* **16**, 153-156.
- 18) Hollmann, W. (1959) Der Arbeits- und Trainings-einfluss auf Kreislauf und Atmung. Dr. Dietrich Steinkopff., Darmstadt.
- 19) Hollmann, W. und H. Venrath (1963) Die Beeinflussung von Herzgrösse, maximaler O₂-Aufnahme und Ausdauergrenze durch eine Ausdauertraining mittlerer und hoher Intensität. *Der Sportarzt.* **9**, 189-202.
- 20) 猪飼道夫, 吉沢茂弘, 中川功哉 (1962) トレッドミル法による全身持久性の評価について。体力科学 **10** (4) 227-238.
- 21) 猪飼道夫, 吉沢茂弘, 中川功哉 (1962) トレッドミル法による持久性の評価—マラソン選手のテストを中心として—Olympia. **11**, 66-73.
- 22) 猪飼道夫, 江橋慎四郎, 加賀谷熙彦 (1963) トレッドミル法による青少年の運動処方に関する研究(I) 最大持久走時間の測定とトレーニング効果についての一考察。体育学研究。 **7** (3) 99-106.
- 23) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子 (1965) 血流量からみた筋持久力。体育の科学。 **15** (4) 201-206, 281-287, 334-340, 404-410.
- 24) 猪飼道夫, 加賀谷熙彦, 進藤宗洋 (1966) 持久性の限界因子について。体力科学。 **14** (4) 173-180.
- 25) 猪飼道夫, 進藤宗洋 (1966) 全身持久性の研究。体育の科学。 **16** (11) 669-673, 734-739, 17 (1) 33-37.
- 26) Ikai, M., M. Shindo and M. Miyamura (1970) Aerobic work capacity of Japanese people. *Res. J. Phys. Ed.* **14**(3) 137-142.
- 27) Itaya, K. and T. Kadawaki (1969) An improved

- method for the coloximetric determination. Clin. Chem. Acta, 26, 401-404.
- 28) Karlsson, J. (1971) Lactate in working muscles after prolonged exercise. Acta Physiol. Scand. 82, 123-130.
- 29) 勝木新次 (1974) 全身持久力の評価を目的とする step test に関する考察。体力研究。29, 23-57。
- 30) Keul, J., G. Haralambie, T. Arnold and W. Schumann (1974) Heart rate and energy-yielding substrates in blood during long-lasting running. Europ. J. Appl. Physiol. 32(4) 279-289.
- 31) 百瀬 勉, 向井良子, 河辺節子 (1961) 血糖および尿糖の新定量法とその精度。臨床検査。5 (2) 107-111。
- 32) 百瀬 勉, 向井良子, 佐々木宏子 (1962) 血糖測定法。総合臨床。11 (1) 120-127。
- 33) 茂手木皓喜, 正路喜代美, 那須喜資雄 (1969) 血清トランスアミナーゼ活性値測定法の改良法。医学のあゆみ。69 (2) 70-72。
- 34) 内藤周幸, 碓井元夫, 小早川勝登, 岡庭 弘, 市田太郎 (1966) トリグリセリド測定法。医学のあゆみ 57 (9) 551-554。
- 35) Reindell, H. (1960) Herz Kreislaufkrankheiten und Sport. Johann Ambrosius Barth, München.
- 36) Rosenberg, J. C. and B. F. Rush (1966) An enzymatic-spectrophotometric determination of pyruvic and lactic acid in blood., Clin. Chem. 12, 299-306.
- 37) 芝山秀太郎, 江橋 博, 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤達也 (1973) 持久性運動における生体反応について 第27回日本体力医学会総会報告書。35。
- 38) 芝山秀太郎, 江橋 博 (1974) フィールドワークにおける呼気ガス分析装置の検討。体力研究。27, 33-41
- 39) 芝山秀太郎, 江橋 博, 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤達也 (1974) 長時間の運動時の生理的化学物質の変動。体育の科学。24 (11) 728。
- 40) Young, D. R., R. Pellagra and R. R. Adachi (1966) Serum glucose and free fatty acids in man during prolonged exercise. J. Appl. Physiol. 21, 1047-1051.
- 41) Zak, B. (1957) Simple rapid microtechnique for serum total cholesterol. Am. J. Clin. Path. 27, 583-590.

5. 自転者競技選手養成所における年間を通して の血液・尿性状の消長について

(第1報) 1日の変動について

日本女子体育大学 山
日本女子体育大学 深
東京大学 伊

川 純
山 智代
藤 幸子

1. はじめに

日本自転車振興会日本競輪学校は、選手養成のために1年間の訓練を行っている。これらの生徒は4月又は10月に入学して、年間を通して午前中は講義を受け、午後は自転車の実技訓練及び体力トレーニングを継続している。実技訓練の内容は種々であるが、1日に約3時間で、ピストにおける種々の訓練、1周3kmのサーキットコースでの30~45kmの持久走訓練、ローラ上の自転車での回転力養成訓練等を含み、1週間毎のスケジュールに従って行われている。各訓練の負荷量は漸増されて行き、また能力別の班編成によって各自の体力や技術の進歩等を勘案して行われている。

生徒数は70~80名で全員寄宿舎で生活しており、食事等を含め日常生活が殆んど同一の18~23才の男子のグループである。このように、長期間に亘る持続的なトレーニングに伴って、血液や尿の性状にどのような消長があるかを明らかにしたいと考えて、本研究を計画した。

運動の生体機能に及ぼす影響の研究の一環として、血液や尿の変動については、わが国においても大正年代から多くの研究報告がなされている^{3)~14)}。しかしその多くは、各種運動の前後の比較や、また短期合宿訓練中の消長に関する研究が多く、1年間という長期継続訓練中の変動についての研究は殆んどみられない。

今回私達は長期間の合宿でかなり激しいトレーニングを行っている被検者についての測定の機会を得たので、2カ月に1回の測定を実施している。

測定は1973年10月の入学生について11月から開始し、現在なお継続中である。したがって今回は第1回測定値についてのみ報告し、昭和50年度の報告に、全体についてまとめて報告する予定である。

2. 測定項目及び被検者

1) 測定項目

測定項目、測定方法及び測定時刻の概要は表1の通りである。今回は採血に対する抵抗がややあったことと、長期間に亘って同一被検者を追跡したかったことから、血液に関しては耳朶からの採血ができる範囲のこととどめた。

測定時刻は起床直後(6時30分)、講義終了直後(11時30分)、実技訓練終了直後(16時30分頃)の3回である。尿については、8時50分に排尿を行なわせ、9時から11時30分迄、12時50分に排尿させて13時から16時30分迄、16時30分から17時30分迄の3回に分けて採尿した。

2) 被検者

被検者としては、実技記録、能力評価測定値等を参考にして、成績上位者5名、下位者5名の計10名を選び、同一被検者について追跡測定を行った。被検者の身長、体重、自転車の経験年数(入校迄の)、年令等は表2の通りである。

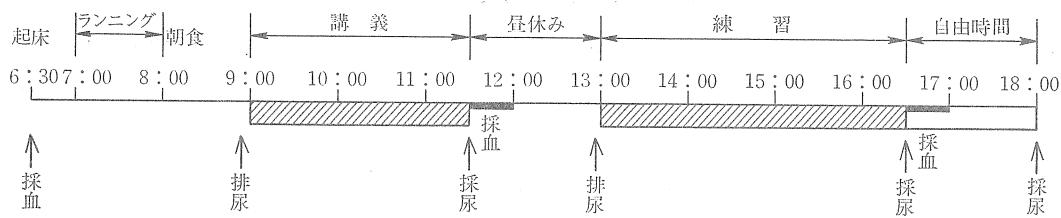
3. 測定結果

1) 血液性状について

A. 安静時

10名の被検者の赤血球数、ヘモグロビン量(Hb)、ヘマトクリット値(Ht)、血清総蛋白量について、

表1 測定方法及び測定時刻の概要



測定項目	方 法
赤 血 球 数	Hayem 液 200 倍稀釀。Burker-Turk 算定盤使用
ヘモグロビン量	シアンメトヘモグロビン法。日立光電光度計使用
ヘマトクリット値	毛細管法。11000回転遠心沈澱 5 分間
血清総蛋白量	日立血清蛋白計使用
血 糖 値	試験紙法
尿 量	メスシリンド計量
尿 比 重	比重計
尿 pH・ケトン体・ブドウ糖・蛋白・潜血	試験紙法(ラブスピックス)

表2 被験者

測定番号	氏名	身長 cm	体重 kg	経験年数	年令	成績
1	M. T	179.4	78.0	1年1ヶ月	23才	上位
2	N. K	172.1	73.0	. 11	18	"
3	I. Y	185.2	78.8	9. 2	22	"
4	Y. H	174.8	75.5	4. 1	20	"
5	H. H	171.4	71.1	1. 0	18	"
6	O. S	164.7	61.4	6. 5	21	下位
7	I. H	162.5	59.8	3. 4	18	"
8	I. M	175.4	63.6	2. 1	23	"
9	Y. K	170.4	61.3	3. 3	18	"
10	S. I	164.1	56.7	3. 5	18	"
	平均値	172.0	67.92	3年5ヶ月	19.9	

3回の測定値の一覧表を表3に示す。

起床直後と講義終了直後の値は、各項目とも各個人の測定値が近似しており、平均値を算出してもみると殆んど差が見られない(表4参照)。これらの値を説田ら¹⁾の大学生の健康な一般成人男子の平均値と比較すると、赤血球数では説田らの515万/mm³にくらべて約1割少なく457万/mm³で、むしろ女子の平均値に近い。Hb及びHtも一般成人男子よりやや少ない値を示した。また平

表4 起床直後と講義終了直後の平均値の比較

項目	N	起床直後 (6:30)	講義終了直後 (11:30)
赤血球数 (万/mm ³)	9	457.3±32.21	463.6±30.79
ヘモグロビン量 (g/dl)	9	14.36±0.958	14.38±0.601
ヘマトクリット値 (%)	9	45.9±1.81	45.9±1.60
血清総蛋白量	9	7.69±0.354	7.30±0.291

均血球容積、平均赤血球血色素量、平均赤血球血色素濃度等を算出した結果は表5の通りである。金井や日野ら²⁾の示している正常範囲を参考にしてみると、平均赤血球容積ではやや大きい値を示した者が3例あったが、平均血球血色素量と平均血球血色素濃度では、全員正常範囲にあった。

血清総蛋白量は、起床直後には平均7.69 g/dlであったが、講義終了直後の昼食前には9例全員がわずかに減少し、平均7.30 g/dlになった。この値は一般成人男子の平均値をやや上回る値である。

白血球数及びその分画については、表6に示す通りである。説田ら¹⁾の一般成人男子と比較して

表3 血液性状の測定時刻別一覧表

被 番 檢 者 号	赤血球 (万/mm ³)			Hb (g/dl)			Ht (%)			血清総蛋白量 (g/dl)		
	6 : 30	11 : 30	16 : 30	6 : 30	11 : 30	16 : 30	6 : 30	11 : 30	16 : 30	6 : 30	11 : 30	16 : 30
1	477	481	449	13.8	13.7	13.2	45.5	45.0	45.5	7.8	7.6	8.0
2	506	537	529	15.6	15.4	15.4	49.0	49.0	/	8.0	7.6	/
3	428	423	463	14.9	14.8	14.5	48.0	45.0	50.0	8.2	7.5	9.0
4	450	448	450	15.6	14.9	14.0	47.0	45.0	45.0	7.8	7.4	9.4
5	437	464	433	14.3	13.7	13.5	43.0	45.0	45.0	7.4	7.2	7.8
6	470	471	509	13.8	14.1	14.2	45.0	47.0	48.0	8.0	7.6	9.1
7	/	507	577	15.4	/	15.0	50.0	/	52.0	7.2	/	8.8
8	388	444	545	12.3	13.7	12.9	44.0	44.0	42.5	7.0	6.8	8.2
9	468	464	495	14.5	14.9	14.6	46.5	48.0	/	7.4	7.0	/
10	471	441	546	14.4	14.2	14.9	45.0	45.0	44.5	7.6	7.0	8.0

表5 赤血球と血色素の関係

被 檢 者	平均赤血球容積			平均赤血球血色素量			平均赤血球血色素濃度		
	6 : 30	11 : 30	16 : 30	6 : 30	11 : 30	16 : 30	6 : 30	11 : 30	16 : 30
1	95.4	98.6	101.3	28.9	28.5	29.4	30.3	30.4	29.0
2	96.8	91.2	/	30.8	28.7	29.1	31.8	31.4	/
3	112.1	106.4	108.0	34.8	35.0	31.3	31.0	32.9	29.0
4	104.4	104.4	100.0	34.7	33.3	31.1	33.2	33.1	31.1
5	98.4	97.0	103.9	32.7	29.5	31.2	33.3	30.4	30.0
6	95.7	99.8	94.3	29.4	30.0	27.9	30.7	30.0	29.6
7	/	/	90.1	/	33.5	26.0	30.8	/	28.8
8	113.4	99.1	78.0	31.7	30.9	23.7	28.0	31.1	30.4
9	99.4	103.4	/	31.0	32.1	29.5	31.2	31.0	/
10	95.5	102.0	81.5	30.6	32.2	27.3	32.0	31.6	33.5

表6 白血球数及び分画

被 檢 者	白 血 球 (/mm ³)			白 血 球 分 画										
	6 : 30			11 : 30				16 : 30						
				好中球	好酸球	好塩基球	リンパ球	単球	好中球	好酸球	好塩基球	リンパ球	単球	
1	7350	6875	12650	1	47.5	1.0	0	45.0	6.5	86.7	0	0	10.3	3.0
2	6100	8050	9600	2	60.8	1.3	0	29.0	9.0	80.0	0	0	13.0	7.0
3	7650	5525	6575	3	55.6	1.3	0	32.3	11.0	52.3	0.8	0	31.8	15.3
4	3900	3875	9600	4	48.3	2.0	0	41.8	8.0	72.5	0	0	22.5	5.0
5	6225	5325	5150	5	74.0	0.3	0	20.0	5.7	64.0	0	0.5	29.0	6.5
6	4250	4800	8100	6	56.4	3.0	0	30.0	10.7	78.0	0.5	0	15.5	6.0
7	5425	4300	10250	7	55.0	1.5	0	37.5	6.0	81.0	0	0	15.0	4.0
8	5125	4300	7850	8	38.6	7.2	1.2	45.4	7.6	71.3	4.0	0.7	19.7	4.3
9	5075	6100	13075	9	45.3	4.3	0	43.7	6.3	73.8	0.5	0	22.5	3.3
10	4375	4250	14525	10	31.0	0.8	0	61.8	6.4	73.0	0	0	20.7	6.3
平基値	5472	5342	10248		51.3	2.3	0.1	38.7	7.7	73.3	0.2	0.1	20.0	6.1

表8 起床直後及び実技訓練終了直後の平均値の比較

項目	N	起床直後 (6:30)	実技訓練終了 直後(16:30)
赤血球数	9	457.3±32.21	491.0±41.26
ヘモグロビン量	9	14.48±0.962	14.30±0.782
ヘマトクリット値	8	45.9±2.13	46.6±2.96
血清総蛋白量	8	7.63±0.380	8.54±0.568

白血球数はやや少ないが、分画のそれぞれの割合はほぼ等しい値を示している。

B. 運動後

測定当日の実技訓練は、13時から16時30分までの間、400m ピストにおいて表7の内容について行われ、最後の周回25周の終了した者から順次採尿、採血を行った。

運動後の血液性状の各人の測定値は表3、表5、表6に示した通りである。また起床直後及び運動後の測定値の平均値は、表8に示す通りである。赤血球数は平均7.4%，血清総蛋白量は11.9%の増加を示したが、Hb及びHtは著明な変化がみられなかった。これに対して、白血球数は平均5472/mm³から10248/mm³と約2倍に増加した。分画から見れば好中球数の比率が51.3%から73.3%と増し、リンパ球が38.7%から20.0%に減少している。しかしこれらの各比率と白血球数から各分画の実数を算出してみると、リンパ球について

表7 実技訓練内容

- 周回 30周(12km)、自力で400m ラップタイム36"~32"を維持 休憩10分間
- 1000m 独走 1回
- 200m フライングダッシュ 2回
- 周回 30周(12km) 自力でラップタイム36"~32"を維持
- 周回 25周(10km) 誘導車付ラップタイム31"~28" 休憩10分間
- 周回 25周(10km) 誘導車付ラップタイム31"~28"

はその実数は安静時と運動後で殆んど変わらず、好中球数のみが実数においても著しく増大していた。

また赤血球数、白血球数とともに、上位者にくらべて下位者の増加の割合がやや大きい傾向を示していた。

2) 尿について

被検者10名の安静時、運動中、運動後の尿比重、尿pH、尿蛋白は表9に示す通りである。また安静時、運動中とも、尿潜血反応、ケトン体、ブドウ糖は全員(-)を示した。

安静時にくらべて運動中には、尿比重がやや小さくなりpHはやや中性側に移行し、尿蛋白は2名を除いて(+)または(++)を示した。運動後1時間尿では、各項目とも講義中の安静時の値に復していた。

表9 尿比重、尿pH、尿蛋白反応の一覧表及び平均値

	尿比重			尿pH			尿蛋白反応		
	8:00~11:30	13:00~16:30	16:30~18:20	8:00~11:30	13:00~16:30	16:30~18:20	8:00~11:30	13:00~16:30	16:30~18:20
1	1.030	1.025	1.031	5.0	6.0	6.0	-	(+)	+
2	1.030	1.032	1.031	6.0	5.5	5.5	+	(+~++)	+
3	1.033	1.035	1.030	6.0	6.0	5.5	+	+	-
4	1.031	1.029	1.031	5.5	5.5	5.5	+	(+)	+
5	1.030	1.032	1.031	6.0	6.0	5.5	+	+	+
6	1.030	1.025	1.035	5.5	6.0	5.5	+	(+)	-
7	1.033	1.026	1.029	5.5	5.5	5.5	-	(+)	-
8	1.034	1.026	1.035	5.5	6.0	5.5	+	(+)	+
9	1.026	1.021	1.032	5.0	5.5	6.0	+	(+)	+
10	1.034	1.030	1.031	6.0	6.0	6.0	+	(+)	+
平均値	1.0311	1.0218	1.0316	5.60	5.80	5.65			

4. 考 察

安静時における血液性状については、赤血球数が一般成人男子よりやや少ないが、平均血色素量等においては正常範囲にあり、また白血球数もやや少ないが、分画については正常の分布を示した。一般人にくらべてやや値の小さいことは新しい環境で、食事、訓練等に十分なれていない時期で、やや全般に疲労気味であったことが原因と思われる。また起床直後と講義終了直後の値が著しく近似していたので、今後の安静時としては講義終了直後に測定することにした。

運動直後においては、赤血球数、血清総蛋白量がやや増加の傾向を示したのは、血液の濃縮のあったことが考えられるが、白血球数の増加は、その割合からみても血液濃縮のみによるものとは思われない。運動後の白血球数の増加については、過去における多くの文献の中、10分以上継続した運動後においては殆んど安静時の2倍以上の増加を示しているものが多い⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。本被検者においても最大の増加を示した者は $4375/\text{mm}^3$ から $14525/\text{mm}^3$ と運動直後には232%も増加し、平均87.3%増した。増加の割合の大きい者は下位者に多かったが、訓練の量はグループ毎に増減されているので、下位者の訓練量が上位者に比して特に大きいとは考えられない。しかし生体に対する刺激量としてはやはり上位者にくらべて下位者には大きい可能性もあるかもしれないが、今後比較検討して行きたい。

白血球増加の中、その分画については諸家の見解は必ずしも一致していないが、好中球数の増加はいずれの文献においても顕著である。本被検者でも好中球数の増加のみで、好酸球数はやや減少の傾向を示した。金子ら⁶⁾は、東海道駅伝競走後の白血球分画において、好酸球数が安静時の3.8%から0.8%に減少したと報告しているが、本研究における減少の割合も2.3%から0.2%でやや低い値を示した。また深山ら⁷⁾も自転車で40km疾走させた前後を比較し、好酸球数の減少を認めており、走行距離20kmでは増加しており、運動量によって変動が異なると述べている。本研究でも安静時の好酸球の割合は明らかに下位者が多く、

運動後の減少も大きいことから、好酸球がストレスや副腎皮質ホルモン分泌時に減少するといわれていることを考えると、下位者の方が同一訓練においてストレスの大きいことも推定される。

次に尿においては、講義中にくらべ運動中には尿比重がやや小さくなっているが、これは運動中の水分摂取を禁止することができなかったため、実際に観察していると自転車選手は練習の合間にかなり多量に水を飲むようである。また、ケトン体、ブドウ糖の出現及び溶血反応は1例もみられなかつたが、尿蛋白は2例の土を除いて8例に十または十の反応が見られた。しかし運動1時間後にはすでに消失しており、運動による一過性のものと考えられる。長距離走直後においては70%の者に尿蛋白陽性率を示すという木村ら⁵⁾の報告を始め、河本ら⁸⁾もマラソン競技後に90%に蛋白出現を認めているが、木村ら⁴⁾によれば剣道、相撲、馬術などでは陽性率が50%以下であり、運動の負荷の質や量によって異なるものと思われる。住吉¹³⁾、高田¹⁴⁾は運動性蛋白尿を電気泳動的に研究し、 γ -Globulin 分画の透過性が大きく、殊に長距離走で大きく、起立性蛋白尿とその分画が多少異なることを報告している。運動負荷量の大小と蛋白尿とは関連があるらしいので、今後各練習内容との関係を明らかにして行きたいと考える。

引 用 文 献

- 1) 説田武他7名：健康成人の血液像その他標準値の調査成績、日本医事新報、No. 1809, P. 11~15, 昭和33年12月。
- 2) 金井 泉、金井 好：臨床検査法、金原出版 K, K, 昭和45年。
- 3) 河本頼助他6名：各種運動競技の尿成分に及ぼす影響、1. 競走・水泳・籠球・蹴球競技前後に於ける尿所見、実験医学雑誌、16, 1148~1176, 昭和7年。
- 4) 木村政長、鳥居吉智：各種運動競技の尿成分に及ぼす影響、2. 剣道・柔道・相撲乗車馬の練習及び試合前後における尿所見、実験医学雑誌、16, 1255~1272, 昭和7年。
- 5) 木村政長他2名：各種運動競技の尿成分に及ぼす影響、3. 長距離走前後における尿所見、実験医学雑誌、16, 1469~1486, 昭和7年。
- 6) 金子五策他2名：運動の生活機能に及ぼす影響、第四、長距離走の血液変化、衛生学伝染病学雑誌、16 (5), 259~282, 大正10年。
- 7) 深山 果、高島雅行：長距離疾走前後の血液学的変化、日本循環器病学、2 (10), 545~549, 昭和12年。

- 8) 向井果士, 運動の白血球に及ぼす影響について, 山梨大学学芸研究報告。10, 209-214, 昭和34年
- 9) 村上 功他 2名: 運動の生活機能に及ぼす影響, 第5, 遊泳後の血液所見, 衛生学伝染病学雑誌。17 (1), 1-18, 大正10年
- 10) 奥津 汪他 4名: 24時間強歩時の白血球比率変化に就て, 体力科学。1, 76-78, 昭和26年。
- 11) 小川新吉他 4名; 100km 長距離歩行における生体の諸変動, 東京教育大学体育学部スポーツ研究所, 10, 1-15, 1972.
- 12) 小野三嗣, 倉田 博: 中長距離走歩を未鍛練成人に処方する場合の条件について, 体力科学。22, 161-172, 1973.
- 13) 住吉 薫: 運動の血清蛋白像ならびに運動性蛋白尿の電気泳動的研究, 日本内科学会雑誌。45 (12), 1315-1326, 昭和32年。
- 14) 高島昌広: 起立性蛋白尿に関する研究及びそれと運動性蛋白尿との比較, 大阪市立大学医学雑誌。8 (下), 1849-1865, 昭和34年。

