

昭和58年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.VIII 運動時における体温の動的様相

——第6報 ロサンゼルスオリンピック大会時における
環境条件を想定してのマラソン走行中の体温について——

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告

No.VIII 運動時における体温の動的様相

—第6報 ロサンゼルスオリンピック大会時における 環境条件を想定してのマラソン走行中の体温について—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

雨宮輝也 黒田善雄 塚越克己
伊藤静夫 金子敬二 金子美智子

I. 目的

1984年ロサンゼルスオリンピック大会は7月28日～8月12日の夏季、アメリカロサンゼルス市を中心に開催されることがすでに決定している。ロサンゼルス市のこの期間の気象関係のデータを入力し調べてみると、相当高温環境であることが判明した。マラソン、長距離、競歩、自転車ロードなどの競技種目には運動と気温という2つのストレスが生体に加わって競技成績に多大な影響を及ぼすことが推察される。

これまで気温とマラソンの関係について、加賀谷らの各種マラソン大会における成績への気温の影響を調べたものがある¹⁾。これによると、同一個人がいろいろな気温条件の時に走った記録をみると、気温が高いほど記録は低下する傾向がみられ、特に20℃をこえると、記録は著しく低下する。従ってマラソン競技で温度の影響を受けずに好記録の期待できるのは、15℃以下であると述べている。したがってマラソン競技における環境条件として20℃はもはや高温環境であるとされている。

ロサンゼルスオリンピック大会のマラソン競技は男女とも陸上競技関係者のみならず誰もが入賞を期待している種目のひとつではないかと思われる。そこで今回我々は温度、湿度調節室を利用してロサンゼルスオリンピック大会時におけるマラソン競技の環境条件を想定し、体温の動的様相と

いった観点からマラソン走行実験を実施し、その対策を検討してみた。

II. 方法

1. 被検者

被検者はこれまで国内の正式なマラソン大会に出場経験のある男子3名、女子1名である。被検者の身体特性並びに $\dot{V}O_2\max$ 、マラソンの自己最高記録は表1に示した。 $\dot{V}O_2\max$ はトレッドミル速度漸増法によって求めたもので、男子は63.80～72.43ml/kg/minの範囲にあり女子1名は61.10ml/kg/minであった。

マラソンの競技成績は2時間23分12秒～2時間28分15秒で日本の一流選手の記録より劣っているが、女子の記録2時間52分23秒はわが国女子マラソン選手のトップクラスにランクされるものである。

2. 実験条件

環境条件である温度、湿度の設定については、先づロサンゼルス市の気象条件を正確に把握する必要がある。被検者の身体特性

被検者	年齢 歳	体重 kg	身長 cm	$\dot{V}O_2\max$ ml/kg/min	マラソン自己 最高記録
♂M.S	22	58.3	172.1	72.43	2'27'29"
♂J.Y	25	65.1	176.0	63.80	2'28'15"
♂T.I	24	58.2	165.5	69.15	2'23'12"
♀E.A	23	42.0	149.5	61.10	2'52'23"

要がある。そこでロサンゼルスオリンピック組織委員会に要請しオリンピック期間中のロサンゼルス市の気象関係の資料を入手した。図1は1976～1980年の5年間にわたるオリンピック期間中の温度と湿度の一日の変化を示したものである。この資料をもとに組織委員会から発表された女子のマラソンスタート時間午前9時、男子午後5時からゴールインする時間の温度変化を検討し、男子は2時間走行中に26～21℃に変化させる条件を設定した。女子については23℃から28℃に変化させる条件とした。またこの時間帯の平均と思われる24℃一定(女子26℃一定)とマラソン走行であまり環境条件が影響されない低温環境として15℃一定の3条件を用いた。(その後、組織委員会はマラソンのスタート時間を女子8時、男子17時15分に変更した。)

運動はトレッドミルでの2時間走とし、その時のランニングスピードは男子の場合被検者によってことなるが、250, 260, 270 m/min, 女子は225 m/minの一定スピードである。

運動中の水分補給については実際のマラソン競技の状況に近づけるため、競技規則で許可されている給水所を想定し、走行開始後30分以降15分ご

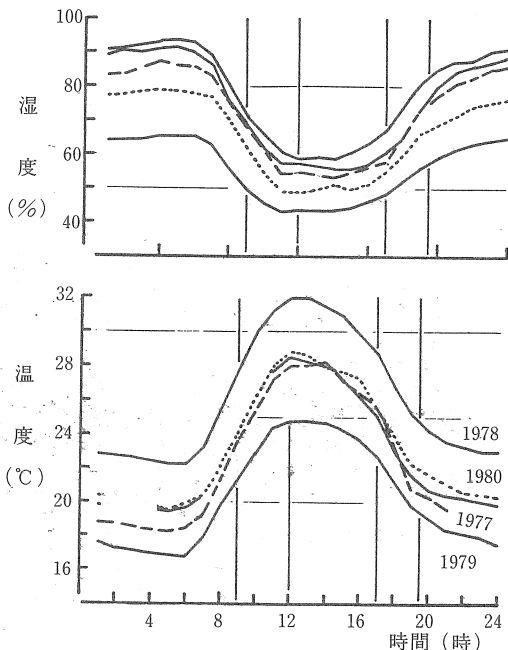


図1 ロサンゼルスオリンピック大会期間中における一日の温度、湿度変化(1976～1980年)

と(30, 45, 60, 75, 90, 115分)計6回、被検者の希望する量を自由に飲ませた。摂取する水は水道水を用いた。実験期間は1983年7月～8月上旬の1ヵ月以上の期間にわたり、1被検者に3回実施したので各温度条件での走行間隔は最低1週間の間隔をおいて実施した。

3. 測定項目

測定項目は走行前後の体重、直腸温、皮膚温、心拍数、酸素摂取量である。

体重は最小目盛5gの人体用精密台秤(神戸衡機株式会社製)を用いて走行の前後裸体で測定した。直腸温及び皮膚温はサーミスタ温度計(宝工業製サーミスタデータ集録装置K700)によって1分間隔に連続記録した。皮膚温は胸部、前腕部、大腿部、下腿部の4点を測定し、平均皮膚温を算出した。平均皮膚温の算出はRamanathanの次式によって求めた。¹²⁾

$$\text{平均皮膚温}(\bar{T}_s) = 0.3 \times (\text{胸部} + \text{上腕}) + 0.2 \times (\text{大腿} + \text{下腿})$$

心拍数は胸部双極誘導による心電図を走行中連続記録して求めた。酸素摂取量はダグラスバック法で30分ごとに採気し、呼気分析はウエストロン社製の質量分析型呼気ガス分析装置(WMBS1300)を使用した。なお較正にはショランダー微量ガス分析器を用いて行なった。

被検者の走行時における服装は上半身裸でパンツとランニングシューズを着けたのみであった。ただし女子の被検者は上半身はTシャツを着装させた。

III 結果と考察

1984年の夏季に実施されることが決定したロサンゼルスオリンピック大会のマラソン競技に焦点をしばり、マラソンと環境条件という観点から本研究を実施した。

マラソン選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ についてはこれまで数多くの報告例がみられ、スポーツ選手の中で最も持久性能力がすぐれているとされている⁹⁾。今回の被検者の $\dot{V}O_2\text{max}$ のレベルは表1に示すように女子を除き必ずしも日本の一流選手の水準にあるとは思われない。従ってマラソンの記録も2時間20分台であり、このレベルの $\dot{V}O_2\text{max}$ では2時間15分前後で走行するのは無理であると思われる。2時間

10分を切るためには $\dot{V}O_2\max$ が高いことと同時にマラソンレース中の高い酸素摂取水準($\% \dot{V}O_2\max$)の維持能力にすぐれていることが要求される^{3),4)}。これまでの研究でマラソンレース中の $\% \dot{V}O_2\max$ は

表2 運動強度と体重減少率

被検者	運動負荷強度		体重減少率(%)		
	ランニング スピード (m/min)	$\% \dot{V}O_2\max$	環境温度		
			24℃ 26℃	♂26→21℃ ♀23→28℃	15℃
♂M.S	250	62.4	3.90	3.50	2.55
♂J.Y	260	79.5	4.71	4.14	3.52
♂T.I	270	76.0	3.13	4.30	3.39
♀E.A	225	67.1	3.50	3.48	2.32

80~85% $\dot{V}O_2\max$ のレベルであると報告されている⁵⁾。今回の実験結果は表2に示すごとく62.4~79.5% $\dot{V}O_2\max$ であった。従って実際のレースと比較すると若干低い% $\dot{V}O_2\max$ での走行であった。なお3温度条件による% $\dot{V}O_2\max$ についてはほとんど差が認められなかった。

体重減少率は表2に示すごとく被検者によってことなるが2~5%の範囲であった。すなわち15

℃が最も少く(男子3名の平均で3.15%)次いでロサンゼルス温度条件(3.98%)で24℃一定の場合が最も高い減少率を示す傾向がみられた。なお被検者T.Iの24℃一定の条件は体調が悪く1時間17分で走行を打切ったため、少い減少率であった。被検者E.Aの場合26℃とロサンゼルス温度条件が3.50%、3.48%とほぼ等しい減少率。15℃一定の温度条件は明らかに少なく2.32%であった。

実際のマラソンレース時における体重減少率の報告はこれまで数多くありMaronとHorvathがこれらをまとめ平均2.78kg、4.15%であると述べている⁶⁾。本実験結果、特にロサンゼルス温度条件と比較してみると、2時間の走行で4.30%の体重減少量を示したものもある。実際のレースの運動強度は80% $\dot{V}O_2\max$ 以上に相当することが考えられ、しかも2時間15分程度の走行時間を予想するならば、ロサンゼルス大会での体重減少量は4.30%以上以上の値になると思われる。

走行中に補給した飲水量については図2に示した。走行途中の1回の量と2時間の合計量を個人ごとに分けてみたのであるが、各被検者とも15分ごとに必ず水分補給をしていた。男子の被検者(M.S, J.Y, T.I)の場合24℃一定とロサンゼルス条件はあまり変わらないが、女子の被検者E.Aはロサンゼルス条件が明らかに多い傾向がみられた。このことは温度条件からいっても女子の環境条件がより厳しくて後半28℃に上昇するためより多くの水分の補給は必要なことと思われる。

実際のマラソンレースにおける水分補給の実態をみると、競技成績の上位者ほど飲水量が少ない

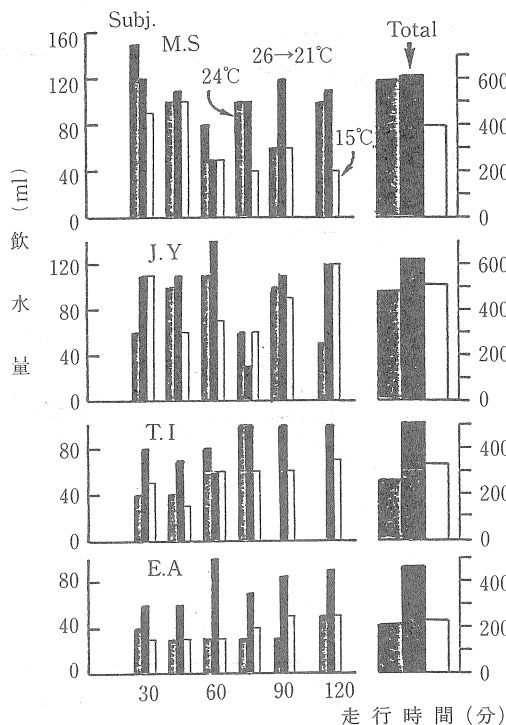


図2 各温度条件での水分補給量

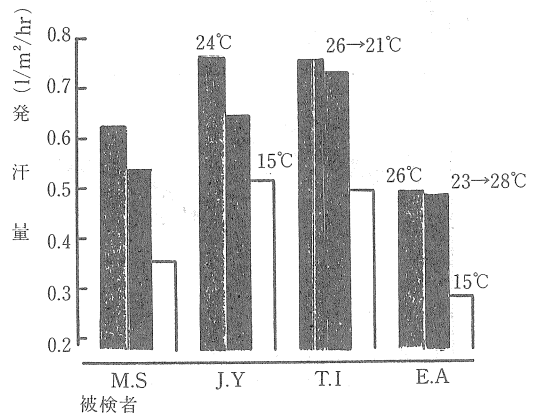


図3 3温度条件での発汗量の比較

という報告がみられる^{7),8)}このことはおそらく体液不足たいる生理的適応がよく、鍛練された競技者ほど優れているのではないと思われる。しかしながら、レース時の環境条件の高低によって水分補給量の要求は当然こととなっていることは明らかである。従ってこれまでのロサンゼルス²⁾の温度条件から推察するならば、男女とも早い時期から水分補給をすることが必要であると思われる。

図3は体表面積当りの発汗量を示したものであるが、男子の場合3名とも24℃一定が他の2条件より多いが、被検者E.Aは26℃一定とロサンゼルス²⁾の条件がほぼ等しい量であった。発汗量からみても明らかに15℃一定は少い傾向にあった。

走行中の心拍数変動については図4に示すごとくである。走行中の心拍数変動で特に注目されるのは被検者J.Yである。運動強度が80% $\dot{V}O_2\max$ と高いため、温度条件を変えても他の被検者と異なりいずれも高い水準での心拍数変動であった。被検者J.Yは本実験の被検者の中では $\dot{V}O_2\max$ も低く、競技成績も劣っていた。おそらく有酸素的作業能からみても、一流競技選手の水準になく、長時間作業時の心臓、血管系の恒恒性が期持できないのではなかろうか。被検者T.Iが24℃一定の条件で走行した際の心拍数変動は15℃一定の条件と同じパターンを経て1時間17分で走行不能になり打

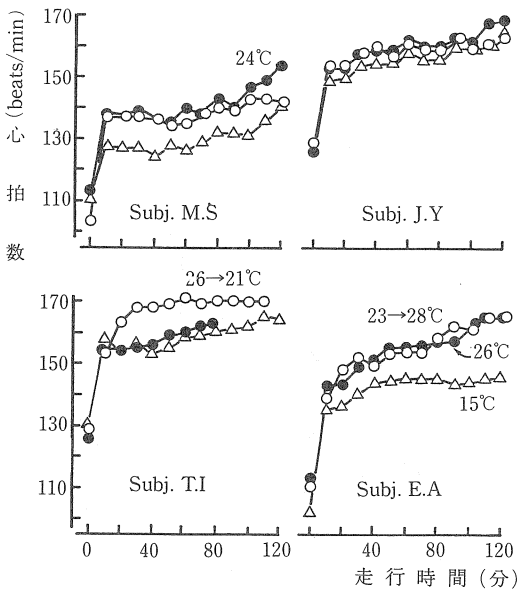


図4 走行中の心拍数変動

切った。走行を中止せざるをえなかった理由は明確でなく心拍数変動からは不明である。被検者E.Aは明らかに15℃一定は低く140～145拍/分で定常状態にあるが、他の2温度条件は時間経過に伴い上昇傾向にあり運動終了時は165拍/分であった。

体温の変化については直腸温の変動を図5、6に示した。運動中に耐えられる直腸温の上限は41.5～42℃ぐらいまで可能であるとされている。図5の被検者M.SとJ.Yを比べてみると、被検者M.S(62.4% $\dot{V}O_2\max$)は24℃一定が運動開始時から0.4℃高い値を示しているがその後の時間経過に伴う変動は他の2条件同様、定常状態を保ち、運動開始後90分以後2次的増加も著しくない。一方被検者J.Y(79.5% $\dot{V}O_2\max$)は特に24℃一定が走行開始30分ですでに39℃に増加し走行開始90分以降2次的上昇が著しく2時間の終了時は39.3℃まで上昇した。被検者の走行後における内省報告によるとロサンゼルス²⁾の温度条件での走行は60分位い経過から、走行開始時よりも涼しくなったような気がするとの報告を受けた。直腸温が

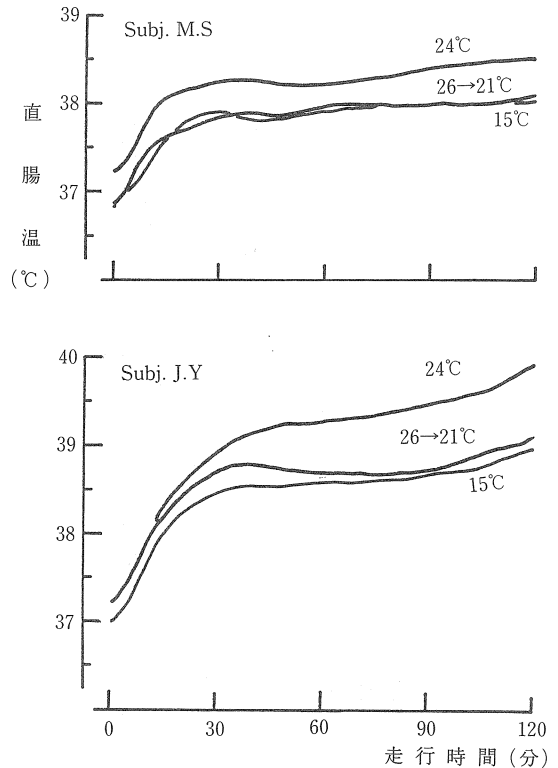


図5 走行中の直腸温の変動(男子)

定常状態にあった様相と合致した。しかし90分経過後は、また漸次増加の様相がみられた。

被検者E.A (67.1% $\dot{V}O_2\text{max}$) の場合は26℃一定とロサンゼルス条件が同じような変動を示しているが、走行開始90分以降からロサンゼルス条件の上昇カーブが急勾配になる傾向がみられる。

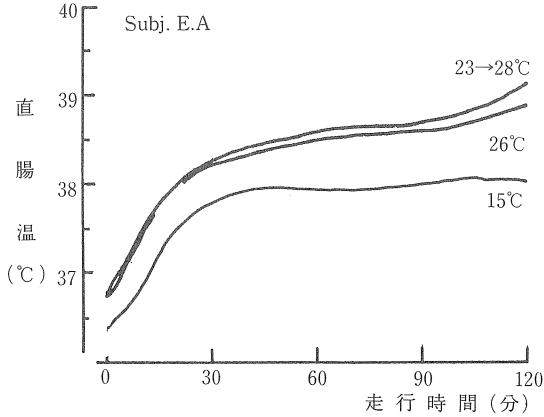


図6 走行中の直腸温の変動(女子)

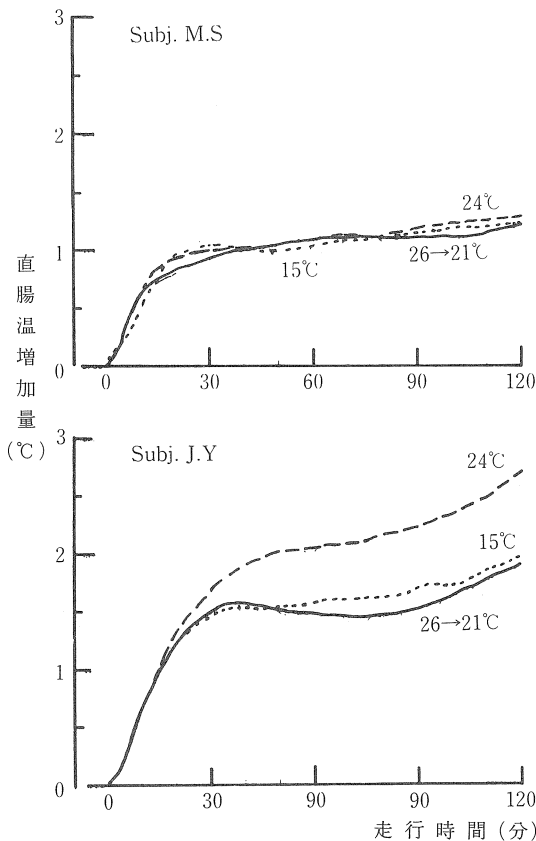


図7 直腸温の増加量の変動

おそらく28℃と高温環境下で産熱量が一定な運動を継続していると、当然外部環境温度が高いほど、熱放散が困難にならざるをえないだろう。このことはレースの後半外気温が上って、走行する選手に相当厳しいストレスが生体に負担を与えていくものと思われる。

そこで直腸温のスタート時からの増加量をみると図7、8のようになる。図7は男子の被検者M.SとJ.Yであるが、M.Sは3温度条件とも類似の傾向にあり1.3℃の増加であった。M.Sの運動強度は62.4% $\dot{V}O_2\text{max}$ であったので相当余裕をもった走行であったことが、直腸温や心拍数の変動にもその影響がみられた。被検者J.Yの増加量は15℃一定は2.0℃、ロサンゼルス条件は1.9℃、24℃一定は2.7℃であった。

しかしながら図5で指摘したごとく運動開始90分以降の後半2次的増加がどの温度条件においてもみられる。特に24℃一定の高温条件が著しい。

一方被検者E.Aについては15℃が1.6℃、26℃が2.1℃、ロサンゼルス温度条件が2.4℃で運動の後半温度が上昇するロサンゼルス条件が最も増加量が大きかった。しかも、図7の被検者J.Yと同様、運動開始90分以降の2次的増加の点でロサンゼルス温度条件が著しい。従って、女子のマラソンのペース配分については、当日の気象条件を考慮して、前半のオーバースペースには十分注意しなければならないだろう。河谷は⁹⁾気温15℃、湿度70%の条件でマラソンを2時間20~30分で走行する場合熱の発生と熱の放散はつり合うが、気温が20℃

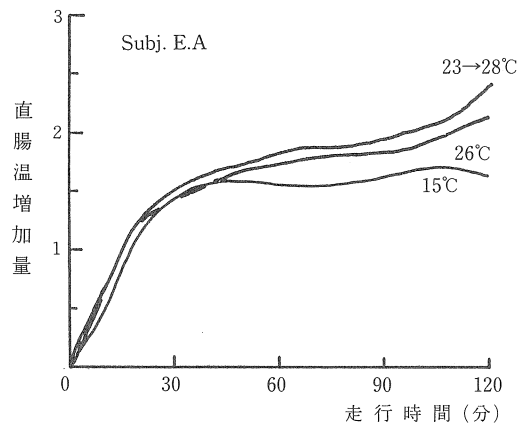


図8 直腸温の増加量の変動

に上昇すると1時間に体温は1.5℃、25℃に上昇すると2.1℃増加すると報告している。このように、外気温の上昇に伴う、体温の増加は著しくスピードの減少による熱の発生をおさえるしか方法はなくなってくる。

走行中の平均皮つ温は図9、10に示した。図9の被検者M.S、J.Yともに15℃一定の条件は明らかに低く、運動開始から終了まであまり顕著な変動は認められなかった。被検者M.Sは24℃一定が最も高いが、被検者S.Yは、24℃一定とロサンゼルス温度条件が運動開始から50分まではロサンゼルス温度条件が多少高い値であったが、50分以降運動終了まで同じ様相を示した。しかし図10の被検者E.Aはロサンゼルス温度条件が走行開始60分以降26℃一定の条件より高くなり、わずかな上昇傾向がみられた。ふたつ温度条件における発汗量はほぼ等しく、水分補給量はロサンゼルス温度条件が2時間の総量と比較しても約221%と多く摂取し、脱水による発汗量の減少を補ぎになっているが、高温環境により影響され、運動後半平均皮膚温も上昇せざるをえなかったのではないかとと思われる。

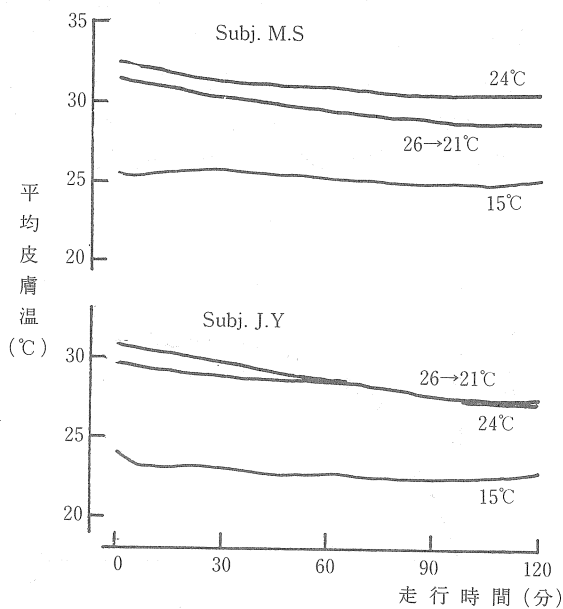


図9 平均皮膚温の変動 (男子)

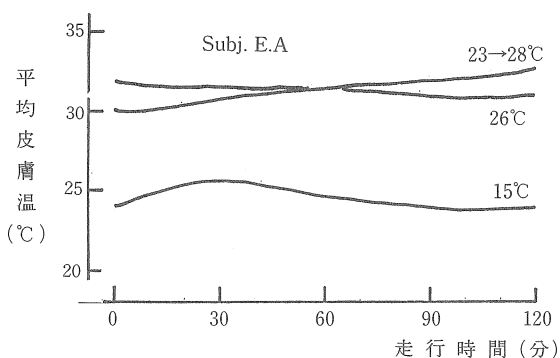


図10 平均皮膚温の変動 (女子)

IV. 結論

以上、本実験結果の資料を分析してみて、ロサンゼルスオリンピック大会のマラソン競技のペース配分を含めた対策を考えるならば、男子の場合やはり前半からあまりトップ集団から離れてしまうと勝負にならないから、出来るだけトップ集団の中で走るとはもち論だが、後半気温が下がると、35km以降でも相当スピードが上ったレース展開になるとと思われる。従って35km以降の速いスピードで競技場まで持続されることを予想したレースの作戦を立案することが必要ではないかと思われる。

女子の場合は逆にレースの後半気温が上がってゆくので、前半あまりオーバペースにならないよう自重し、後半に余力を残したレース展開が望ましいと思われる。また男女とも多量の発汗で体液不足が予想されるので、早い時期からの水分補給することが必要であろう。さらに大会以前の高温対策として考えられることは、選手個々の体温調節能力を適格に把握し、熱ストレスに対する耐性を高めるトレーニングを実施することにより、大会での高温環境に対する精神的な自信にもつながり、高い競技成績が期待できるものと思われる¹⁰。さらにロサンゼルス大会のマラソンコースの一部にフリーウェイという名の高速道路を使用すると報導されている。硬いコンクリート道路からの熱の放射も無視できないひとつであろう。足にマメができない予防や靴の中に熱がこもらないように、靴や靴下にもそれなりの対策を立てることが必要であろうと思われる。

V. まとめ

1. 運動時における体温の動的様相の一環として、ロサンゼルスオリンピック大会時における環境条件を想定してのマラソン走行実験を実施し体温調節系に及ぼす結果を検討した。
2. 実際のマラソン大会出場経験のある4名（内1名は女子）を対象に1)15℃一定 2)ロサンゼルス の温度条件（男26~21℃、女23~28℃に変えていく）、3)高温（男24℃、女26℃）一定の3条件を設定し、トレッドミルでの2時間走を負荷した。
3. 15℃一定条件での走行中の飲水量及び発汗量は明らかに他の2条件より少なかった。
4. 被検者の有酸素的作業能、競技能力により体温調節系に差がみられるが、走行中の運動強度（% $\dot{V}O_2\max$ ）が高いと、体温の2次的増加は温度条件に関係なく増加が著しい傾向がみられた。特に中でも男子の24℃一定と女子のロサンゼルス の温度条件（23℃~28℃に上げる）が最も顕明な増加を示した。
5. 平均皮膚温は、男子の被検者の場合3温度条件とも運動開始時が最も高く運動終了時に向って低下傾向を示したが、女子のロサンゼルス の温度条件は運動開始60分以後増加傾向が認められた。

参考文献

1. 猪飯道夫：身体運動の生理学。杏林書院414-419. 1975.
2. 黒田善雄，他：日本人一流選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第3報—昭和52年度，日本体育協会スポーツ科学研究報告，NO. XIII, 1977.

3. 黒田善雄，他：酸素摂取水準の維持能力に関する研究。昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，NO.VII. 1971.
4. 黒田善雄，他：酸素摂取水準の維持能力に関する研究—第2報—昭和50年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，NO.IX, 1975.
5. Costill, D.L., G. Branam, D. Eddy and K. Sparks Determinants of marathon running success. *Int. Physiol.* 29, 249-254, 1971.
6. Maron, M. B. and S. M. Horvath: The marathon: a history and review of the literature. *Med. Sci. Sports.* 10: 137-150, 1978.
7. L. G. C. E. Pugh, J. L. Corbett. and R. h. Johhson: Rectal temperatures, weight losses, and heart rates in marathoo running, *J. Appl. Physiol.* 23 (3): 347-352, 1967.
8. 伊藤静夫，他：運動時における体温の動的様相—第5報—競歩における水分補給について—。昭和57年度日本体育協会スポーツ科学研究報告，NX. VII, 1982.
9. 河谷正光：マラソン競走に及ぼす環境温度の影響に就いて。体力科学。5(2)：62-66, 1955.
10. 緒方維弘：体温とその調節，「生理学大系N-1」吉村寿人，緒方維弘編，医学書院，579-780, 1975.
11. Gisolfi, C. V., N. C. Wilson, and B. Claxton. Work-heat tolerance of distance runners. *Ann. NY Acad. Sci.* 301: 139-150, 1977.
12. Ramanathan, N. L., A new Weighting system for mean surface temperature of human body. *J. Appl. Physiol.* 19. 531, 1964.

