

昭和44年度日本体育協会スポーツ  
科学研究報告 No. V

## 陸上長距離走時の呼吸循環機能の変動

(財)日本体育協会  
スポーツ科学委員会



# 陸上長距離走時の呼吸循環機能の変動

報告者：(財)日本体育協会スポーツ科学研究所

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

## 研究目的

これまでの研究<sup>8)11)</sup>により、マラソン、スキー距離競技等の持久性競技種目の選手の最大酸素摂取量は他の競技種目の選手に比較して大きいことが知られている。しかし、B. Saltinら(1967)の報告のしめすように同じ水準の最大酸素摂取量をもつ選手間の競技能力は必ずしも一致するとは限らない<sup>11)</sup>。その理由としては、酸素負債能力の差、技術のちがいがあげられるが、もうひとつの要素として、最大酸素摂取量以下の一定の酸素摂取水準を長時間維持することのできる能力にも差のあることが考えられる。

本研究は、長時間の運動中の酸素摂取水準と最大酸素摂取量、さらに競技成績との相互関係を明らかにするための第一段階として、陸上各種の長距離走時の酸素摂取量を測定し、走行中の酸素摂取水準を距離別にすることを目的としている。同時に、酸素摂取能力に直接関与するところの心臓、呼吸機能に関する測定もあわせておこない、さらに体温の変化をさせるために直腸温の連続記録をおこない、持久走能力を規制する因子の究明をも意図した。

## 研究方法

### 被検者

本実験の被検者は、東京都内の2つの大学の陸上競技部に所属する男子選手5名でいずれも中長距離を専門種目とするものである。被検者の身長、体重等を表1にしめした。表1にしめす最大酸素摂取量はトレッドミル負荷漸増法によって測定したものである。もっとも高い酸素摂取量をしめした被検者は有吉で、その値は74ml/kg/分である。

表1. 被検者の体格、最大酸素摂取量

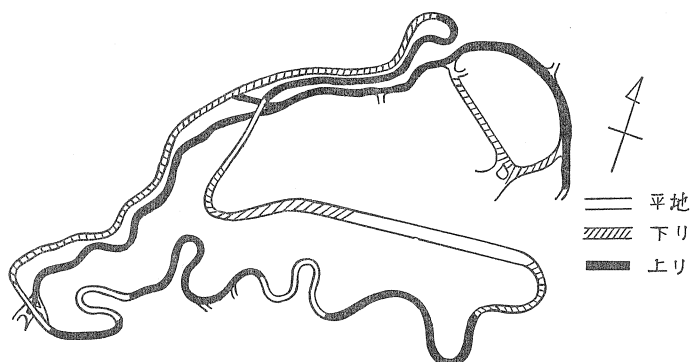
被検者	年齢(才)	体重(kg)	身長(cm)	競技経験年数(年)	最大酸素摂取量	
					l/分	ml/kg
中野 喜夫	19	63.2	169.5	3	4.422	70.9
杉本 三郎	18	60.6	170.9	5	4.227	69.8
松本 実	23	67.0	173.7	9	4.731	70.6
小原 繁	20	60.5	170.1	2.5	4.351	71.9
有吉 正博	22	58.9	171.8	9	4.369	74.2

### コースについて

ランニングコースは、図1にしめす静岡県の伊豆修善寺にある日本サイクルスポーツセンターの1周5kmのコースとその連絡通路を使用した。このコースは自転車練習道路であるためマラソンコースよりも起伏が多く、また斜度の大きいところでは10—12%の勾配があった。表2にしめす各種距離に応じてこのコースを数周するようにした。

測定は7月の下旬におこなった。気温は29°C前後、湿度は75%前後であった。

図1：走行コース



入させ走行中30秒おきに記録装置から読みとった。

走行後2分より10分までの間に2分おきに5回上肢の浅静脈から採血をおこなった。酵素的血中乳酸測定法により血中乳酸を、オルトトルイジン法により血糖値を測定した。

心電図、呼吸曲線、直腸温の記録は、図2にしめすようにランナーに伴走する自動車の屋上にておこない、呼気の採集は自動車の中でおこなった。

### 研究結果と考察

#### 測定項目

測定項目は次にしめす通りである。

- 1) ランニング記録
- 2) ランニングスピード
- 3) 心拍数
- 4) 呼吸数
- 5) 換気量
- 6) 酸素摂取量
- 7) 炭酸ガス排出量
- 8) 呼吸商
- 9) 酸素摂取率
- 10) 直腸温
- 11) 血糖値
- 12) 血中乳酸

ランニング記録はストップウォッチで計時し、ランニングスピードは後述のようにランナーに伴走する自動車のタコメーターによって測定した。

心拍数は胸部導出の心電図からもとめ、呼吸数は胸部にまいたゴム管の伸縮を硫酸亜鉛液の電気抵抗の変化にかえる方法で記録した呼吸運動曲線からもとめた。

換気量は走行中数分おきに1分間づつダグラスバッグに呼気の採集をおこなってもとめ、労研式大型ガス分析器によって呼気ガス分析をおこない、酸素摂取量、炭酸ガス排出量、呼吸商、酸素摂取率をもとめた。

直腸温は棒状サーミスターを被検者の直腸に挿

#### ランニング記録

表2に5名の被検者のランニング記録をかれらのベストレコードとともにしめた。表中の( )の中の値がベストレコードである。いずれの被検者も測定時の記録が自己のベスト記録よりも低下しているが、これはコースの起伏が大きいこと、

図2：測定実景



表2. ランニング記録

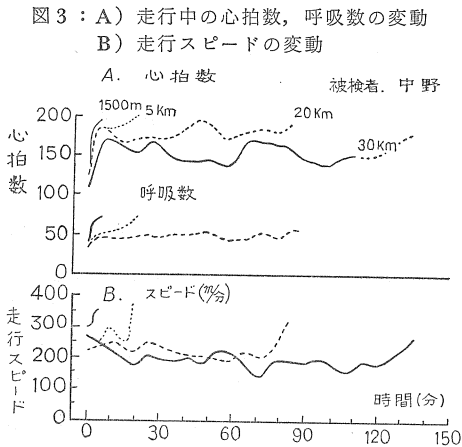
( ) : 自己最高記録

被検者	1500m	5km	10km	20km	30km	42km
中野	分 秒 4 24 (4 10)	分 秒 18 34 (16 44)		時間 分 秒 1 22 45	時間 分 秒 2 14 44	
杉本	4 29 (4 18)	18 28 (16 23)		1 18 35	棄権	
松本	4 33 (4 07)		分 秒 39 22 (33 29)		2 15 34	時間 分 秒 2 58 57
小原	4 50 (4 25)		36 36 (34 00)		2 06 07 (1 54 00)	2 59 33
有吉	4 21 (3 59)		40 19 (29 51)		1 49 55 (1 38 00)	3 02 28 (2 39 00)

測定装置を身につけていること、気温が比較的高いということが原因になっているものと考えられる。被検者のうち杉本の30km走は途中腹痛を訴え走行を中止したので記録はない。

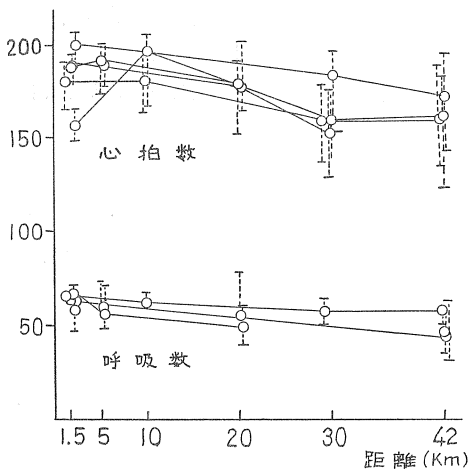
### ランニング速度について

走行中のランニングスピードの変化について図3-Bに例をしめした。距離が短いほどスピードは大きく、またランニングの終期におこなわれるラストパートのスピードも短い距離ほど大きいことがみとめられた。



5 km 以上の長距離の場合ランニングスピードの変動が激しいが、これは走行中のペース配分によるものと、コースの起伏によって生じるものがあり、実際のレースよりも変動が大きいと考え

図4 : 距離別, 個人別走行中心拍数, 呼吸数の最大値, 最少値及び平均値



られる。

### 心拍数

図3-Aに、被検者中野の走行中の心拍数変動をしめした。1,500m ではスタート直後140拍/分の心拍数が走行中急激に増加し1分後に178拍/分、2分後184拍/分に増加し、走行終了時4分24秒には195拍/分に達している。5 kmではスタートから2分までは1,500m とほとんど等しい結果をしめしているが以後心拍数の増加がやや停滞し11分まではほぼ定常状態を保っている。その後徐々に増加して走行終了時18分34秒には200拍/分に達する。

20kmでは、走行開始後の心拍数の増加が1,500m, 5 km 走の際よりもやや減少し5分目に185拍/分に達してからは以後35分まで185拍/分と163拍/分の間で増減をくりかえしている。この増減はペース配分にもなうスピードの変化によって生じることとコースの激しい起伏が原因になることが考えられるが、おそらくこの場合は後者の原因が大きいと考えられる。コースが平坦であれば比較的定常の状態が維持されて走行がおこなわれるものと思われる。36分~38分に195~201拍/分という全コース中でもっとも高い心拍数がみられるが以後それよりも低下して、走行終了時に再度増加がみられる。しかし、このときの心拍数は36~38分の値よりも低く180~190拍/分である。

30km 走の終期の心拍数は記録が不完全で不明であるが、20km 走でみられた心拍数の変動の特徴はそのまま30km 走にもみることができる。ただし、心拍数の水準は20km の場合よりも明らかに低くおよそ140拍/分と170拍/分の間で変動をしめしている。

5名の被検者の走行中の心拍数の平均値, 最高値, 最小値を距離別, 個人別に図4にしめした。

距離によって個人差のあるものもみられるが、全般的には距離の短い種目で心拍数が高く、距離の長くなるにしたがって減少する傾向がみられる。

1,500m, 5 km 走では心拍数が走行中上昇しつづけるので平均心拍数という表現は不適當であるが、一応この表現を用いれば5名の平均心拍数は182拍/分になる。しかし、この中で小原の心拍

数が156拍/分で低すぎるのでこれを除くと189(180~200)拍/分になる。5kmでの心拍数も2名の平均が189(188~191)拍/分になる。10kmでも高く2名の平均が188(180~196)拍/分である。ただし、2名のうち1名は180拍/分、他の1名は196拍/分で差が大きい。20kmになると心拍数は2名の平均が177(176~177)拍/分になり、10kmの場合よりもおよそ10拍/分の減少がみられる。さらに、30km、42kmでは3名の平均が162(158~182, 158~170)拍/分になり明らかに低下をめている。

運動中の心拍数の上限は190(180~200)拍/分であるから、10kmまでは心臓の活動は上限に近い水準をしめすものといえる。そして、それ以上の距離になると走行中に維持できる活動水準は低くなるということができる。

浅見ら(1967)はトレッドミル法によってマラソンのペースで2時間30分走をおこなわせ、そのときの心拍数を164と報告している<sup>1)</sup>。この心拍数は走行終了時にしめされた最高値であり、走行中は10分間に2拍の割合で徐々に増加したという。

本実験における42km走行中の心拍数は走行時間の経過にしたがって増加するという傾向をしめさなかった。心拍数の変動はコースの上り下りに応じてあらわれ、もしコースが平坦であれば、おそらく定常状態をしめすのではないかと考えられる。これは走行中に心拍数は増加していくという浅見らの報告とは異なる。その理由はトレッドミル走の場合はスピードが一定であるのに対し、レース走ではスピードを変えることができるのでスピードの変化によって心拍数の増加を抑制しているためと考えられる。

Hedman(1957)は、4名の被検者が13.7~15.7km/時のスピードで119~161分間のスキー滑走をおこなったときの平均心拍数を174(170~180)拍/分と報告している<sup>5)</sup>。119~161分間という運動時間は、本実験の30km、42km走にほぼ相当する。30km、42kmでの心拍数は、平均それぞれ162.1(N=4, 151~182)拍/分、161.9(N=3, 158~170)拍/分である。したがって、Hedmanのスキー滑走中の心拍数よりやや低い水準で運動がおこなわれている。スキー滑走中の心拍数変動

についての報告はいくつかある。黒田ら(1968)は男子選手に10kmレースのペースで1,000mのコースを3周するときの心拍数を報告したが<sup>8)</sup>、これによると3周目の平均心拍数は170拍/分である。スキー10kmレースのタイムはほぼ30分である。この運動時間は、陸上競技10,000mに相当する。今回の測定で10km走の心拍数は、2名のうち1名が180拍/分、他の1名が196拍/分であったから、この場合はスキー滑走時の心拍数のほうが低い。

このような長時間運動中の心拍数の比較は、被検者、運動種類、環境条件が異なるので難しいが、陸上競技、スキー滑走でも2時間以上の持久的運動では平均心拍数は160~170拍/分程度になるものと考えられる。

#### 呼吸数

走行中の呼吸数変動の例を図3-Aにしめた。

走行中の呼吸数変動の距離別の特徴は心拍数によく似ている。図において、1,500mでは走行中の呼吸数の増加が著しく、スタート時から急激な増加をしめして終了時には71回/分に達する。5kmでは、1,500mにくらべて増加のしかたは急激でないが走行中次第に増加しつづけて終了時には71回/分という1,500mと同じ呼吸数がみられる。20km走では呼吸数の増加は小さくスタート後2分で44回/分をしめし、その後ほぼ定常状態をもちその値は40回/分と50回/分の間にある。そして終了時の呼吸数はやや増加するが、1,500m、5kmの場合よりも低い値である。

5名の被検者の呼吸数の距離別個人別平均値と最大値、最小値を図4にしめた。

心拍数と同様、呼吸数も距離の短い種目で多く、距離が長くなるにしたがって減少する傾向がみられる。

1,500m、5kmでは呼吸数が走行中に増加しつづけるが、これ以上の長い距離では比較的長い時間一定の呼吸数で走行をおこなう。42kmでは呼吸数は約50回/分で走行が続けられている。

走行中の呼吸数についての報告は心拍数にくらべて多くはない。猪飼ら(1965)は、トレッドミルで一定速度のオールアウト走をおこなうとき、オールアウトに到達する時点で心拍数、呼吸数が

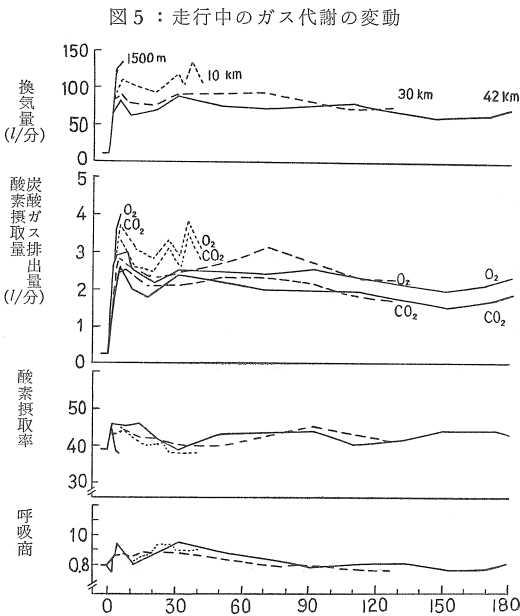
最高値をしめすことを報告している<sup>6)</sup>。そして、心拍数の増加が漸増的におこなわれるのにたいし、呼吸数の増加はオールアウト付近で急激に生じることから、走行の維持が不能になる生理的原因として呼吸機能に何らかの破綻があるのではないかと考察している。

呼吸数に関する論議は、それによって生じる換気量の増減と関連づけておこなわなければならない。猪飼らは、呼吸数が急激に増加する時点での換気量はそれ以前にくらべて増加をしめさないのので、1回換気量が減少して浅い呼吸になり、したがって肺胞でおこなわれるガス交換に関与する空気が少なくなると論じている。

このことから、走行中に呼吸数が多くなることは走行の持続に不利であると考えられる。また、呼吸数の増加は呼吸筋の疲労をも招くことになるので、走行距離が長くなるにしたがって呼吸数を減少せざるをえないのであろう。

#### 酸素摂取水準について

走行中の換気量、酸素摂取量、炭酸ガス排出量、酸素摂取率、呼吸商の変動の1例を図5にしめた。



換気量、酸素摂取量、炭酸ガス排出量は、距離の短い種目では走行中急激に増加ししかもその値が大きい。

走行開始とともに酸素摂取量は増加をはじめ。1,500mでは急激に増加をしめし、ゴール前1分間の酸素摂取量が走行中の最高値になる。10km走では、走行中に酸素摂取量は変動する。この変動はスピード変化、地形の変化によって生じるものと考えられる。30km、42kmでは酸素摂取水準が低下し、変動もゆるやかになってくる。もしコースが正規のコースのように平坦かそれに近いものとなればこの変動はもっと小さくなるものと考えられる。

酸素摂取率は、1,500mで走行中急激な低下をしめし、10kmでは前半比較的高い値をしめすが後半急激に低下する。30km、42kmでは走行全期にわたって高い酸素摂取率を維持しゴール付近で低下をしめすが、その値は40以下にはならず1,500m、10kmよりも高い値である。

呼吸商は、短い距離では1.0近くなるが、距離の長い種目では低く30km、42kmでは後半では0.7程度に低下する。

酸素摂取率の低下は呼吸効率の低下を意味し、トレッドミル走のオールアウト時にみられる反応である<sup>6)</sup>から、1,500m、5km走では走行能力を規定する有力因子として作用しているように考えられる。しかし、長い距離の場合は走行全期にわたって摂取率が高く、ゴール付近で低下している値も特に低いということもないので、酸素摂取率の低下が走行を規制しているとはいえないようである。

呼吸商が走行時間の長い種目ほど低く、また30km走のように走行の後半に低下がみられるのは、走行に用いられるエネルギー源として脂肪に依存する割合が次第に大きくなっていることをしめすものである。

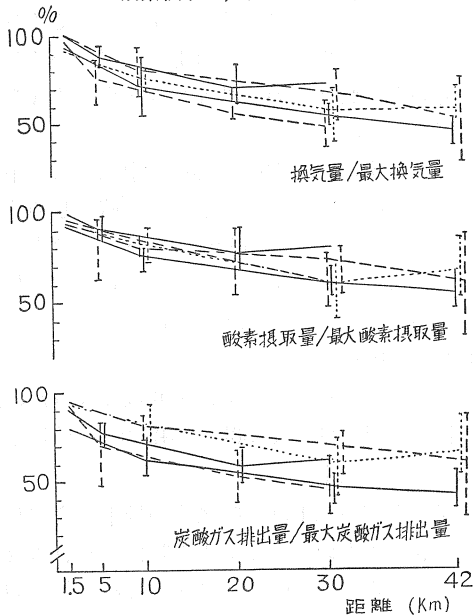
図6に5名の被検者の走行中換気量、酸素摂取量、炭酸ガス排出量の平均(1,500mだけは最高値)をそれぞれトレッドミル法によって測定した最大値に比較して百分率でしめた。

いずれも1,500mで100%に近い、すなわち各被検者の最大値に近い値をしめし、距離の長くなるにしたがって値が小さくなる。

1,500mでは走行中の最後の1分間の酸素摂取量が最高値になるが、これをトレッドミル法で測

定した最大酸素摂取量と比較すると5名の平均が最大値の94.9 (98.9~92.3)%になる。したがって、1,500m 走ではほぼ各自の最大酸素摂取量が発現しているといえる。

図6：距離別にみた走行中の換気量，  
酸素摂取量，炭酸ガス排出量



5 km 以上の距離では平均酸素摂取量をもとめ、それと最大酸素摂取量との比をもとめた。5 km では2名の被検者のうち1名は91.3%，他の1名は80.4%の酸素摂取水準をしめた。10 km は3名の平均が79.1 (81.5~75.4) %，20 km は2名の平均が74.3 (77.1~71.6) %で距離の延長にしたがって酸素摂取水準は次第に低下する。

30 km は5名の平均が66.3 (79.7~59.7) %であるが、もっとも大きな値は、79.7%で最小値59.7%と大きな差がある。

42 km は3名の平均が62.8%で範囲は67.0%から53.8%にわたる。

浅見ら (1967) は2時間20分の記録をもつマラソンランナーは走行中の酸素摂取水準が最大酸素摂取量の60%になる負荷で2時間30分の走行が可能であると報告した<sup>1)</sup>。

本報告の結果と浅見らの報告から、マラソン競技における酸素摂取水準はおおよそ60~70%という

のがひとつの基準になるようである。

Kollias (1967) は、トレッドミルの傾斜を走行中に変化させて5マイルのクロスカントリー走を再現させ、そのときの酸素摂取水準を83.2%と報告している<sup>7)</sup>。これは4名の被検者の平均で、範囲は83.7%~82.5%である。5マイルの記録はおおよそ30分であるから、時間的には本報告の10 kmに相当する。10 kmにおける酸素摂取水準は79.1 (81.5~75.4) %であるから、30分程度の時間でおこなわれる走行での酸素摂取水準はおおよそ80%とみることができる。

P.O. Åstrand ら (1963) は10 kmを35分のスピードでスキー滑走するときの酸素摂取量を測定している<sup>8)</sup>。このときのコースは、300 mの平地を約10周するものであった。被検者4名はすべて優秀なスキー選手である。結果は、滑走中の酸素摂取量は最大値の平均87.5 (92~79) %であることをしめた。

Åstrandの研究で用いられている負荷も時間で見れば、本報告の10 kmに相当する。しかし、酸素摂取水準はÅstrand らの測定値のほうが高い値をしめしている。

黒田ら (1968) もÅstrand らと同様、3名の日本一流選手を被検者にして10 kmレースのペースで1周1,000 mのコースを3周させて酸素摂取量を測定している<sup>9)</sup>。コースには上り、下り、平地が含まれているので、それぞれの地形によって酸素摂取量は変わるが、平均すれば最大酸素摂取量のおおよそ80%になるという。

同じ30分程度の持久性運動でありながらÅstrandの報告の酸素摂取水準が他よりも高いということの理由はわからない。陸上の走行とスキー滑走時の酸素摂取水準のちがいは、運動様式のちがいによるものと説明できるかもしれない。しかし、同じスキー競技でありながら、スウェーデンの選手の値が日本の選手の値よりも大きいということはスウェーデンの選手のほうが運動中に高い酸素摂取水準を長い時間維持できることを意味し、このため高い競技能力をしめすことができるのではないとも考えられる。しかし、これも実験条件は異なるので推測の域をでることはできない。

Åstrand (1963) によると最大酸素摂取量の50



%の酸素を必要とする運動の持続時間は、トレーニングされたもののほうが一般人よりも長いという。このことは、持久性を要求される運動では最大酸素摂取量が高いほかに、最大酸素摂取量以下のある一定の酸素摂取水準をどれだけ維持できるかという能力も高いことが必要であることを意味している。

今回の研究では、競技タイムと酸素摂取水準との関係を明確にすることはできなかったが、この関係を研究することは持久性の研究の今後の主要課題と考えられる。

### 血糖値

各種距離走行後の血糖値を図7にしめした。1,500m 走行後の血糖値は約 140mg/dl, 5km 走行後の値は 160mg/dl でいずれも安静時の 66-100 mg/dl よりも高い値をしめしている。10km については資料が1例だけであるが 102mg/dl で安静時と変らない。20km, 30km, 42km の長い距離では各被検者とも安静時の値とほとんど変らない値をしめしている。

図7：走行後の血糖値の距離別比較 (×はトレッドミル走の値)

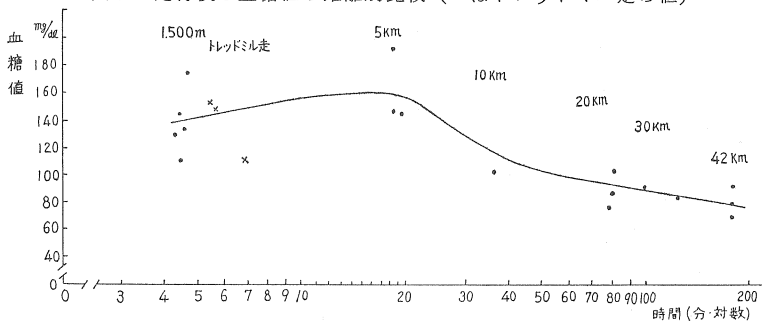
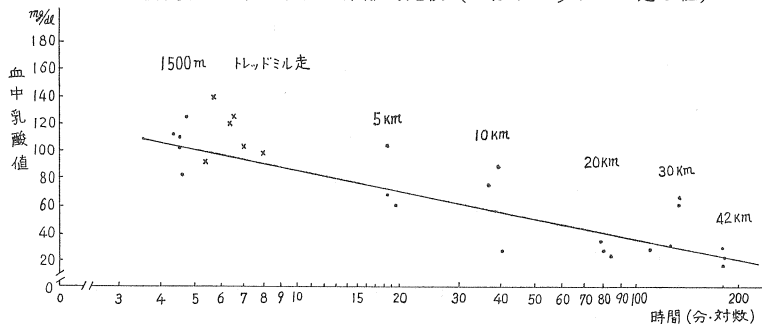


図8：走行後の血中乳酸値の距離別比較 (×はトレッドミル走の値)



これまでの研究によると、軽い運動では血糖値に変化をおこさせないが、運動の強度が大きくなると血糖値の顕著な上昇があり、また、長時間の運動では血糖値が低下するという。しかし、運動と血糖値との関係についての所見は報告者によって様々である。その理由は、血糖値の変化は体内に貯蔵されている炭水化物の量と運動に要求されるエネルギーの量とによってきまるので被検者や運動の内容が同一でなければ結果の比較が難かしいからである。

本実験の 1,500m, 5 km では運動後の血糖値が増加している。これは、強度の大きい激しい運動が刺激になって副腎髄質のアドレナリンの分泌を促がし、このホルモンが肝臓に貯えられているグリコーゲンを分解して血液中のブドウ糖を増加させるものと説明できよう。

30m, 42km の走行後の血糖値は短かい距離の走行後の値よりも低い。しかし、これらの値はすべて安静値よりも低いというわけではない。この結果は長時間の運動後の血糖値は低下するという

説とは一致しない。しかしながら、Bestら(1930)の報告によれば、アムステルダムオリンピック大会のマラソン競技でレース直後の選手の血糖値は到着時の状態がよいものは低下しておらず、運動失調、顔面蒼白の症状を呈したものは低血糖をしめしたという<sup>3)</sup>。したがって、長距離走後の血糖値が正常値と変わらないという例もおこりうるのである。これは長時間の走行にもかかわらず体内のグリコーゲンに余裕を残して走行がおこなわれたことをしめすものである。

個人的にみると安静時の値よりも走行後の値が

わずかではあるが低下する例は 20km 以上の長い距離の場合にみられ、このような長い距離の走行ではグリコーゲンの使用が多いことをしめしている。

### 血中乳酸

走行後の血中乳酸の値を走行タイムごとに図 8 にしめた。

1,500m では血中乳酸は 101.4mg/dl でもっとも大きく、以下距離が長くなり走行タイムが延長するにしたがって小さくなり 42km では 22.6mg/dl という値をしめしている。

激しい運動後の血中乳酸は、運動前に比較してはるかに高くなる。ランニングの場合 300~400m の短距離走後の値が高くなることは多くの研究者によって報告されている。

乳酸の発生は、激しい運動によって筋への酸素の供給が不足したときにみられるものであり、低い速度での走行のように走行中の酸素摂取量と要求される酸素の量が等しい場合は血中の乳酸の増加はない。Margaria らによれば、酸素負債が 3l、酸素摂取量が 2l をこえると血中乳酸値が急激に増加するという<sup>10)</sup>。

本測定の結果は、強度がもっとも大きい 1,500m でもっとも大きな血中乳酸値がみられ、距離が長くなるにしたがって、その値が小さくなっていく。このことは、距離の延長にしたがって需要エネルギーが有酸素的に供給されることをしめしているものである。個人値をみると 30km で比較的高い値がみられ、また、10km に低い値がみられるが、これらは、おそらく各走行におけるラストスパートのちがいに由来するものと考えられる。すなわち、ゴール近くになってのスパートは無酸素的におこなわれるであろうから、この度合いによって血中乳酸値は変わりこのような結果になったのではないかと考えられる。

### 直腸温

直腸温の走行中変化の 1 例として小原の例を図 9 にしめた。走行前のウォーミングアップによってすでに直腸温は 37.6~38.0°C に増加している。走行開始とともに直腸温は上昇をはじめ。10km の場合、直腸温は比較的急激に上昇し、終了時に 40.3°C をしめた。30km では、走行開始

後 30 分まで徐々に上昇し、以後 90 分まではほぼ一定の値 39.5°C をしめす。その後再び上昇をしめし、走行終了時に 40.4°C に達する。42km では走行開始後の上昇が 15 分までつづき以後 20 分から 70 分にかけてゆるやかな上昇曲線をしめして 38.6°C に達する。その後 106 分まで再度上昇がみられ 39.4°C をしめす。106 分からゴール間近まで徐々に上昇がつづき、ゴールの直前にややつよい上昇がみられる。ゴール時の温度は 39.7°C である。

図 9：走行中の直腸温の変動(被検者：小原)

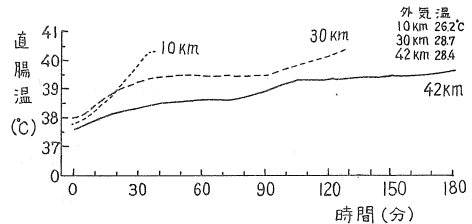
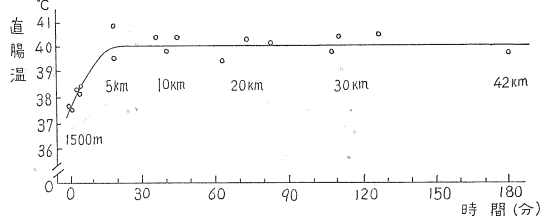


図 10 に、5 名の被検者 15 例について走行時間と終了時直腸温の関係をしめた。走時間は直腸温の記録のあるものについての成績である。

図 10：走行終了時直腸温の距離別比較



1,500m (4'21"~4'29") では 37.7 (38.1~37.9) °C, 5km (18'24"~18'34") では 39.8 (40.4~39.2) °C になり、10km (36'36"~40'19") では 40.1 (40.3~39.8) °C で 40°C をこす。20km (1'18'35"~1'22'45") では 40.2 (40.4~40.0) °C, 30km (1'49'55"~2'15'34") では 40.3°C でいずれも 40°C をこえる高い体温をしめしている。

42km 走での直腸温の記録は 1 例ではあるが、39.7°C という値をしめしている。

これらの直腸温は、すべて終了時の値であり同時に走行中の最高値である。しかし、ここで注目すべきは、比較的短い距離である 1,500m と 5km では、走行終了後さらに体温の上昇が続く最高値は終了後 3~5 分にあらわれるというこ

とである。測定条件上、運動終了後の直腸温の記録は5分でうち切りざるをえなく、したがって、一部については体温の低下のみられないまま、測定を終了しているものもある。しかし、3分あるいは4分目に最高値をしめして5分目には低下をしめす例もあるので一応すべての例において最高値がしめされたと考えることができる。運動後の値を含めて最高値をしめせば、1,500m 走では38.3°C、5 km では40.2°Cになる。

以上の結果から、5 km 以上の長距離では直腸温の最高値は40°Cを上回ることができる。短い距離の走行後に直腸温の上昇が続くのは、短い距離ほどラスタスパートが激しく、そのために筋内に産生される熱が急激に増加して、それがゴールイン後にあらわれるものと考えられる。

直腸温の限界は41°Cといわれているので、今回の測定での最も高い温度である5 km での40.8°C(杉本)はほぼ上限に近いものということになる。

Dillらによれば、体温は普通一定の作業をしたときに最初の数分間次第に上昇し、以後熱放散の状態の良いときには一定になるが、もし体温が一定にならなければさらに上昇してオールアウトになるという<sup>4)</sup>。

今回の測定で、1,500m、5 kmを除いた長い距離の走行では心拍数、呼吸数、酸素摂取量が走行中多少の変動があるが、その値は各被検者の最高の値よりも低いものであった。そして、値は走行終了時にも特に大きな変化をしめさなかった。走行中の測定値にみられる変動は、コースの上り下りに起因するものと考えられ、もしコースの起伏が小さければもっと変動は少なくしめされたものと予想される。

1,500m、5 kmでは、心拍数、呼吸数が次第に増加し走行の終了時にその人の最高値をしめしている。酸素摂取量も最大酸素摂取量に近い値になっている。

猪飼ら(1965)は、一定速度のトレッドミル走をおこない、そのときの速度が3~20分ぐらいで

オールアウトになるようなものの場合、心拍数、呼吸数は終了時にその人の最大値をしめすことを報告した<sup>6)</sup>。そして、このときに酸素脈と一回換気量の減少、酸素摂取率の低下がみられることを指摘し、このことから、持久走を規制する生理的因子として心拍出量の低下、換気効率の低下、呼吸効率の低下ということが考えられるとした。今回の測定で1,500m、5 kmの場合、走能力を規制する因子として、トレッドミル走テストからえられた推論をあてはめることができよう。何故ならば、1,500m、5 kmでみられる心拍数、呼吸数の反応はトレッドミルで一定スピードのオールアウト走をおこなった場合によく似ているからである。

一方、10km以上の長距離では、心拍数、呼吸数の最大値があらわれずにゴールに到達している。このことからみて、心臓や呼吸機能にある程度余裕を残したまま走行が終了しているのではないということが考えられる。ここで注目すべきは直腸温の変動である。測定をおこなったすべての例で直腸温は走行中上昇を続けるか、上昇のないときには一定の値を維持し、ゴール到達のときに最高値をしめしている。そしてその値は従来の報告からいって、限界値に近い非常に高い値である。この結果から結論を出すことはできないが、長い距離の走行では、その能力を規制する因子として体温調節機能が大きな役割をはたしているのではないかと考えられる。

しかし、心拍数が最大値に到達しなくてもある一定の水準で活動を続けるならば心筋の疲労は生じてくるであろうから、心拍数が最大値に達しなくても走行の持続ができなくなることは考えられる。また、呼吸商の変化にみられるようにエネルギー源を脂肪にもとめる割合の増加や血糖値の低下ということから、蓄積エネルギー源の減少ということも走行の持続に不利な条件を与えているのかもしれない。いずれにせよ、長い距離の走行を規制する生理的因子に関してはさらに検討を加えなければならない。

## ま と め

1 陸上競技長距離選手5名を被検者にして、1,500m, 5km, 10km, 20km, 30km, 42kmの各距離走行中の呼吸・循環機能, 直腸温, および走行後の血糖値, 血中乳酸値の測定をおこなった。

2 1,500m, 5km では心拍数, 呼吸数は次第に増加するが10km以上の距離の走行では一定の水準を維持する傾向がみられた。そして, その水準は距離の延長にしたがって低くなる傾向をしめた。

3, 走行中の酸素摂取水準も走行距離の延長にしたがって低下をしめた。1,500m では最大酸素摂取量のほぼ95%を摂取して走行がおこなわれ, 42km ではほぼ63%の摂取水準で走行が持続された。

4, 1,500m, 5km 走後の血糖値は約140~160mg/dlに増加した。長い距離の走行後の血糖値は安静時の値とほとんど変わらないが, わずかに低下をしめす例がみられた。

5, 走行後の血中乳酸値は1,500mでもっとも高く, 101.4mg/dlをしめた。距離が長くなるにしたがって値は減少し42kmでは22.6mg/dlの値をしめた。

6, 直腸温は短い距離の種目では比較的急激に, 長い距離の種目では徐々に上昇をしめた。5km以上の距離では最高値が40°C前後に上昇すること, いずれの種目においても走行中上昇が続き終了時に最高値に達することから長い距離の走行能力には体温調節機能が大きく関与しているように考えられる。

## 文 献

- 1) 浅見俊雄, 他: 体力医学的にみた長時間走のスピード処方. 体力科学. 第17回日本医学会総会衛生関係6分科会連合学会号. 296~297, 1967.
- 2) Åstrand, P.O. et al: Blood lactates after prolonged severe exercise. J. Appl. Physiol. 18(3): 619-622, 1963.
- 3) Best, C.H. et al: Observations on Olympic athletes. Proc. Roy. Soc., London, S.B, 105: 323, 1930.
- 4) Dill, D.B. et al: Physical performance in relation to external temperature. Arbeitphysiol. 4: 508-518, 1931.
- 5) Hedman, R.: The available glycogen in man and the connection between rate of oxygen intake and carbohydrate usage. Acta physiol. Scand. 40: 305-321, 1957.
- 6) 猪飼道夫, 他: トレッドミル法による青少年の運動処方に関する研究, 第2報. 持久性の限界因子の究明. 体育学研究8(3~4) 61~71, 1965.
- 7) Kollias, J. et al: Cross-country running: Treadmill simulation and suggested effectiveness of supplemental treadmill training. J. Sport Med. 7(3): 148-154, 1967.
- 8) 黒田善雄, 他: 昭和43年度札幌オリンピックスキースタンス研究報告. 日本体育協会スポーツ科学委員会. 1968.
- 9) 黒田善雄, 他: 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量. 日本体育協会スポーツ科学委員会, 1968.
- 10) Margaria, R. et al: The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. Am. J. Physiol. 106: 689-715, 1933.
- 11) Saltin, B. et al: Maximal oxygen uptake in athletes. J. Appl. Physiol. 19, 353-358, 1967.