24時間リレーにおける身体諸機能の変動について

岩 垣 丞 恒* 小 林 啓 三** 小 林 康 孝**
高 橋 明** 有 吉 正 博***

CHANGES OF PHYSICAL FUNCTIONS DURING "24 HOUR-RELAY"

SUKETSUNE IWAGAKI, KEIZO KOBAYASHI, YASUTAKA KOBAYASHI
AKIRA TAKAHASHI AND MASAHIRO ARIYOSHI

Students and general long distance runners carried out 1600m run for 24 hours and their physical functions were measured with lapse of the relay. Following results were obtained.

1) Prolongation of mean running time of student long distance runners in 1600m runs appeared at about 8th-10th runs, 12.8-16.0km, but that of general long distance runners did at 5th-6th runs, 8-9.6km.

2) There was plus correlation between mean of running time and its standard deviation in 1600m runs. It was $r=0.55$ and its regression equation was $Y=0.58X-162.3$. But these of general long distance runners were $r=0.53$ and $Y=0.358X-97.3$, respectively.

3) Decreased body weight from 1st-8th run was great and successive, and occupied about 30%-70% of final decreased body weight. Thereafter, increase or decrease of the body weight was repeated and the time course became slow. There were some runners who showed large and successive decreased body weight with the runs through the competition. The decreased body weight during the competition was influenced by the wind velocity, which suppressed it considerably.

4) Heart rate of a student long distance runner during 1600m run reached 180-189 beats per minute every run. Resting heart rate of general and student long distance groups showed circadian rhythm during the competition, but that of student runners was higher through the competition and their systolic pressure shows a tendency to below in later period of the competition.

5) Threshold of knee jerk was low in the initial few runs and thereafter showed circadian rhythm. Reaction time to light was also facilitated in the initial runs and thereafter prolonged about 30msec and maintained till the end of the competition. Frequency of subjective symptoms increased with number of the runs. At middle of the competition, it came over Sakai's standard and the A, B and C symptoms at the end of the competition were 33.0%, 20.0% and 25.0%, respectively.

6) Calorie intake per day of the student long distance runners was in the range of 1240-2540Cal. Total energy consumption was estimated 7457Cal. per day.

7) Blood glucose of the student long distance runners mostly unchanged through the competition, but serum triglyceride and total phospholipids significantly decreased and inversely serum free fatty acids prolongly mobilized.

(J. Physical Fithness Japan 1980, 29 : 33~44)

* 東海大学体育学部運動生理

Department of physical recreation, School of Physical education, Tokai University.

** 東京慈恵会医科大学第二生理

Department of physiology, The Jikei University School of Medicine.

*** 東京学芸大学運動学

Department of Education, Tokyogakuji University.

I. 緒 言

人の行動や運動には冒険的あるいは競技的要素があり、その内容は著しく多様化している。その目的や意義に不可解な点があるにせよ、ある場合にはそれが莫大な仕事量を遂行していることもある。この背景には当然身体諸機能の維持が伴い、少なくともその持続時間が重要な要因となる。24時間強歩¹²⁾¹⁶⁾²¹⁾²⁵⁾, 26km 急歩¹⁸⁾, 25km 競走¹⁷⁾, マラソン¹⁰⁾等の研究はこれらの例に属するもので、特に身体諸機能の変化について論じられている。しかし、いづれの研究においても環境条件、測定上の問題等があり経時的並びに定量的測定は実施されていない。この研究は“24時間リレー”という特殊な競技の中で、身体諸機能の変化を広範囲にしかも可能な限り経時的並びに定量的に分析し、長時間運動時の身体諸機能の維持について追究した。

II. リレーの概要、被験者、測定項目並びにその方法

1. “24時間リレー”の概要

この競技は10人1組のチームで実施され、1人の走者は400mトラックで1600mを走行し、次の走者へリレーする。このリレーを24時間継続し、10人の走者が走破した距離で勝負が決定される。各走者は飲食物、衣服、毛布等を各自で準備し、自ら身体的条件を調整しながらリレーを継続する。休息時における身体的拘束はほとんどなく、飲食物の摂取、衣服の着用、睡眠等も可能である。しかし、走行後40～50分には身体諸機能の測定が始まり、走行10分前には呼び出され、適当なウォーミングアップ後、走行を再開する。従って、各走者の走行回数あるいは休息時間はチームの運動能力水準並びに走行時間のばらつき等によって異ってくる。

2. 被験者

この競技に参加した被験者は、1975、1976年ともに全て東海大学陸上競技部長距離班の学生で、年齢は18～20才であった。この両年の参加人数はそれぞれ2チーム、20名であった。しかし、1977年には一般走者（長距離走の同好会）の参加もあり、この年には東海大学学生チームと合わせ、4

チームの参加となった。1600m疾走時間、体重減少量の計測以外では1975、1976年とも6名の被験者をランダムに選び、1976年には対照群との比較をするため検者8名（18～35才）の測定も同時に実施した。1975年には東海大学学生チーム20名の特徴について事前に調査し、どの程度の被験者であるか明確にした。

3. 日時と場所

競技の開催は毎年東海大学陸上競技場で行われ、その400mトラックが利用される。毎年7月31日～8月1日と決まっており、競技開始は午後5時であるが、この時間はその年によって午後6時にも変更された。

4. 測定項目並びにその方法

i) 1600m 疾走時間—1975、1976、1977年ともに全ての走者について各疾走毎にその時間を記録し、24時間における1600m 平均疾走時間とその標準偏差を算出し、これらの経時的変化並びに相互関係について分析した。

ii) 体重減少量—1975、1976、1977年ともに各疾走直後に体重計で全ての走者について体重を測定し、体重減少量の経過、最大減少量、気温並びに風力等との関連について分析した。

iii) 心拍数、血圧、ECG—運動時並びに回復時の心拍数は、6名中1人の被験者の胸部へ門板電極を貼布し、テレメーター（日本光電社製）を用いてECGを記録し、運動時には400m、800m、1200m、1600m 毎に前後5秒間のR波数から心拍数を算出した。回復期心拍数は運動後、座位で1分、2分、3分、5分、10分、15分毎に同様の方法で心拍数を算出し、24時間リレーにおける変化について分析した。安静時心拍数については、前述の被験者と残り5名、検者8名について測定した。運動後の測定は走行後40～50分とし、この間に血圧測定も実施した。検者の測定は4時間毎に行った。これら走者のECGは競技前後に測定し、前後の比較を行った。

iv) 膝蓋腱反射閾値、光反応時間、自覚症状調査—浦本式膝蓋腱閾値測定器を用いて被験者6名、対照群8名の閾値を測定した。走者は各走行後40～50分に対照群は4時間毎に測定した。光反応時間は打鍵を用い光の点灯に伴う反応時間をクロノスコープ（竹井機器株式会社）によって5回

Table 1 Characteristics of student long distance runners participated in this competition. Each value is expressed by mean $\pm$ S.D.

	Body height (cm)	Body weight (kg)	Daily running (km)	Running career (year)	Heart rate at rest (beats/min)	Performance time in 1500m run (second)
n=20						
Mean	168.3	57.1	17.9	5.5	53.9	254.3
S.D.	± 5.1	± 3.9	± 4.6	± 2.5	± 5.1	± 7.1

測定した。被験者並びに対照群については前述のように実施した。自覚症状については同上の6名の被験者に3時間毎に自覚症状調査用紙(日本産業衛生協会疲労委員会編)に従って質問し、各項目の頻度について経時的に分析した。

v) 摂取カロリー—前述の6名の被験者について、それぞれの飲食物ごとに、量並びに質、重さ等をチェックし、1時間毎にまとめ、どのような経過でどの程度の摂取カロリーとなっているか調査した。

vi) 血液中諸物質について—前述の6名について、競技前、翌日午前8時、午後5時に採血し、血糖、血清酵素(GOT, GPT, LDH)血清中脂質(トリグリセライド、遊離脂肪酸、全燐脂質)を測定した。血糖並びに血清酵素は酵素法(中外製薬株式会社)を用いた。血清脂質は、Folchらの方法⁴⁾により血清から脂質を抽出し、濃縮後、薄層クロマトグラフィー(Thinlayer chromatography)を用いて分離し、それぞれの脂質をトリグリセライドはSternとShapiro²⁴⁾の法、遊離脂はDuncombeの法³⁾、全燐脂質はBartlett法¹⁾で定量し、それぞれの時刻における血液中脂質の変動から、脂質の動員について検討した。

vii) 気温並びに風力—400mトラックの中央に温度計、風力計を設置し、2時間毎に気温風力の測定を実施した。

III. 結 果

東海大学陸上競技部長距離班の学生の特徴について表1にまとめた。この調査は1975年に出場した20名についてまとめたもので、この人数は全長距離選手の40%にあたる。形態的には身長—168.3 $\pm$ 5.1cm, 体重—57.1 $\pm$ 3.9kg で Rohrer Index は約 121 でかなり細身である。長距離走の経験年

数は 5.5 $\pm$ 2.5 年、現在のトレーニング量は1日当り 17.9 $\pm$ 4.6km であった。1500m の公式記録は 254.3 $\pm$ 7.1sec, 早朝時の安静時心拍数は 53.9 $\pm$ 5.1拍/分であった。これらの結果から明らかにように、中心となってこの競技に参加した選手は十分に鍛練を積んだ被験者であり、1976, 1977年に参加した学生についてもこれらの範囲の特徴をもっていると考えられる。

Fig. 1 Changes of decreased body weight (lower figure) and running speed (upper figure) during the competition. Dotted lines in lower figure show changes of temperature during the competition. Thick horizontal bars in both figures show time from 10 P.M. to 6 A.M.

図1は外部環境の変化に対する体重減少量の違いについて示した。1975年と1976年との参加者では被験者が多少異なるが、1600m疾走時間の経過には大きな違いはなかった。しかし、体重減少量では外気温の低い1975年の場合、約1kgほど体重減少量が多い。この背景には風力の違いがあり、1975年には1日中1m/sec以下の風力であった。しかし1976年には4～6m/secの風力があり、体重減少量には特に風力の影響が著しいことがわかる。それぞれの体重減少量を見ると最初の数回の走行によって生じる体重減少量は約1.3～1.6kgで大きな差はない。しかし最終減少量との比較では1971年時でこの値が70%に当り、1975年時では50%となった。最初の数回の走行は最終体重減少量の約50～70%を生じせしめている。従ってその後の体重減少量が外気温の影響を著しく受けることになる。

Fig. 2 Mean of running speed of each student runners in 1600m runs and their decreased body weights at each run. Each closed circle shows number of 1600m runs.

体重減少量の経過並びにその量について、1975年の結果を図2にまとめた。横軸の数字は各走者の1600m平均疾走時間、縦軸は積算された体重減少量を表わしている。最初の数回の疾走ではほとんどの走者が連続した体重減少を示すが、1.5kgあたりから体重調整が行われ、その減少量もゆるやかになっている。疾走時間との関連はほとんど認められず、1975年には各選手が約2.5kgぐらいの減少量を示した。そのうち4人の走者は体重減少量が4～5kgに達したが、これらの選手には前述の選手のような体重調整が見られない。

Fig. 3 Relationship between mean of running speeds and its standard deviation during the competition. There was plus correlation between them ($r=0.55$).

各走者の1600m平均疾走時間とその標準偏差の関係について図3にまとめた。各選手は種々な内的並びに外的環境の変化のもとで、1600mを疾走するので、疾走時間へのこれらの要因の影響が考えられる。両者の間には明らかな相関関係が成立し、相関係数は $r=0.55$ であった。この事は長距離走者の中で、平均的に速い疾走能力を示す走者は種々な条件下でも極めて安定した体調で疾走できる事を意味し、逆にこの能力の劣る走者ではこれらの環境因子の影響を受けやすいことがわかる。

運動時並びに回復期における心拍数がこの競技中どのような経過をたどるかという点について1人の走者の心拍数変動を図4にまとめた。運動時における心拍数は400m、800m、1200m時にそれぞれおよそ170拍/分、175拍/分、180拍/分に増加し、最後の400mではどの走行時にも180～189拍/分となっていた。しかし、スタート前の心拍数は夜にその上昇が抑えられている。この現象は回復期心拍数にも多少認められ、翌朝午前中は逆にその回復が遅れている。しかし、走行回数に伴う心拍数変動はほとんど認められない。

Fig. 4 Change of heart rate of a runner during in 1600m run (left figure) and after the run at number of each run. Horizontal thick bars in both figures show time from 10 P.M. to 6 A.M. In right figure, high and low heart rate in closed circles show heart rate at 2 and 5 minutes after the runs, respectively.

Fig. 5 Changes of resting heart rate and blood pressure of student long distance runners and control subjects during the competition. Closed circle in upper figure ; control subjects who did not run and awaked through the competition, open circle in the figure ; student long distance runners. Dotted lines in lower figure ; control subjects. Horizontal bars in both figures are time scale from 10 P.M. to 6 A.M.

安静時心拍数並びに血圧について、長距離走者 6 名、対照群 8 名を比較しその経時変化を図 5 にまとめた。安静時心拍数では両群共に日内変動が認められたが、長距離走者群の心拍数はかなり高く、特に翌朝の疾走では心拍数の回復が遅れてい

る。血圧変動では長距離走者並びに対照群ともに日内変動は認められなかったが、後半では収縮期血圧の低下が生じているように思われる。従って、長距離走者群では競技後半になると収縮期血圧の低下と安静時心拍数の上昇が相反した現象と

Fig. 6 Changes of threshold of knee jerk, reaction time to light and frequency of subjective symptoms during the competition. Open circle in left figures ; student long distance runners, dotted lines ; control subject who did not run and awaked through the competition. In right figure, A ; physical symptom, B ; mental symptom, C ; neuro-sensory symptom.

して生じている。

膝蓋腱反射閾値、光反応時間について長距離走者と対照群とを比較し、経時的に図6に示した。また、自覚症状については長距離走者のみについて調べ、これらも図6にまとめて示した。膝蓋腱反射閾値は競技開始初期に小さくなるが、対照群との差は少なく、逆に日内変動が明らかに認められた。光反応時間は競技開始初期(5回, 8000m)は一定した値を示していたが、その後約30msec延長した値となり終了時まで変化はなかった。対照群の日内変動と相反するところに長距離走者との差が多少認められる。自覚症状調査では酒井²⁰⁾の示す総訴え率の規準値(15%)が競技中頃に現われ、終了時には26.1%となった。身体的症状(A)並びに精神的症状(B)の訴え率はこれより多少早く現われ、神経感覚的症状(C)の出現は総訴え率の出現時と一致している。これらの症状も終了時にはそれぞれ33.3%, 25.0%, 20%となり酒井²⁰⁾の示す規準をはるかに上回る訴え率であった。

各走者の摂取カロリーの経時変化について図7にまとめた。各走者は1600m疾走毎に少量の飲食物を摂取し、1食にまとめて摂取する例は少なかった。1日当りの総摂取カロリーは1420~

Fig. 7 Lapse of calorie intake of each student long distance runner during the competition.

2450Calの範囲にあった。しかし平均的には2000Calぐらい摂取している。質的な特徴では、野菜類、パン、ジュース等が多く、蛋白、脂肪類の摂取は極めて少なかった。

Fig. 8 Changes of blood substances of student long distance runners during the competition. T-G ; serum triglyceride, B-S ; blood glucose, FFA ; serum free fatty acids, P-L ; serum total phospholipids. Vertical bars in each histogram shows standard deviation of each value.

血糖、血清トリグリセライド、遊離脂肪酸、全磷脂質について図8にまとめた。血清トリグリセライド並びに全磷脂質は各時刻に減少し、競技終了時には統計的に有意な減少となった。血糖値はいずれの時刻においても一定した値を示し、競技終了時にも減少は認められなかった。遊離脂肪酸は翌日8時には有意な増加が認められ、競技終了時にも高い値を維持していた。これらの結果は遊離脂肪酸の動員が競技全体を通じてエネルギー源となることを示し、同時に血糖の維持がその背景にあることも重要である。

図9は1977年に実施した学生並びに一般長距離走者の体重減少量を経時的に示した。両群とも最初の数回の走行では減少量が大きく、長距離学生では約50%、一般走者では約30%であった。しかし、最終的な体重減少量は一般走者が有意に大きく、鍛練性によると思われる体重減少量の差が認められた。

図10は同上の被験者各10名ずつ1チームの1600m平均疾走時間の変化とその標準偏差の変化とについて、経時的に示した。学生長距離走者と一般走者について各群の平均走行時間の変動は、一般走者で8000m (5×1600m)、学生長距離走者で

Fig. 9 Lapse of decreased body weight of general and student long distance runners during the competition. Abscissa ; number of 1600m-runs. Vertical bar shows standard deviation and figure in parentheses is number of the subjects.

16000m (10×1600m) に平均走行時間の延長が認められ、一般走者と学生走者との間に差が生じている。その後、両群ともに平均走行時間が走行回数毎に延長する。この傾向は特に一般走者でははっきり認められる。しかし、最終5～6回においては一般走者に平均走行時間の短縮を示すのに反し、長距離走者ではこの傾向が全く認められず、疲労困憊的な疾走時間の延長を示した。一方その標準偏差値についてみると、両群とも約13回、(13×1600m ; 208000m) あたりまで約20秒以内の標準偏差で走破している。しかし、それ以後になると各走者間に疾走時間のばらつきが大きくなってくる。この時点(約20km)の出現には学生と一般走者との間に差はなく、一致して認められ、鍛練性のみによる現象とは考えられない。

図11は前述の一般長距離走者と学生長距離走者について平均走行速度とその標準偏差値との関係を示した。1975年の結果(図3)と同様の結

Fig. 10 Changes of mean of running time and its standard deviation of general and student long distance runners in 1600m-run during the competition. Open circle ; general long distance runners, closed circle ; student long distance runners. Abscissa ; number of 1600 m runs and its o'clock in parentheses.

Fig. 11 Correlation between mean of running time of general and student long distance runners in 1600m-runs during the competition. Open circle ; general long distance runners, closed circle ; student long distance runners.

果が得られたが、学生長距離走者では $y = 0.588X - 162.3$ ($r = 0.55$), 一般長距離走者では $y = 0.348X - 93.7$ ($r = 0.51$) となった。この回帰直線の差は高い鍛錬を積みつつある学生長距離走者が“24時間リレー”においては、より大きな疾走時間のばらつきをもっている事を示している。

IV. 考 察

この競技では1人の走者が1600m 疾走を約50分に1度の頻度で24時間繰り返すため負荷される

運動量、エネルギー源の供給、並びに昼夜の走行による生体リズムの混乱等が疾走時間の延長やばらつきを生じせしめることになる。これらの背景には酸素摂取量、エネルギー源の動員並びに利用、循環系機能、神経一筋の機能、体温調節等の身体諸機能の維持が不可欠な要素となっている。

1. 体重減少について

体重の減少は発汗、排泄、飲食物の摂取、エネルギー消費量等によって変動する。特に急速減量では身体機能との関連が各スポーツの減量時のエ

エネルギー出納、体力、血液及び尿中所見から検討されてきている¹³⁾。著者らの結果でも 1600m 疾走時間と体重減少量の経過との間には平行した関係があるように思われた(図1)。しかし、この体重減少量の経過を分析してみると、この関係に疑問となる点が認められる。図1で述べたように最終体重減少量の30~70%は競技初期の数回の走行で生じる体重減少量に依存するものである。この数値の大きなばらつきは最終的な体重減少量の違いによるもので、およそ1~2kgの範囲にあり、この競技では丁度8,000~10,000m 疾走後に認められる。この間の体重減少の経過は連続しておこり、およそ1.5kgあたりで、図2に示したような体重調整らしき現象が認められる。この量は図1、図9に示したように気温、風力、鍛練性等に関係していない量で、これらの要因による有意差は生じない範囲にある。その後、体重の増減が繰り返されるようになり体重減少量の経過は緩やかとなる。この経過に影響を与えるのは特に外気温や湿度であるが、戸外では風力がかなり大きな因子となり、体重減少を抑える要因となる(図1)。また個人差もあり体重減少量の大きな被験者では前述の経過を経ず、連続した体重減少をし最終的に大きな減少量を示すことにつながる。

鍛練性の差による体重減少量については、図9に示したような結果が得られた。一般並びに学生長距離走者共に鍛練を積んでいるので、この差は練習量や質によるものと考えられる。しかし、この差が明確となるのは特に5~6回走行後の体重減少量が緩徐となる時期で、初期の体重減少では有意差となっていない。Kobayashiら¹⁴⁾、並びに山田²⁶⁾らは運動選手の暑熱馴化が優れていることを報告し、河谷¹⁰⁾はマラソンにおいて疾走速度、外気温がheat strokeを生じせしめる要因となり、これが持続時間を決定することになると報告している。これらの報告にみられるように、特に鍛練性の差は数回の疾走後(およそ8~10km)に大きく影響してくることが考えられ、鍛練の量や質によるものと考えられる。しかし、前述のように同一の鍛練を積んだ被験者間ではこの差が直接疾走時間やそのばらつきと関係する要因となっていない。

2. 循環機能について

走行直前の心拍数を経時的にみると心拍数は約120拍/分に上昇しているが、この状態にも日内変動が認められ夜にはこの上昇が抑制されている。1600m 走行中には日内変動様のパターンは全く認められず26~28回の疾走時にはいずれの場合にも最高心拍数は180~189拍/分に達していた。しかし一担回復期に入ると夜に心拍数の回復が早まる傾向にあり、逆に昼近くでは遅れる傾向にある。しかし運動量や日内リズムの混乱に伴う変動はデータ上ほとんど見受けられない。安静時心拍数では、長距離走者も対照群も同様の日内変動を示した。しかし、長距離走者では40~50分の回復時間を経ても、安静時心拍数が有意に高く、各時点において対照群より高い心拍数であった。この傾向は競技後半になると著しくなる。小川らは¹⁴⁾登山者の睡眠不足が心拍数の回復を遅らせる原因となる事を報告している。この点は心拍数がどの程度まで上昇したかという事によってかなり異なるが図4に示したように回復経過には走行回数に依存した変化は認められなく、むしろ安静近くでの回復が遅れているので、体温の上昇、脱水、精神的緊張等による影響が考えられる。一方血圧をみると、対照群に比較し、収縮期圧の低下が見受けられる。Saltin²²⁾、Costill と Sparks²³⁾は脱水による循環系の現象として心拍数の上昇と心拍出量の低下を報告している。特に競技後半ではこれらの生理的变化が重合していると考えられる。

3. 疲労の要因について

競技初期、およそ8,000m~10,000mまでには、膝蓋腱反射閾値並びに光反応時間には亢進が認められる。しかし、その後膝蓋腱反射閾値は日内変動に類似した変化を示し、運動量や昼夜の走行に伴う変化は認められなかった。上岡⁷⁸⁾、狩野⁹⁾は膝蓋腱反射について詳細に検討し、日内変動並びに季節変動等は明確に認められるが、負荷運動量との関係の出現は結果的に認められなかったと報告している。従って、この結果も彼らのものと一致し、この生体負荷状態では神経一筋の機能に影響を与えていないと考えられる。一方、中枢を介する光反応時間では、8,000~10,000m 以後約30 msec 延長し、対照群と差の生じる事を考えると、この回数あたりから精神的にも負担となる事が予測される。ところが、自覚症状調査では前半に身

体的並びに精神的症状の訴えが多く神経感覚的要素は多少遅れて出現し, それぞれ酒井²⁰⁾の規準値を越えるようになる。これらの増加はほぼ直線的で日内変動様の変化はなく, 運動負荷量あるいは頻度に依存した現象のようである。最終的にはそれぞれ総訴え率で 26.1%, 身体的症状 33.3%, 精神的症状 20.0%, 神経感覚的症狀 25.0% となり, 明らかに自覚症状の違いが生じていることを示している。

4. エネルギー消費量の概算と血液中諸物質の変動について

この競技の時間経過はウォーミングアップ, 1600m 疾走時間, 休息安静時に大きく区別することができる。1600m 平均疾走時間の合計は, 146.3 分, 平均速度は 4.931m/sec となるので, Hill⁶⁾の図から酸素需要量を求めると 4.0 l/min である。そこで消費されたエネルギー量は $146.3 \text{ min} \times 4.0 \text{ l/min} \times 5.0 \text{ Cal/l} = 2926 \text{ Cal}$ となる。10分間のウォーミングアップには軽いランニングや柔軟体操を含むので, 仮に RMR 7.8 とし, 平均身長並びに体重から毎分当りの基礎代謝量を 1.097 Cal/min とすると, $(5.0 + 1.2) \times 270 \text{ min} \times 1.097 \text{ Cal/min} = 1836 \text{ Cal}$ となる。安静時においてはテント内での歩行仰臥, 睡眠等を含み, 仮に RMR を 1.2 とすると $(1.2 + 1.2) \times 1023.7 \text{ min} \times 1.097 \text{ Cal/min} = 2695 \text{ Cal}$ となる。これらの結果から 1 日当りのエネルギー消費量を求めると 7457 Cal となる。この値は著しく高いが, ウォーミングアップの内容等に関係しているかもしれない。摂取カロリー(図7)は 1425~2450 Cal/day であるから消費量と比較すると, いかに摂取量が少ないかわかる。この差を維持する背景には血液中諸物質の動員が関係している。Shirai²³⁾は持久的運動には多くの脂質利用を予測している。Pruette¹⁹⁾は継続的な運動が極めて多くの脂肪酸動員を引き起こしその動員がかなり長時間続くことを報告している。後藤らは³⁾低強度の運動がより高い脂肪酸動員に関係しているとし, 小野らは¹⁷⁾戸外の長時間歩行を行ない確かに多くの脂肪酸動員のあることを観察している。このように大きな仕事量における血液中物質の変動には特に脂肪酸の動員があり, 主にこの物質の利用が高まっていることを示している。我々の結果でも, 競技翌日の 8 時, 終

了時共に有意な脂肪酸の動員が認められなくともこの動員が持続していた事が予測される。血糖値はこの三回の測定ではほとんど変化がなく, 種々な飲料水の頻度が高かった事が関係している。沖¹⁵⁾は持久運動に対する glucose の重要性を主張している。従ってこの競技のように極めて大きな消費エネルギーを伴う運動では血糖が一定に維持され, しかも脂肪酸の動員が持続する事が生体内でのエネルギー産生につながっていると考えられる。

5. 疾走時間からみた持久性の特徴

表1に示した学生長距離走者が24時間リレーを継続すると, その疾走時間に変動が認められる。1600m 平均疾走時間と標準偏差との間には正の相関 ($r=0.55$) が成立し, 速い疾走時間を示した走者は昼夜の疾走でのばらつきも小さい。この事実は十分鍛練の備った走者は種々の内的及び外的環境変化に対して運動時での身体諸機能の動員ができるようになっていたことを示唆している。又この事実は持久走に対する安定性にもつながっている。1600m の平均疾走時間の変化からみると, 疾走時間延長の始まりに特徴が認められる(図10)。この差は鍛練の量や質に関係しているものと考えられ, 一般の長距離走者では約 8~10km, 学生では 16km でその距離は約 2 倍となっている。この点も走者の持久走をみる 1 つの指標となるであろう。もう一点は各グループの標準偏差の変化からみることができる。±20sec 以内を指標にしてみると, この出現は約 13 回の走行 ($13 \times 1600 = 20.8 \text{ km}$) にある。ところがこの出現には鍛練の差と思われる現象は全くなく, 走行回数あるいは距離に関係することが考えられる。すなわち, 同じトレーニングをこなしていても, この時点の生体負荷に達するとその効果が十分現われている走者と不十分な走者へと区別されるようである。長距離走者のトレーニングがかなりの量となるのはこの事実に関係する要素があるようにも思われる。この二つのポイントを通過した走者は高い持久性, 安定性を示し, 速い疾走時間を示した事になる。ところが, 図11に示したように, 学生長距離走者では, 平均的に速い疾走時間を示したにも拘らず, 一般走者に比べ標準偏差が大きい。この事実は, 質及び量的に高い運動負荷をこなしてい

でも、前述のように十分その効果が出現している走者と不十分な走者が存在していることを示唆している。特に前者はこのような競技において、内的及び外的環境条件の変動に著しく影響されやすいと考えられる。これらの結果から、長距離走者の持久性を評価するには、前述の三点について考慮する必要がある。

V. 摘 要

学生並に一般の長距離走者に“24時間リレー”を負荷し、種々の身体機能の変化を継時的並びに定量的に分析し、次のような結果を得た。

1. 学生長距離走者の 1600m 平均疾走時間の延長は約 8～10 回目 (12.8～16km) で明らかに認められるようになった。この出現には鍛練の差があり、一般の長距離走者では短かく、約 5～6 回目 (8～9.6km) に認められた。

2. 1600m 平均疾走時間とその標準偏差との間には正の相関 ($r=0.55$) があり、その回帰方程式は $y=0.57X-162.3$ であった。一般の走者ではこの相関係数が $r=0.53$ でその回帰方程式は $y=0.348X-93.7$ となり、学生長距離走者では一般走者に比べ疾走時間のばらつきが大きかった。

3. 1600m 疾走時間の大きな標準偏差 (± 20 sec) の出現時期は学生及び一般長距離走者間には差がなく、その約 13 回目 (約 22.4km) であった。

4. 体重減少量並びに 1600m 平均疾走時間の経過は相互に関連しているように思われるが、体重減少量は気温、湿度以外に風力並びに鍛練度の違いに大きな影響を受けた。体重減少の経過には初期とその後の経過とに違いが認められた。初期の体重減少量は最終体重減少量の約 30～70% をしめ、5～6 回 (8～9.6km) まで連続した減少を示した。その後体重の増減を繰り返し、経過も緩やかとなった。この経過を経ない走者は大きな減少を示した。

5. 運動時心拍数は昼夜のどの走行においても 180～189 拍/分に達していた。安静時心拍数には日内変動が明確に認められたが、被験者群では対照群よりいずれの時刻においても高く、収縮期血圧も低下する傾向にあった。

6. 膝蓋腱反射閾値並びに光反応時間には競技

開始初期に充進する傾向が認められた。しかし、前者はその後日内変動を示し、対照群との差は認められなかった。後者ではその後、約 30msec 延長し、競技終了時まで持続していた。しかし、自覚症状の訴え率では総訴え率、身体、精神、神経感覚症状共に 33%、20%、25% となり、酒井の規準をはるかに越えた訴え率となっていた。

7. 学生長距離走者の 1 日当りの摂取カロリーは 1240～2540Cal であったが、消費カロリーを平均速度、総平均疾走時間、Warming-up 時間、安静代謝等を考慮し概算すると 7457Cal であった。この背景には生体内での脂肪酸の動員並びに血糖の維持が関与していることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) Bartlett, G.R. (1959) : Phosphorus assay in column-chromatography. *J. Biol. Chem.* **234**, 466-468.
- 2) Costill, D.L. and Sparks, K.E. (1973) : Rapid fluid replacement following thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.* **34**, 299-303.
- 3) Duncombe, W.G. (1963) : The colorimetric micro-determination of long-chain fatty acids. *Biochem. J.* **88**, 7-10.
- 4) Folch, J., Lees, M. and Sloane Stanley, G.H. (1957) : A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**, 497-509.
- 5) 後藤芳雄, 喜多尚武, 堤 達也 (1975) : 運動強度と血漿 FFA, Triglyceride, Cholesterol, 糖及び乳酸の変動並びにそれらの相互関連について, 体力研究, **28**, 11-25.
- 6) Hill, A.V. (1952) : Energy cost of various activity In : Karpovich, P.V., *Physiology of muscular activity*. 4th Ed., Chap. 7. Saunders. Philadelphia. 89.
- 7) 上岡文雄 (1944) : 体力に関する研究 (18) 膝蓋腱反射の季節変動, 日本生理学会誌, **9**, 596-604.
- 8) 上岡文雄 (1944) : 体力に関する研究 (19) 日常生活並びに運動による膝蓋腱反射閾値の変動, 日本生理学会誌, **9**, 605-613.
- 9) 狩野広之 (1966) : 膝蓋腱反射いき値法による現場調査の規準について, 労働科学, **42**, 88-89.
- 10) 河谷正光 (1955) : マラソン競走に及ぼす環境温

- 度の影響について, 体力科学, **5**, 62-66.
- 11) Kobayashi, Y., Ando, Y., Hosoi, T. and Takeuchi, T. (1976) : Thermal adaptation in highly trained athletes in a hot environment. Japanese. Journal of Physical Education, **21**, 39-54.
 - 12) 増田 允, 八代正雄, 黒坂二助, 濱野丈夫, 井田洋知(1951) : 24時間強歩時に於ける「描線検査法」の実施結果について, 体力科学, **1**, 73-75.
 - 13) 日本体育協会スポーツ科学委員会(1975) : 体重減量に関する研究。第一次研究報告, 日本体育協会研究報告, No.V. 1-23.
 - 14) 小川新吉, 勝田 茂, 中嶋英昭(1968) : 夜行日帰り登山の疲労, 体力科学, **17**, 35-44.
 - 15) 沖 輝道(1960) : 持久運動における精製糖摂取の効果に就いて, 体力科学, **9**, 224-230.
 - 16) 奥津 汪, 木村龍夫, 矢野彦雄, 小林 孝, 根本泰昌(1951) : 24時間強歩時の白血球比率変化に就いて, 体力科学, **1**, 76-78.
 - 17) 小野三嗣, 波多野義夫, 倉田 博(1973) : 25 km 競走が中高年の血圧及び尿所見に及ぼす影響について, 体力科学, **22**, 81-84.
 - 18) 小野三嗣, 山田 茂(1975) : 暴風雨下 26km 急歩の中高年女子の身体に及ぼす影響について, 体力科学, **24**, 25-33.
 - 19) Pruett, E. D. R. (1970) : FFA mobilization during and prolonged severe muscular work in man. J. Appl. Physiol. **29**, 809-810.
 - 20) 酒井嘉子, 狩野広之(1965) : 自覚症状調査における訴え率の規準について, 労働科学, **41**, 390-397.
 - 21) 酒井敏夫, 上岡輝方, 栗原毅夫, 長田善博(1951) : 24時間強歩時の視機能の変化について, 体力科学, **1**, 70-72.
 - 22) Saltin, B. (1964) : Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. J. Appl. Physiol. **19**, 1125-1132.
 - 23) Shirai, I. (1964) : On the energy metabolism in endurable exercise. Proc. XV. International Congress of Sports Medicine. 373-374.
 - 24) Stern, I. and Shapiro, B. (1953) : A rapid and simple method for determination of esterified fatty acids and for total fatty acids in blood. J. Clin. Pathol. **6**, 158-160.
 - 25) 山本 清, 酒井敏夫, 増田 允, 小野木貞久, 上岡輝方, 奥津 汪, 林 義久, 木村龍夫, 能勢 徹 (1951) : 24 時間強歩の体力医学的研究 (2), 体力科学, **1**, 67-69.
 - 26) 山田敏男, 芦田輝子, 田中信雄, 堀 清記 (1978) : 高温環境下の運動訓練の耐熱性に及ぼす影響について, 体力科学, **27**, 100-108.