

女子長距離選手の体力と生体反応 に及ぼすマラソンの影響

大阪体育大学 豊岡 示朗
(共同研究者) 大阪学院大学 高橋 篤志

Effect of Marathon Running on Physical Fitness Scores and Cardio-respiratory Responses

by

Jiro Toyooka
Osaka College of Physical Education
Atsushi Takahashi
Osaka Gakuin University

ABSTRACT

Eighteen female distance runners (18-26 years) were examined before and after a marathon run to provide data concerning physical fitness scores, nervous system, subjective symptoms, muscle soreness and cardio-respiratory recovery from the performance. Each measurement was administered 1-3 days before a marathon race, immediately after and 1, 3, 7 and 14 days following. Post-race changes in physical fitness score (ex. Leg strength, vertical jump and side-step dropped about 6-17%) indicated that the force-velocity relationship of knee extensor had decreased, possibly as results of elevated threshold of patellar reflex and muscle soreness. The frequency of subjective symptoms and muscle soreness were significantly increased 20% and 40% respectively after a race. These variables were returned to pre-marathon levels by 3-7 days.

$\dot{V}E$ and $\dot{V}O_2$ on submaximal running, 30 min. in duration were not significantly changed from the day following race to 2 weeks after, however, HR was higher above 1-24 bts/min. at the given speed for the same peri-

od. From these results, it was suggested that physiological and psychological functions were returned to pre-marathon levels by 7-14 days.

女子マラソンが次期オリンピックの正式種目に採用され、脚光を浴びている。しかしながら、マラソンレースの身体、精神機能に及ぼす一過性の影響やそれら機能の回復状況については、男子ランナーに関する資料もなく、まだ明らかにされていない点が多い。

本研究の目的は、女子長距離選手のマラソンレース前・後、およびその回復過程における体力テストスコア、呼吸循環系反応の動態を明らかにすることにある。

研究方法

1) 被験者：

18～26歳の女子長距離選手18名。

各測定ごとの人数の内訳は、体力テストの参加者14名、自覚的症状・筋疲労の消長に関して18名、呼吸循環系機能の測定に3名であった。各選手の長距離走のトレーニング歴は1～6年であり、測定時のマラソン記録は2時間43分44秒から3時間50分8秒の範囲（平均3時間3分16秒）にあった。測定対象としたマラソンレースは、1981年（第3回）、1982年（第4回）の東京国際女子マラソン、1982年（第1回）、1983年（第2回）の大阪女子マラソンである。

被験者の身体的特徴、競技記録の平均値は表1に示した。

2) 実験内容：

下記のイ)～ハ)の項目について、マラソンレースの1～3日前、レース後約30～40分、レース翌日、3日後、7日後、14日後のほぼ同じ時刻に測定を実施した。

イ) 体力テスト項目：

握力、背筋力、脚筋力、垂直跳、反復横跳、全身反応時間、肺活量、立位体前屈、膝蓋腱反射、フリッカーテスト、脚パワー（等張力スプリング法で測定）⁵⁾

ロ) 自覚的症状の調査：

日本産業衛生協会産業疲労委員会の自覚的症状調査表、身体疲労部位調査表（表2）を用いて身体、精神、神経感覚的疲労および筋疲労の発生部位と消長経過を調べた¹⁰⁾。

ハ) トレッドミル30分間走：

3名の被験者に傾斜0%でのトレッドミル走を毎分140m、180m、220mの速度で各10分間ずつ計30分間実施し、運動開始後、8～9分、9～10分、18～19分、19～20分、および28～29分、29～30分の換気量（ダグラスバッグ法により湿式ガスメータで計量）、酸素摂取量（フクダ医理化製レスピライザー、BM-79で酸素、炭酸ガス濃度を測定）を求めた。なお、標準ガスの較正はショランダー微量ガス分析器で行なった。心拍数は胸部双極誘導で、セノー製ハートチェッカーを用いて

表1 被験者の身体的特徴とベスト記録

	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)	トレーニング 歴 (年)	ベ ス ト 記 録
範 囲	18～26	149～168	40～53	1～6	2°43'44"～3°50'08"
平 均 値	21.8	158.7	48	3.4	3°03'16"

表 2-1 日本産業衛生士協会産業疲労委員会の自覚的症狀調査表¹⁰⁾

	A	B	C
1)	頭が重い……………○	頭がぼんやりする……………○ 頭がのぼせる……………○	目がつかれる……………○ 目がちらちらする……………○ 目がぼんやりする……………○
2)	頭がいたい……………○	考えがまとまらない……………○ 考えるのがいやになる……………○	目がしゅい……………○ 目ががかわく……………○
3)	全身がだるい……………○	1人でいたい……………○ 話をするのがいやになる……………○	動作がぎこちなくなる……………○ 動作がまちがったりする……………○
4)	体のどこかがだるい……………○ 体のどこかがいたい……………○ 体のどこかのすじがつる……………○	いらいらする……………○	足もとがたよりない……………○ ふらつく……………○
5)	肩がこる……………○	ねむくなる……………○	あじがかわる……………○ 臭いがはなにつく……………○
6)	いき苦しい……………○ むなぐるしい……………○	気がちる……………○	めまいがする……………○
7)	足がだるい……………○	物事に熱心になれない……………○	まぶたやその他の筋が びくびくする……………○
8)	つばが出ない……………○ 口がねばる……………○ 口がかわく……………○	一寸した事が思い出せない……………○ どわすれする……………○	耳が遠くなる……………○ 耳なりがする……………○
9)	あくびが出る……………○	する事に自信がない……………○ する事にまちがいが多くなる……………○	手足がふるえる……………○
10)	ひや汗が出る……………○	物事が気にかかる……………○ 物事が心配になる……………○	きちんとしていられない……………○

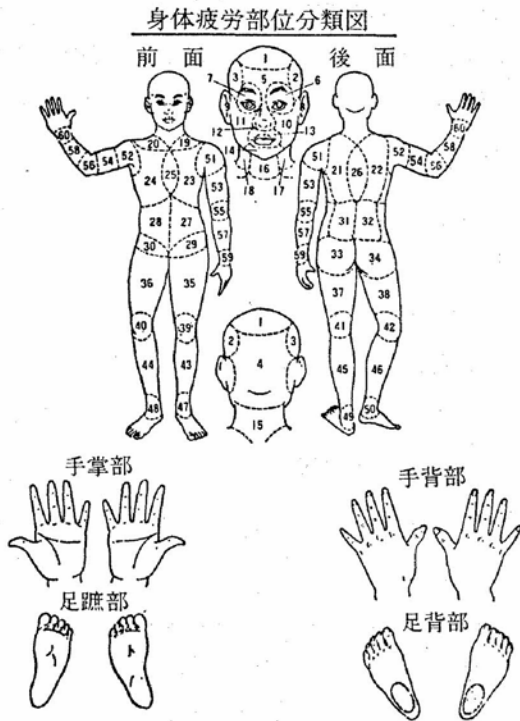


表 2-2 日本産業衛生士協会産業疲労委員会の身体疲労部位調査表¹⁰⁾

1 分間値をテレメータ法で記録した。

なお、このトレッドミル30分間走は、レース直後は実施しなかった。

結 果

1) マラソンレースが体力テストスコアに及ぼす影響

マラソン前後における体力テストスコアの変化を図1～3に示した。握力、背筋力の低下は平均値で、それぞれ0.4kgと4.2kgであり、有意な低下はみられなかった。脚筋力は、被験者全員が著しい減少を示し、平均で6.7kg(約13%、1%水準で有意)レース前の値より低下した。

垂直跳は、13名中2名に1～2cmの増加がみられたが、他の被験者はいずれも減少する傾向に

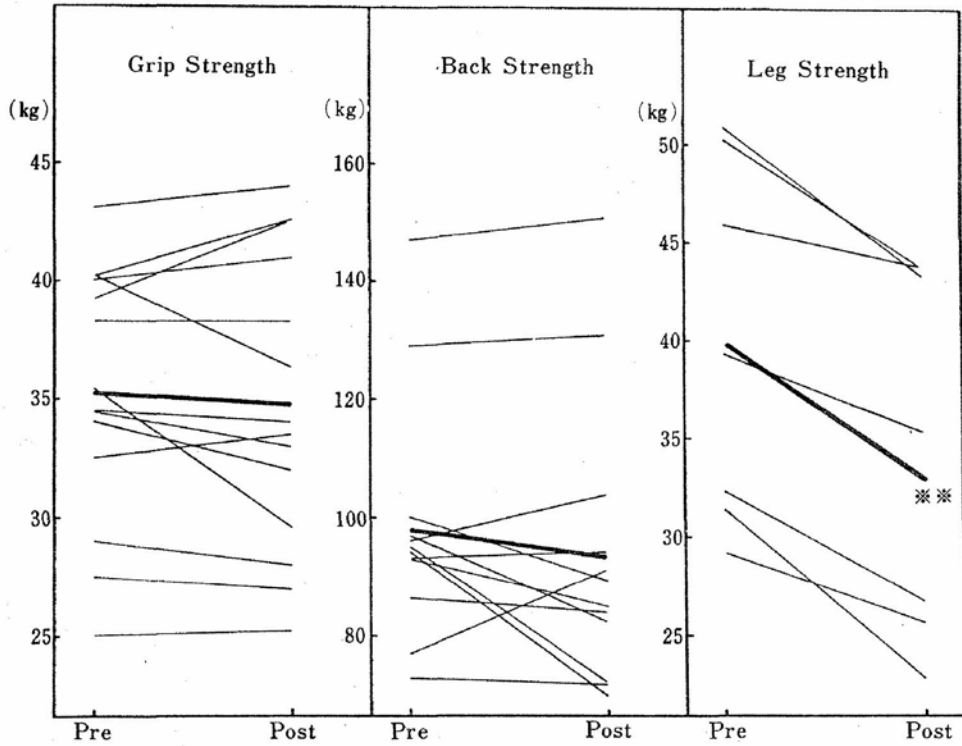


図1 マラソンレースが握力, 背筋力, 脚筋力に及ぼす影響
(細い実線は個人の変化, 太い実線は平均を示す.)

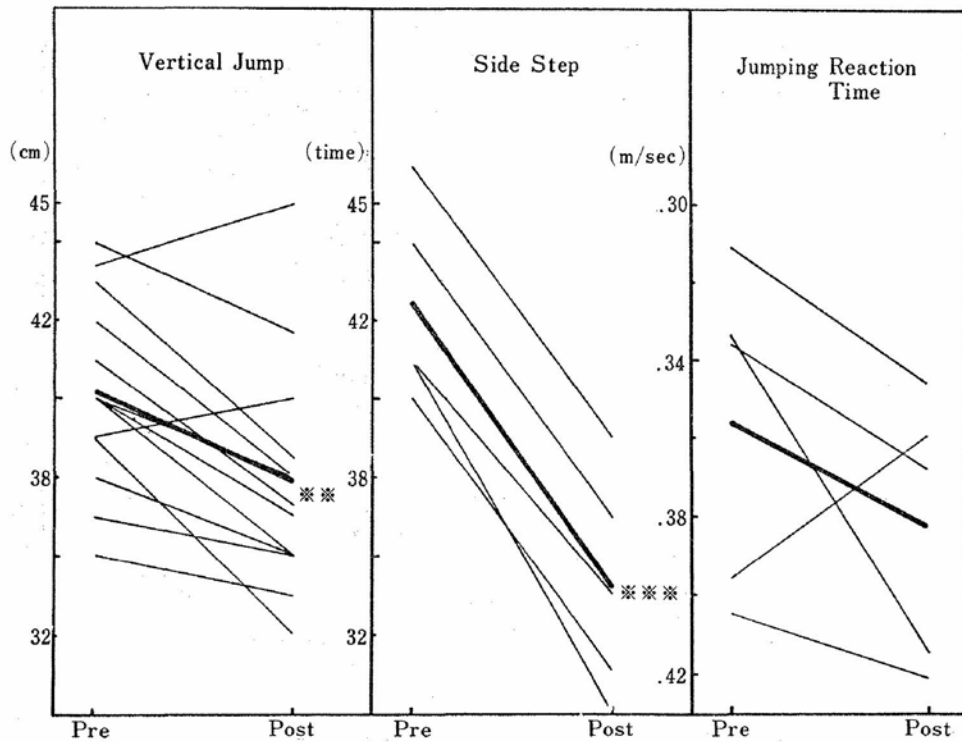


図2 マラソンレースが垂直跳, 反復横跳, 全身反応時間に及ぼす影響

あり, 平均値で約 2cm (1%水準で有意) の低下が認められた. また, 反復横跳も, レース前の平

均42回が35回 (17%減) へ, 立位体前屈は, レース後 2名が増加を示したものの平均値は 16.6cm

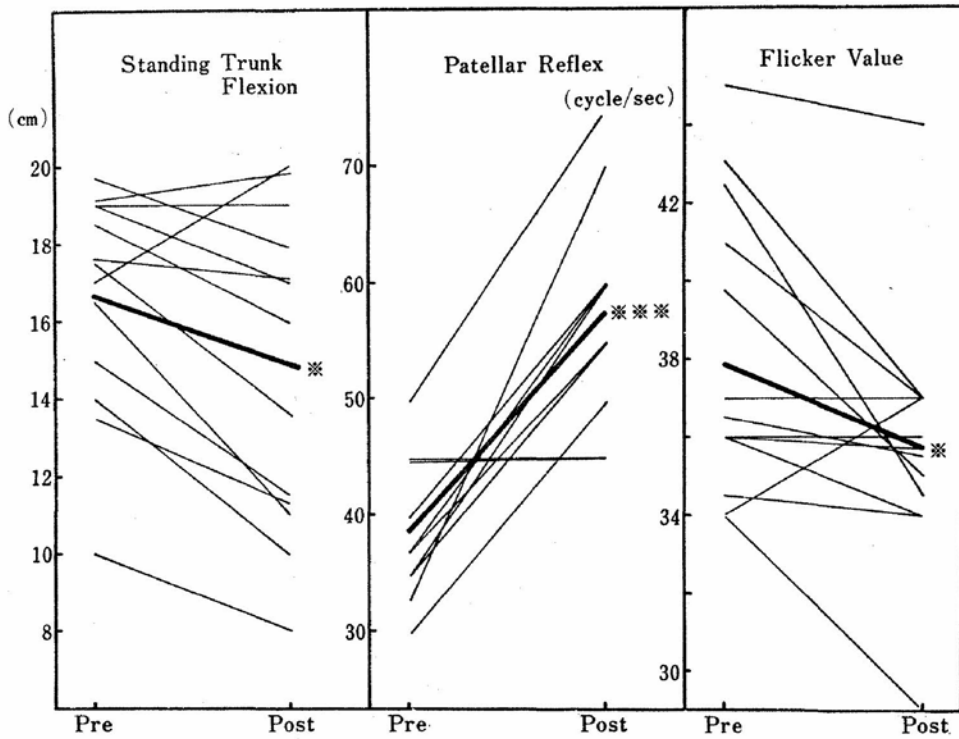


図3 マラソンレース前後における立位体前屈, 膝蓋腱反射, フリッカー値の変化
(※は5%水準, ※※※は0.1%水準で有意なことを示す.)

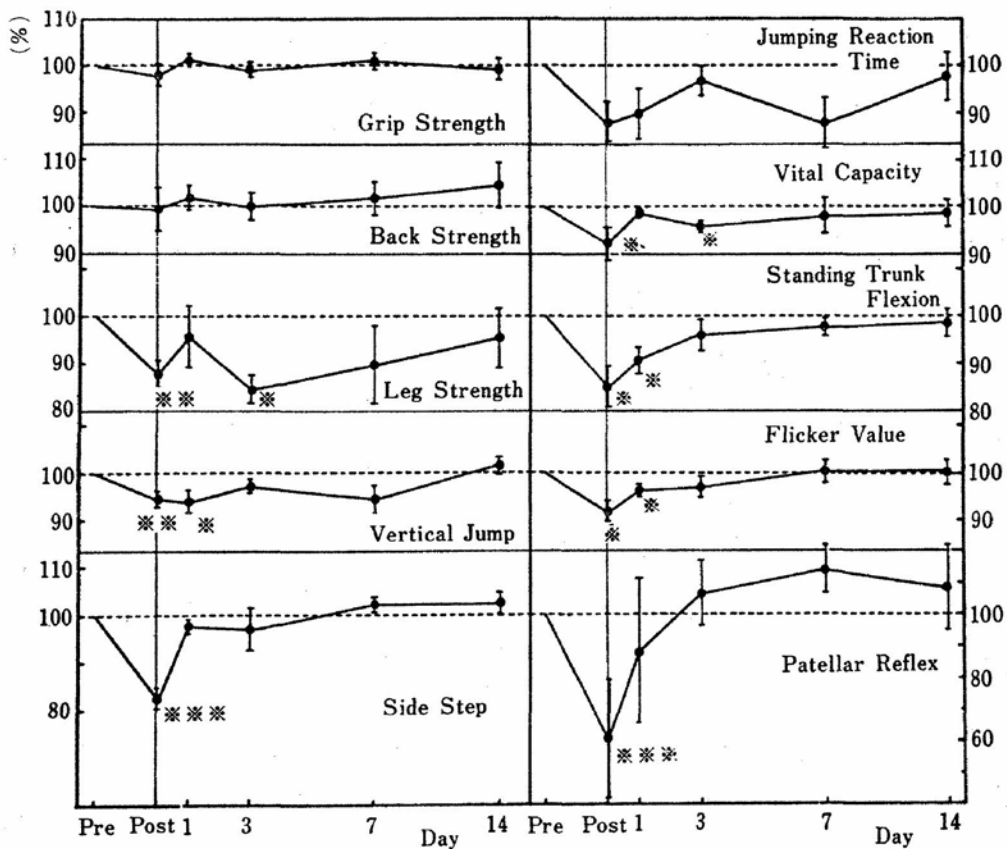


図4 体力テストスコアのマラソンレース後における回復経過
(レース前の値を100%としている.)

から 14.9cm (5% 水準で有意) へと低下した。

末梢・中枢神経系の疲労をみた膝蓋腱反射とフリッカー値は、多少の個人差はあるものの、その閾値はマラソンの影響を著しく受けており (図 3), いずれも有意な変化を示した。

図 4 に、これら体力テスト項目のマラソンレース後における回復経過を、レース前の値を 100% として示した。

回復が最も遅れた項目は脚筋力であり、レース 3 日後でも有意に低く、1 週間後も、その平均値はレース前値より 10% 低かった。

また、垂直跳、立位体前屈、肺活量、フリッカー値などは、レース翌日まで明らかにマラソンの影響が認められたが、レース 3 日後には、ほぼレース前の値に回復した。

2) マラソンレースが自覚的症狀に及ぼす影響とその回復経過

図 5 に、表 2-1 のアンケート調査による各項目 (A, B, C) の発生頻度 ($\frac{\text{総数}}{\text{項目数} \times \text{人数}} \times 100$) を、マラソンレース前後およびその回復過程にわたって示した。

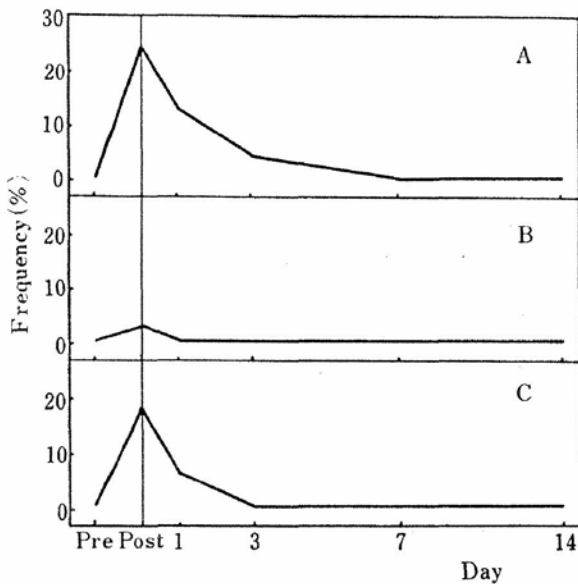


図 5 マラソンによる自覚的症狀の発生頻度の割合とその回復経過 (Aは身体的, Bは精神的, Cは神経感覚的症狀を示す)

Aの項目は身体的, Bは精神的, Cは神経感覚的症狀を表わしており、レース後、最も発生頻度の多い項目は、表 2-1 中Aで 4), Bで 2), Cで 4) であった。発生頻度はレース前の値を引いて示してあり、身体的症狀 24.4%, 神経感覚的症狀 18.3% と幾分低かった。しかしながら、レース前のアンケートで、すでに、身体的症狀 21.6%, 神経感覚的症狀 5% もの発生頻度がみられた。

これら 3 項目の回復状況は、精神的症狀は翌日、神経感覚的症狀は 3 日後、身体的症狀は約 7 日後にレース前の値に回復する傾向が認められた。

3) マラソンレースが身体各部位の疲労発生頻度とその回復経過に与える影響

マラソンレースが身体各部位に及ぼす疲労や筋

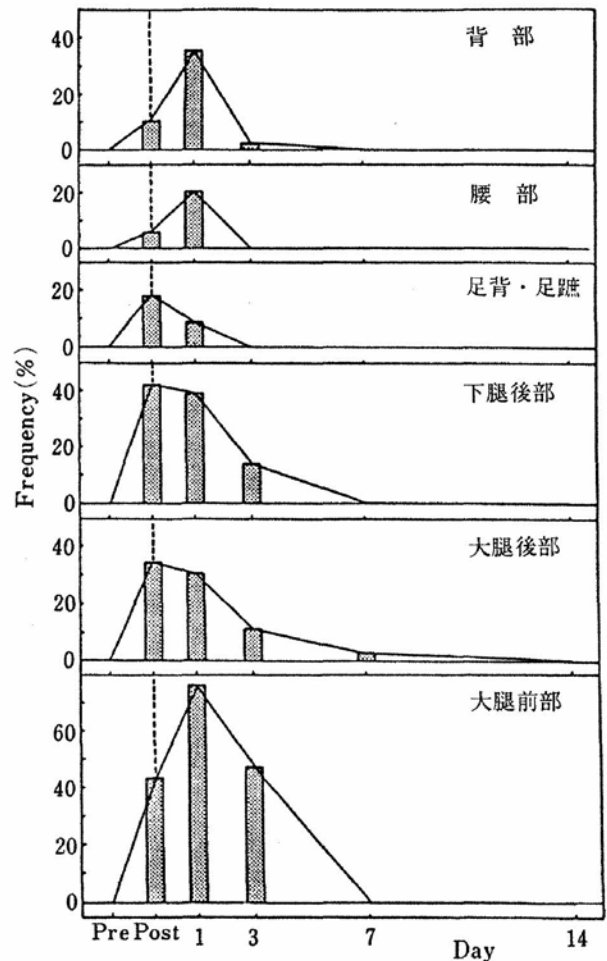


図 6 マラソンレースによる筋疲労の発生部位、頻度およびその消長経過

の痛みを知る目的で実施したアンケート調査 (表 2-2) の結果を図 6 に示した。

図中に示された身体部位は、被験者が最も疲労や痛みを感じた上位 6 カ所であり、発生頻度は、 $(\text{チェックした人数}) \div (\text{総人数}) \times 100$ により求めた。

マラソンレース後、最も疲労の発生頻度が高い部位は、下腿後部と大腿前部で約 40%、次いで大腿後部の順であった。また、背部、腰部、大腿前部の発生頻度は、レースの翌日に痛みのパーセントが増大する傾向がみられた。筋肉痛の消長経過はレース 3 日後に痛みの消える部位 (腰、足背な

ど) も見られたが、多くの部位は 3 日後でも痛みが継続しており、約 1 週間ほどで筋肉痛、筋のシコリなどが取れる傾向にあった。

4) マラソンレースが呼吸循環系機能の回復経過に及ぼす影響

3 名の被験者に 10 分間ずつ 3 種類のトレッドミル走を課し、マラソン翌日、3 日後、7 日後、2 週間後の換気量、酸素摂取量、心拍数をマラソン前の値と比べたものが図 7 である。

換気量、酸素摂取量の回復状況は、レース翌日から 2 週間後の値ともマラソン前の値とほぼ同量であり、マラソンの影響が認められなかった。

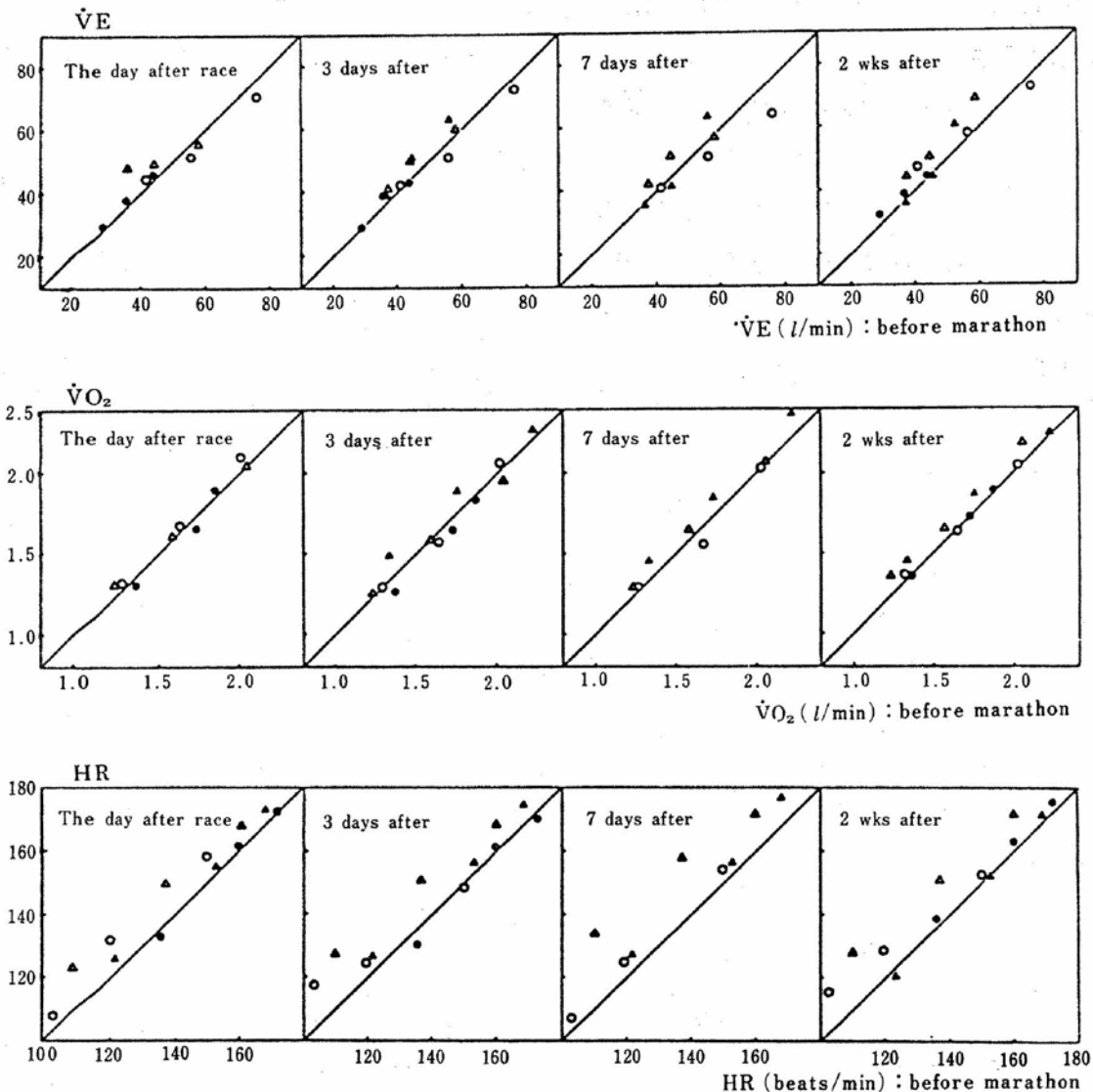


図 7 マラソンレース後の Submaximal running における換気量、酸素摂取量、心拍数の回復経過

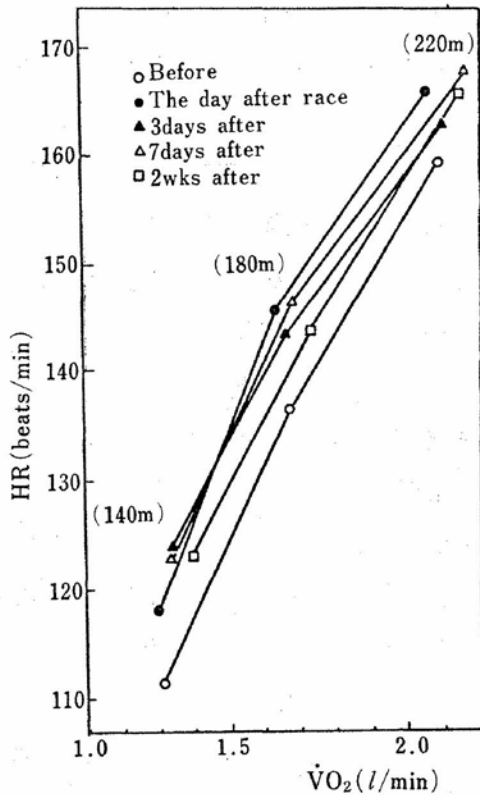


図8 マラソンからの回復期における $\dot{V}O_2$ -HR 関係の変化

心拍数反応は、レース翌日から2週間後の値とも、いずれも等量線より上にあり、同一速度に対して、より高い心拍数であることを示している。

$\dot{V}O_2$ -HR の関係からみた回復経過をみると(図8)、同量の酸素摂取量に対する心拍反応は、レース翌日が最も高く、3日、7日後はレース翌日の $\dot{V}O_2$ -HR 関係とほぼ同様であるが、2週間後はレース前の値にほぼ回復していた。

考 察

42.195 km を走った後で体力テストなどを実施して、ヒトの神経-筋機能をレース前の値と比べることは、マラソンによる一過性の身体への影響を知ることが可能となる。

また、その回復経過を調べることは、諸機能の回復状況を把握でき、レース後のトレーニングや次のレースへの間隔を考える資料として役立つ。

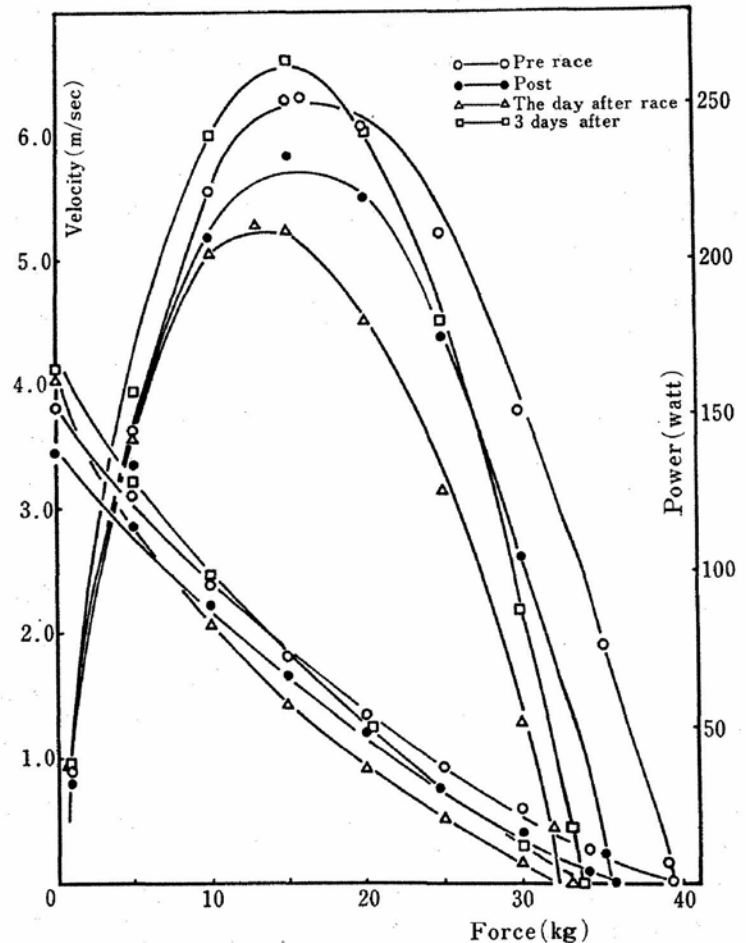


図9 マラソンレース後の膝伸展パワーと力・速度関係の変化およびその回復経過 (被験者 T.T マラソンを3時間3分28秒で完走)

体力テスト項目の中で、マラソンレース後に最も大きな低下を示した項目は、反復横跳(-17.2%)であり、以下、脚筋力(-16.7%)、立位体前屈(-10.2%)、垂直跳(-5.5%)の順であった。

マラソンレース後、随意収縮によって発揮された最大筋力とパワーが、握力、背筋力といった形では変化が少なく、脚筋力や脚パワーで顕著に低下していることは興味深い。

Scherrer と Mond は、疲労の機構を三つの系としてとらえ、それらは1)収縮系、2)伝達系3)エネルギー系であることを示している¹¹⁾。

また、Karpovich と Sinning は、疲労の発現部位を末梢性疲労の場合(筋線維、運動神経終

板, 運動神経線維, 脊髄のシナプス), 中枢性疲労の場合(上位, 中位の神経細胞, 知覚神経末端)としている⁶⁾.

このような疲労のまとめ方を参考にすると身体部位の違いによる筋力発揮の差は, フリッカー値や膝蓋腱反射の測定値からみると, 中枢性疲労より末梢性疲労の影響によるものと推察される.

ランニングのピッチごとによる衝撃力(地面反力)は, 体重の約2.5~3倍であり, マラソンを完走すると, 体重50kgのランナーの場合, 片脚に1,400トン以上もの負荷が加わったことになる⁹⁾. このような負荷刺激が末梢性疲労を導き, 脚筋の筋線維収縮力の減少を引き起こしたものと思われる. レース後の筋の痛みやしこりなども, 図6に示したように, 大腿四頭筋(前部), 下腿後面に集中している.

一例ではあるが, 図9に示した女子ランナー(マラソンを3時間3分28秒で走行, パワーの測定はその2時間後)の膝伸筋群の力-速度関係は最大脚伸展力と最大スピードの約10%減少(最大パワーは7%減)を明確に示している.

回復横跳, 垂直跳といったパフォーマンスで示される項目の減少の主因も, 末梢性疲労から生じた力-速度関係の低下によるものと推察される. だが, 反復横跳や垂直跳の場合, マラソンレースによって生じた足裏のマメという要因をその低下率の一部に加える必要がある. 特に, 反復横跳の場合, レース後, 測定出来た被験者は14名中5名であり, また, その低下回数も20秒間という測定時間で6~9回と, 極めて大きかった.

体力テストスコアや神経機能のマラソンからの回復経過をみると, レース3日後ではほとんどの項目(脚筋力を除く)が統計的にはレース前値へ戻った.

しかしながら, 自覚的症狀, 主観的な筋の痛みやしこりの回復状況は, 精神・神経感覚症狀が2~3日, 身体的症狀や筋肉痛などは, 部位にもよ

るが, 約7日ほど日数を要して回復しており, 自覚的な回復と機能面の回復との間に多少のズレがみられた.

マラソンレースによる筋肉痛の発生部位は大腿四頭筋, 大腿後面, 下腿後面に顕著であった. 筋肉痛に関するこれまでの研究によると, 伸張性筋収縮による筋肉痛は, 短縮性より大きいこと, 下り坂ランニングの筋肉痛は水平ランニングより大きく, 筋肉痛のピークは, 運動後, 24~48時間であることが指摘されている^{1,2)}.

本研究では, ランニングに作用している短縮性, 伸張性筋肉部位に痛みの発生頻度の差は認められなかった. それは痛みの強さを知る rating 法を用いなかったことによるかもしれない¹⁾. 筋肉痛の発生頻度のピークは, 大腿四頭筋, 背部, 腰部でレース翌日にみられた.

大腿四頭筋はランニング中, 主に, 伸張性収縮をしており, この収縮様式の痛みが24~48時間後に最大になるという筋力トレーニングの報告とよく一致している^{1,12)}. また, 腰, 背部という姿勢の保持に働く筋群も, 疲労や痛みが遅延する性質を持っているのかもしれない. 図9に示した力-速度関係は, レース後より翌日の値の方が低下しており, 特に最大脚パワーは, レース前値より約50 watt も減少していた. 多分, 筋の痛みがピークに達していると思われ, それが大きく関与していると考えられる.

過度の身体運動の結果としておこる筋肉痛の原因は, 1) 筋線維を引き裂くような組織損傷, 2) 局所的筋痙縮, 3) 筋線維や腱をとりまく結合組織の損傷——であると報告されている^{1,12)}.

マラソンを完走した場合, 脚筋は2万9千回以上も伸張, 短縮性収縮をくりかえし, かつ, ピッチごとに体重の2~3倍の重量が負荷となっている. この“持久的反復刺激”が上述の要因を引き起こし, 筋に痛みをもたらしたのであろう.

マラソンレース以後の Submaximal running における呼吸循環系の回復経過は、図 7 に示したように、換気量、酸素摂取量とも、レース翌日から 2 週間後まで、レース前の値とほとんど変わらなかった。Noble らも、男子マラソンランナーのレース 2～3 日後の最大下走における換気量、酸素摂取量にレース前値と差がないことを報告している⁹⁾。

しかしながら、心拍反応はレース翌日から 2 週間後まで、いずれの被験者とも、レース前より高い値を示した。レース翌日や 3 日後までの心拍数高進は、フリッカー値の変化からみて中枢神経系の疲労、また筋や関節の痛み、Maron らが指摘しているエピネフリンの増大や血液希釈症状が原因として挙げられる⁹⁾。だが、1～2 週間後まで高い理由は、上述の原因がその期間内で回復しているだけによくわからない。ただ、2 週間後、3 名中 2 名は風邪気味であった。

本研究結果とマラソンに関する文献を基にして、マラソンからの諸機能の回復状況をまとめると、次のようになる。

- 1) 体力テストスコアと神経機能は、レース後 3 日から 7 日でほぼ回復する。
- 2) 自覚的症状や筋肉痛の発生頻度は、約 1 週間でレース前値へ戻る。
- 3) 呼吸系、酸化過程は、レースの影響が少ない⁹⁾。
- 4) 最大酸素摂取量は、レース 2 週間後でレース前と変わらない⁹⁾。
- 5) 肝機能や血清酵素反応は、レース後 1～2 週間で回復する⁴⁾。

上述の総括に基づくと、レース後約 2 週間で生理的、心理的項目は回復しており、機能的には再びマラソンを走れる状態にあると示唆される。だが、試合レベル、競技者の鍛練度、自分を追い込む能力によって、その回復状況が変わってくると予測される。

マラソンレースの間隔は、それに対するトレーニングの準備期間、試合に対する意欲、高いレベルの記録樹立を考えると、本研究で明らかになった回復期間（2 週間）以上に置くことが必要であろう。現場のコーチは約 3 カ月程の間隔を勧めている¹³⁾。

結 論

マラソンレース前・後およびその回復過程における体力テストスコア、神経機能、自覚的症状、筋肉の痛み、呼吸循環系反応の動態を明らかにするため、18 名の女子長距離選手について各種機能を 2 週間にわたって測定し、次の結果を得た。

1) マラソンレース直後の体力テスト項目の低下の度合には、個人差がみられた。有意な低下を示した項目は、脚筋力 (39.7kg→33.0kg, 17% 減)、反復横跳 (42回→35回, 17% 減)、垂直跳 (40cm→37.8cm, 5.5% 減)、立位体前屈 (16.6cm→14.9cm, 10% 減) であり、フリッカー値と膝蓋腱反射の閾値も有意な変化を示した。

2) アンケート調査による自覚的症状では、精神的症状に大きな変化はみられなかったが、身体的症状、神経感覚的症状とも約 20% 増大した。

3) 筋の痛みやシコリの発生頻度は、レース直後より、翌日に多い傾向となり、その部位は、大腿四頭筋、背部、腰部に集中した。

4) これらの測定項目がレース前値に回復するには (項目や部位によって異なるが)、約 3～7 日を要した。

5) レース翌日から 2 週間にいたる Submaximal 走の換気量、酸素摂取量は、レース前値との差は認められなかったが、心拍数は約 1～24 拍/分高い傾向がみられた。 $\dot{V}O_2$ -HR 関係のレース前への回復には、個人差もあるが、1～2 週間を要した。

6) 上述の結果から、マラソン後の生理・心理的機能は、1～2 週間でレース前の状態へ回復し

ていると示唆された。

文 献

- 1) Abraham, W.M.; Factors in delayed muscle soreness. *Med. & Sci. in sports*, Vol. 9 (1) : 11—20 (1977)
- 2) Abraham, W.M.; Exercise-induced muscle soreness. *Phy. Sportmed.*, 7 : 57—60 (1970)
- 3) 淵本隆文, 宍倉保雄, 金子公宥; 短距離選手と長距離選手の等速度ランニングにおける機械的仕事, 大体大紀要, 12巻 : 73—78 (1980)
- 4) 平田文夫; マラソンの肝機能に及ぼす影響, デサントスポーツ科学, Vol. 4 : 68—75 (1982)
- 5) 金子公宥, 淵本隆文, 四方靖行; 等張カスプリングによる脚筋パワー測定法の開発とその応用, (体育の科学) 投稿中
- 6) Karpovich, P.V. and W.E. Sinning; Physiology of Muscular Activity. W.B. Saunders (1971)
- 7) Margaria, R.; Positive and negative work performances and their efficiencies in human locomotion. in Cumming GR, Snidal D. Taylor AW (ed); Environmental Effects on work performance, Edomonton, Univ. of Alberta printing service, 215—228 (1972)
- 8) Maron, M.B., S.M. Horvath, and J.E. Wilkerson; Blood Biochemical Alterations during Recovery from Competitive Marathon Running. *Europ. J. appl. physiol.*, 36 : 231—238 (1977)
- 9) Noble, B.J., C.M. Maresh, T.G. Allison and A. Drash; Cardio-respiratory and perceptual recovery from a marathon run. *Medicine & Science in sports*, Vol. 3 : 239—243 (1979)
- 10) 大島正光; スポーツと疲労・栄養, スポーツ科学講座 4 : 22—31, 大修館, 1965
- 11) Scherrer, J. et H. Mond; Le travail musculaire local et la fatigue chez l'homme. *J. physiol.*, (Paris). 52 : 419—501 (1960)
- 12) Schwane. J.A., B.G. Watrous, S.R. Johnson, B. Robert and B. Armstrong; Is lactic Acid Related to Delayed-Onset Muscle Soreness? *The Physician & sportsmedicine*, Vol. 11 (3) : 124—131 (1983)
- 13) 高橋進, 西田勝雄; Marathon, 156—169, 講談社 (1981)