

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. X 運動時における体温の動的様相
—第3報・被検者の鍛練度との関係
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53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. X 運動時における体温の動的様相

—第3報・被検者の鍛練度との関係について—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

伊 藤 静 夫 黒 田 善 雄 塚 越 克 己
雨 宮 輝 也 金 子 敬 二 白 鳥 金 丸*
松 井 美智子

I 目 的

すでに知られているように、恒温動物の体温は運動時に上昇する。この体温上昇は、運動の強さに依存している⁹⁾¹⁰⁾¹⁶⁾。また、この場合の運動の強さに関しては、絶対的運動強度ではなく相対的運動強度($\% \dot{V}O_2 \text{ max}$)に比例することが確かめられている¹⁶⁾。

しかしながら、運動時の体温上昇についての基本的な機序に関しては、さまざまな論議を呼ぶところである。

1938年、Marius Nielsen¹⁰⁾は深部体温の指標として直腸温を測定し、運動時の深部体温が運動強度に比例し環境温の影響を受けないことを観察した。そして、このことから運動時における体温上昇の原因は、いわゆる set-point の上昇によるものであることを提えた。この考え方は、その後多くの研究者によって支持されてきた¹⁰⁾。しかし、Nielsen が深部体温の指標とした直腸温は、鼓膜温、食道温といった他の深部体温に比べ、その反応がより緩慢であることが明らかにされた¹⁾²⁾¹⁵⁾。深部体温の動的な反応を知る上で直腸温は不適であると言える。

Kitzing ら⁶⁾は、運動時の深部体温(食道温)が必ずしも運動強度によってのみ決定されるものではなく、環境温の影響をも受けることを指摘しており、set-point 説に対立するものである。

Nielsen の実験成績は深部体温を直腸温によって求め、定常状態で得られたデータに基づいたものであるが、これをより敏感な深部体温によって更に詳細に観察すれば、運動時の体温も環境温によってその反応の様相が異なってくることが示唆されよう。

我々は運動時の体温上昇について、特に過渡的な動的特性に注目し、検討を加えてきた。第1報において、低温および高温環境に暴露された被検者の運動開始時における深部体温の上昇過程を観察した。その結果、食道温は運動開始とともに一過性の低下を示した後に上昇した。この食道温の低下の度合は、低温環境であるほど、また低運動負荷であるほど大きく、上昇が遅れ、緩慢となることが認められた。また、第2報では、運動遂行の途中より環境温を漸次上昇あるいは下降させたときの深部体温の反応を観察した。その結果、深部体温は環境温の変化とは逆の方向へ一過性の変化を示した。またこの反応は運動強度が高いほど少なく、短時間である傾向が観察された。

以上の実験結果は、運動時の深部体温が単に set-point の上方への移動によって上昇しているというより、環境温の変化に対応する末梢での反応と中枢での反応の複合された反応の結果として表われてくるものと解釈される。すなわち、環境温の変化として皮膚では皮膚血管運動により皮膚血流の調節を行っており、これが中心部の血流配分に影響を及ぼしていると考えられる。深部体温の環境温変化と逆方向への一過性の反応は、そ

* 早稲田大学

の表われといえる。

もしそうであれば、第2報でみられた体温の応答は、被検者のトレーニングの程度あるいは作業能にも関わってくるものではないかと予想される。それは、日常身体トレーニングを継続している競技者では、centralな循環系のみならず、皮膚循環をはじめとする末梢循環へも刺激を与えていることであり、そうでない非活動的な被者としては、当然上記の体温反応にも差が生じてくるのではないかと考えられるからである。

そこで、本研究ではこの点を明らかにするため、よくトレーニングされた競技者と日常座位作業にたずさわる者について、運動遂行の途中より環境温を上昇させた際の体温変化の様相を比較した。なお、前報では環境温を漸次変化させていたが、本研究ではよりシャープな反応を得たいため、環境温をステップ状に上昇させる条件を設定した。

II 方法

1. 被検者

被検者には、鍛練者として大学男子長距離選手4名を選び、非鍛練者としては日常定期的なスポ

ーツを行っていない座位作業に従事する成人男子4名を選んだ。表1は被検者の身体特性を表わしたものである。最大酸素摂取量では、鍛練者群が $60.5 \pm 2.5 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$ 、非鍛練者群が $36.0 \pm 8.2 \text{ ml/kg} \cdot \text{分}$ を示し、両被検者群の間に著明な差がみられ本研究の目的に合致した被検者と判断される。

2. 実験条件と手順

図1は本実験条件を模式的に表わしたものである。室温を $26 \pm 1^\circ\text{C}$ と $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に設定した部屋を準備し、初めに被検者は 26°C の部屋でおよそ30分間の座位安静を保つ。この間に必要な電極、体温測定用センサ等を被検者に装着した。次に 10°C の部屋へ移り、ここで再び10分間の座位安静をとった。続いて、 $40\% \dot{V}\text{O}_2\text{max}$ に相当する強度での自転車エルゴメータ運動を40分間行なった。各被検者の負荷強度は表1に示すとおりである。

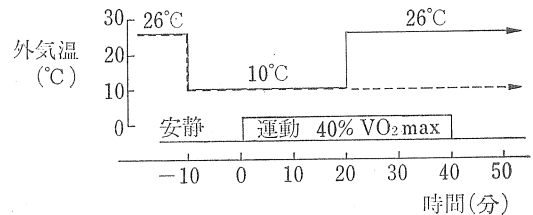


図1 実験条件の模式図

表1 被検者の身体特性

被 検 者	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)	推定脂肪率 (%)	最大酸素摂取量 (ml/kg.min)	負荷強度※ (kpm/min)
鍛 練 者 群						
KH	24	175.8	58.3	9.0	64.0	720
FN	23	172.5	60.1	9.3	58.9	720
K-I	24	168.0	53.9	9.5	58.5	600
MT	23	164.0	49.7	11.4	60.6	600
平均	23.5	170.1	55.5	9.8	60.5	660
S.D	0.6	5.2	4.7	1.1	2.5	69
非鍛練者群						
SI	29	167.0	57.2	10.4	46.1	400
KK	26	172.0	72.5	15.8	37.1	400
TA	37	164.5	67.7	20.1	34.5	360
KT	43	178.0	80.0	22.0	26.2	200
平均	33.8	170.4	69.4	17.1	36.0	340
S.D	7.7	6.0	9.6	5.2	8.2	95

※ 負荷強度は $40\% \dot{V}\text{O}_2\text{max}$ に相当するもの。

運動開始後20分の時点で外気温をステップ上昇させるため、この時点で運動を継続中の被検者を10℃の部屋から26℃の部屋へ移動させた。また、外気温をステップ上昇させる実験条件のコントロールとして、室温10℃一定のままで40分間運動を継続する実験条件を加えた（以下、この条件をコントロールと呼ぶ）。

本実験は昭和54年6月～8月の期間に実施された。本実験に先立って、自転車エルゴメータによって最大酸素摂取量及び4種類の最大下負荷による酸素摂取量の測定を行ない、本実験での作業負荷量を決定した。実験は1被検者につき上記2条件の実験を行なったが、1日1実験条件とし、実施時間を午前中に限定した。測定時の被検者の服装は、ショートパンツとシューズのみに統一した。

3. 測定方法

心拍数は胸部双極誘導による心電図から求め、実験中連続記録した。皮膚温はサーミスタ（宝工業、皮膚温測定用センサ）により胸部、前額、大腿、下腿、上腕、前腕の6カ所について1分ごとに連続記録した（皮膚温測定用記録器・宝工業、サーミスタデータ集録装置K700）。直腸温は、直

腸温測定用熱電対温度計（デンマーク・エラブ社製）を肛門より約12cmの深さへ挿入し、打点式自動温度記録計（デンマーク・エラブ社製、Z94-B）によって連続記録した。食道温についても、食道温用熱電対温度計（エラブ社製）を鼻腔より約50cmの深部食道部へ挿入し、同様の記録計にて連続記録した。血圧は、リバロッチ水銀マンオメーターを用いてコロトコフ音により間接的に測定した。測定時間は5分間隔ごとに行なった。

4. トレーニング実験

非鍛練者群の内、被検者S IとT Aについて約1カ月間の身体トレーニングを課した後、再び上記の外気温ステップ上昇による実験を行ない、トレーニング前と後の反応を比較した。トレーニングの内容は、約60% $\dot{V}O_2 \max$ に相当するジョギングを野外において約30分間、週5日間の頻度で行なったものである。ジョギングのペースや距離については特に厳密な規定をせず、被検者に任意に行なわせた。トレーニング効果を判定するため、1カ月間のトレーニング後、再び最大酸素摂取量及び4種類の最大下負荷による酸素摂取量をトレーニング前と同様の方法で測定した。

表 2 心拍数並びに血圧の測定結果

時間(分)	心拍数(拍/分)				最大血圧(mmHg)				最小血圧(mmHg)			
	コントロール		10→26℃		コントロール		10→26℃		コントロール		10→26℃	
	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D
非鍛練者群												
安静(26℃)	67.0	3.7	65.0	3.6	122.7	3.8	118.7	1.9	76.7	1.9	68.0	5.7
安静(10℃)	64.3	9.2	63.7	6.6	122.0	1.6	121.3	1.9	79.0	10.9	85.0	7.3
運動0-10	93.0	5.9	92.3	7.4	129.3	1.9	124.3	4.2	70.0	10.8	74.3	13.4
10-20	95.3	5.9	94.3	5.7	132.7	2.1	129.0	7.0	71.7	14.8	71.7	7.4
20-30	94.7	6.2	94.3	5.6	135.0	5.1	126.0	5.0	69.0	11.4	67.3	10.9
30-40	96.0	5.7	95.3	4.9	138.3	3.9	127.0	2.2	67.7	14.4	66.7	12.7
回復0-10	64.3	9.8	66.3	5.8	124.7	2.5	119.0	5.4	76.3	11.4	74.0	4.9
鍛練者群												
安静(26℃)	63.1	4.4	73.2	6.6	132.0	6.5	114.0	5.7	68.0	5.7	58.0	7.5
安静(10℃)	61.6	6.3	65.6	7.2	131.3	2.6	122.0	1.6	82.7	3.9	72.3	3.3
運動0-10	98.9	14.1	102.0	8.8	154.0	12.0	149.7	12.7	62.3	3.3	58.0	7.1
10-20	102.6	11.6	104.9	10.4	158.3	7.9	154.3	8.3	58.3	8.3	56.3	10.3
20-30	100.7	10.9	104.1	9.6	157.7	5.4	156.0	16.3	53.7	6.3	53.0	5.0
30-40	107.1	7.5	108.1	11.5	159.3	6.7	159.3	19.4	61.0	1.4	51.3	4.5
回復0-10	68.2	3.7	74.4	10.7	134.3	5.7	127.7	4.0	69.0	4.6	62.7	9.0

表 3 直腸温, 食道温及び平均皮膚温の測定結果

時間 (分)	直 腸 温 (°C)				食 道 温 (°C)				平 均 皮 膚 温 (°C)			
	コントロール		10→26°C		コントロール		10→26°C		コントロール		10→26°C	
	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D	平均	±S.D
非鍛練者群												
安静 (26°C)	36.98	0.03	36.93	0.06	36.79	0.09	36.68	0.20	32.9	0.1	33.0	0.5
安静 (10°C)	37.23	0.05	36.89	0.08	36.85	0.14	36.71	0.19	30.1	0.4	30.4	0.5
運動 0-10	37.01	0.04	36.89	0.07	36.91	0.15	36.78	0.17	28.1	0.6	28.0	0.6
10-20	37.11	0.08	36.97	0.02	37.13	0.21	37.05	0.20	29.1	0.6	27.2	0.6
20-30	37.22	0.11	37.08	0.13	37.27	0.25	37.00	0.29	26.6	0.7	30.4	0.5
30-40	37.29	0.14	37.10	0.17	37.31	0.25	36.94	0.20	26.3	0.7	32.0	0.4
回復 0-10	37.29	0.16	37.04	0.14	37.20	0.21	36.86	0.20	26.3	0.8	32.8	0.4
鍛 練 者 群												
安静 (26°C)	36.99	0.10	37.19	0.26	36.89	0.21	36.93	0.19	33.6	0.6	33.8	0.3
安静 (10°C)	37.00	0.08	37.14	0.22	36.88	0.26	36.98	0.21	31.2	0.5	31.2	0.4
運動 0-10	36.96	0.12	37.11	0.28	36.78	0.32	36.88	0.33	29.5	0.5	29.5	0.3
10-20	37.08	0.17	37.30	0.26	37.14	0.34	37.26	0.30	29.0	0.4	29.3	0.4
20-30	37.31	0.17	37.41	0.30	37.31	0.25	37.25	0.32	29.2	0.4	31.7	0.6
30-40	37.43	0.15	37.50	0.29	37.36	0.22	37.36	0.26	29.1	0.2	32.4	0.8
回復 0-10	37.34	0.14	37.45	0.36	37.08	0.28	37.13	0.15	29.3	0.2	32.6	0.7

Ⅲ 結 果

1. 鍛練者と非鍛練者の比較

表 2 は, 心拍数, 血圧について外気温を 10°C から 26°C へステップ上昇させた条件とコントロールでの鍛練者群と非鍛練者群の測定結果をまとめたものである。それぞれの値は, 被検者個人の測定値を表に示した 10 分間隔ごとに平均し, それを被検者群ごとに平均値と標準偏差を算出したものである。

運動強度を両被検者群とも 40% $\dot{V}O_2$ max に設定したが, 運動中の心拍数は非鍛練者群に比して鍛練者群の方がわずかに高い値を示した。40 分間の運動中, 心拍数は漸次増加する傾向にあり, 両被検者群に認められるが, 外気温をステップ上昇させた条件とコントロールの間で, 心拍数の変化過程に明らかな相違は認められなかった。

血圧の変動についても, 心拍数と同様, 外気温の上昇は運動時の血圧に著明な影響を与えていない。

表 3 は, 直腸温, 食道温, 平均皮膚温について, 表 2 と同様の方法で測定結果をまとめたものである。また, 直腸温, 食道温の連続的な変化の

様相を図 2 に示した。図中の体温のスケールは, 外気温をステップ上昇させた時点からの反応を比較するため, 運動開始 20 分での値を基準に, それからの差 ($\Delta^{\circ}C$) で表示した。

直腸温, 食道温の深部体温は運動開始時において, 3~5 分間の潜時を経たのち上昇を開始するか (おもに直腸温にその傾向がみられる), あるいは一過性の低下を示した後に上昇する (おもに食道温)。

運動継続時に外気温をステップ上昇させた条件とコントロールを比較すると, コントロールでは直腸温は 20 分以降も漸次上昇を続けるが, 外気温のステップ上昇ではそれ以後の直腸温の上昇はより小さくなっている。食道温では, コントロールにおいては運動開始後 20~30 分で steady な状態に達しているが, 外気温のステップ上昇では外気温の変化方向とは逆に一過性の低下を示し, 運動終了前に再び上昇に転ずる傾向がみられた。

以上の外気温のステップ上昇に対する深部温の反応を鍛練者群と非鍛練者群で比較すると, 上述した深部体温の反応特性が非鍛練者群により明瞭に認められた。特に食道温においては, 非鍛練者群の運動 20 分以後の低下はより大きく, また運動

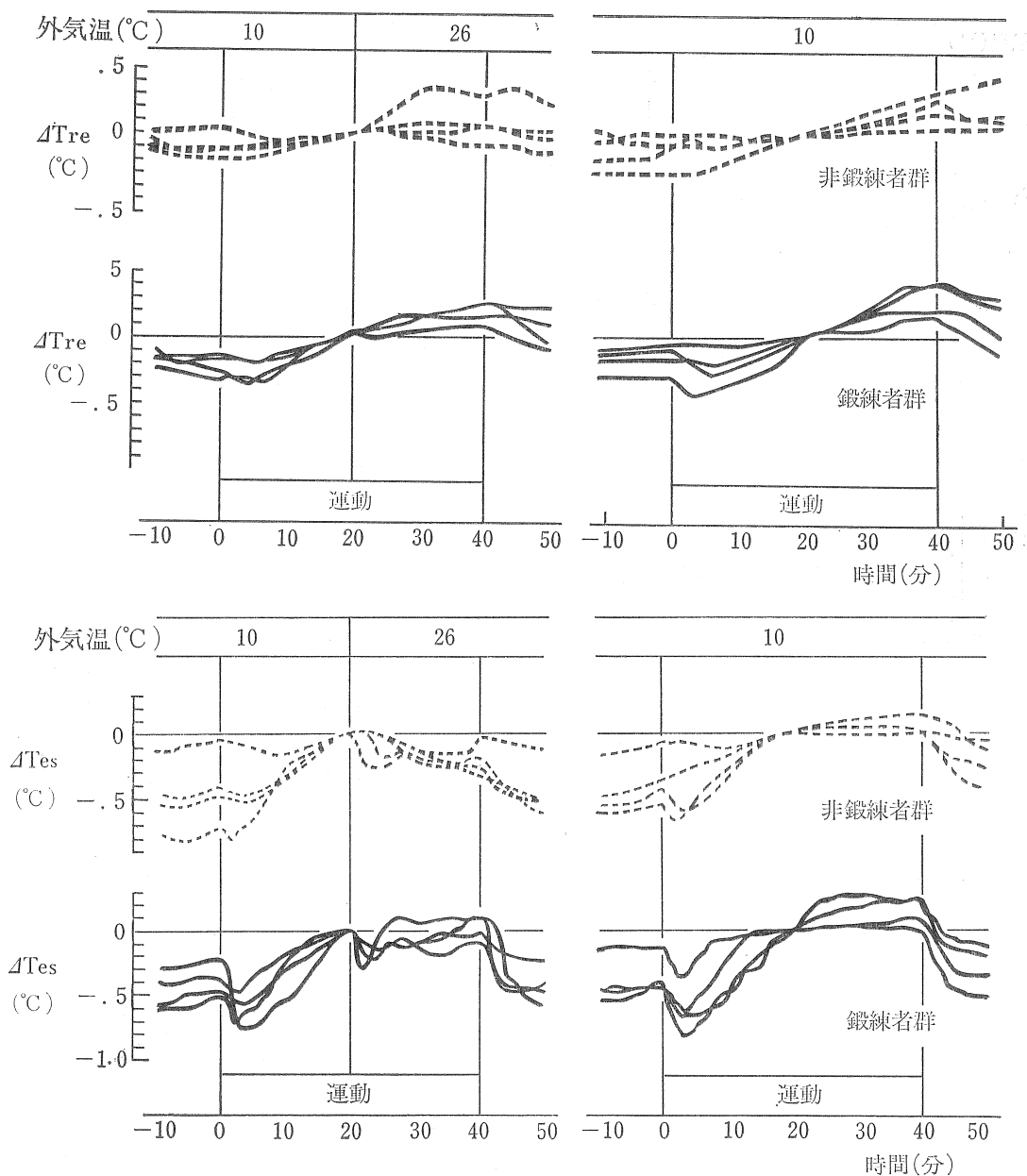


図 2 直腸温 (Tre) 並びに食道温 (Tes) の変化
温度スケールは、運動開始20分での値を基準にそれからの差 ($\Delta^{\circ}\text{C}$) で表示

終了時点での値が20分時の水準に戻る例はみられない。これに対して鍛練者群の食道温は外気温のステップ上昇後、直ちに低下するがその後再びもとの水準に戻り、以後運動終了時まで steady な状態を保つ例が多い。表 2 の食道温で比較すると、鍛練者群では運動開始10～20分値に比して30～40分値はおよそ 0.1°C 上昇しているのに対し、

非鍛練者群では逆におよそ 0.1°C 低下している。

以上のように、運動時の深部体温は外気温のステップ上昇に対して一過性の低下を示し、その低下傾向は非鍛練者群により明確にみられた。

次に平均皮膚温の変化の様相を比較したものを図 3 に示した。室温 26°C における安静時の平均皮膚温では、両被検者群の間に大きな差はみられな

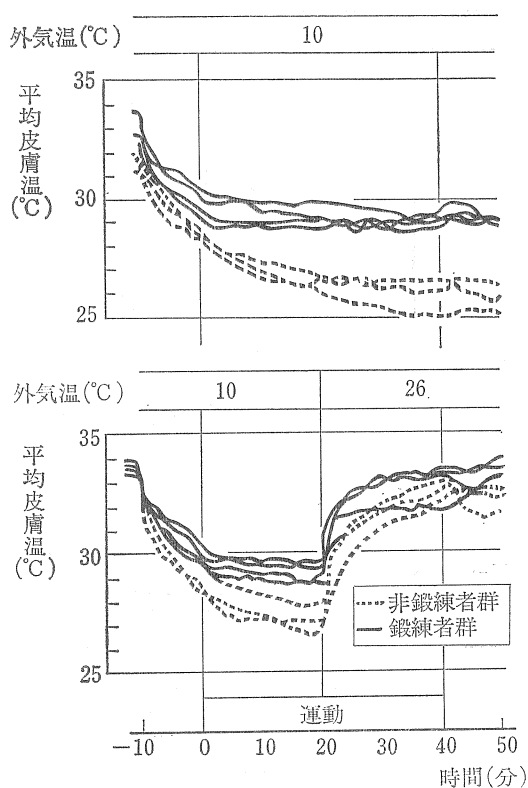


図 3 平均皮膚温の変化

い。室温10℃で安静を保持するとき、平均皮膚温は漸次低下するがその低下度は非鍛練者群の方が大きい。運動時の平均皮膚温では、コントロールの場合、鍛練者のそれは運動開始後わずかに低下した後、運動終了時までゆるやかに低下するかあるいは一定の水準を維持している。これに対して、非鍛練者の平均皮膚温は運動終了時まで漸次低下し続ける。従って、運動終了前10分間の値で比較すれば、約3℃の差が生じた(表3)。

外気温のステップ上昇に対して平均皮膚温は直ちに上昇し一定水準に達するが、この平均皮膚温の上昇過程で鍛練者群と非鍛練者群間には若干の相違がみられた。すなわち、鍛練者群ではその立上りが速く、およそ10分で一定水準に達した後は運動終了まで比較的安定している。一方、非鍛練者群では比較的ゆるやかな上昇を示し、鍛練者群にみられた steady state を示す例は少ない。

図4は、本実験において測定した皮膚温の内、前額、胸、前腕、大腿の皮膚温について、外気温のステップ上昇の条件における変化の様相を表わしたものである。前額の皮膚温では、個人間に差はみられるが、鍛練者群と非鍛練者群の間に明確

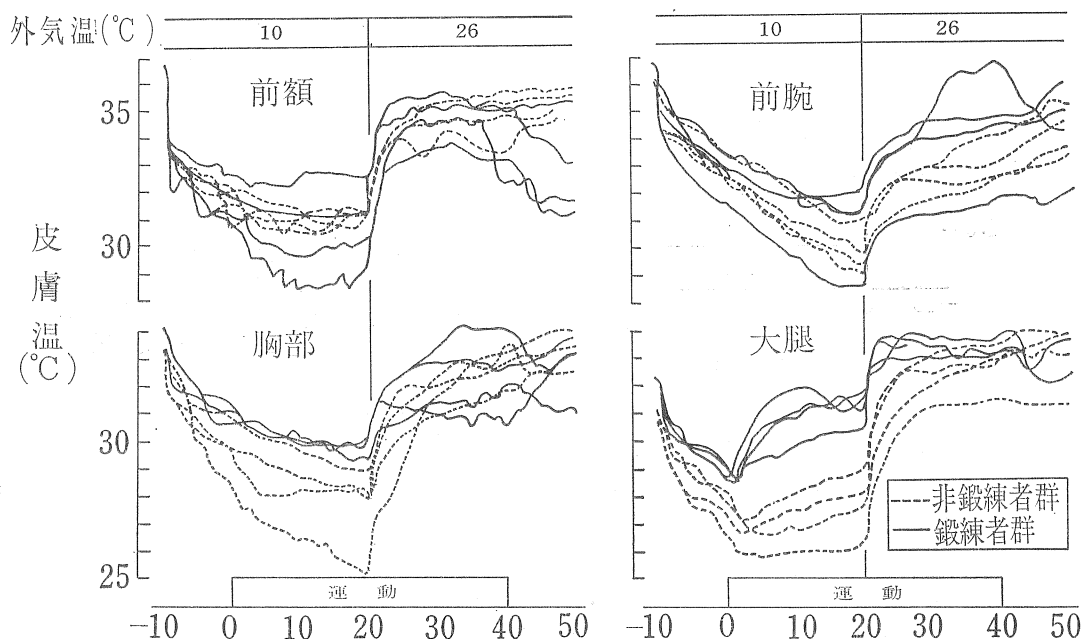


図 4 前額、胸部、前腕、大腿の皮膚温の変化

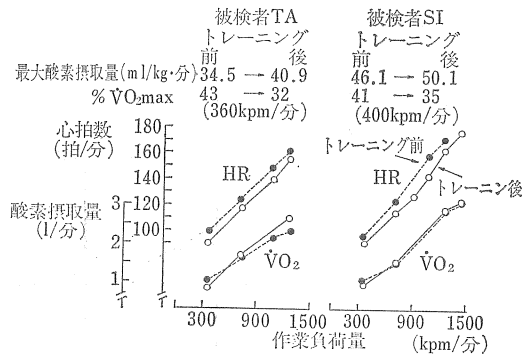


図5 1カ月間のトレーニングによる有酸素性作業能の比較

な差はみられなかった。胸部並びに前腕の皮膚温では、全般に鍛練者群の方が高い水準を示し、外気温の上昇に対しても、その応答がより速い傾向がうかがわれた。両被検者群に最も顕著な差がみられたのは、大腿の皮膚温の変化パターンであった。鍛練者群の大腿皮膚温は運動開始直後に一過性のわずかな低下を示した後上昇に転ずるが、非鍛練者群では運動開始後低下しその後一定水準を維持するか上昇に転じてみわづかである。また、外気温の上昇に対しても、鍛練者群ではその立上りが極めて速く、直ちに steady state を形成するが、非鍛練者群ではその上昇がより緩慢である。

2. トレーニング実験

非鍛練者群の内、被検者T AとS Iについて約1カ月間の身体トレーニングを行なわせそのトレーニング効果をみたのが図5である。

被検者T. Aの最大酸素摂取量は34.5ml/kg・分から40.9ml/kg・分と約20%の増加を示し、被検者S Iでは46.1ml/kg・分から50.1ml/kg・分と約9%の増加を示した。最大下の各作業負荷に対する酸素摂取量は、トレーニング前と後でほとんど変わらなかった。従って、自転車エルゴメーター運動の相対強度(%VO₂ max)はトレーニング後には低くなる。

図6は、この2人の被検者の心拍数変化をトレーニングの前と後で比較したものである。両被検者ともトレーニング後も同一負荷での自転車運動を行なったが、トレーニング後には低水準の心拍数で運動を遂行している。

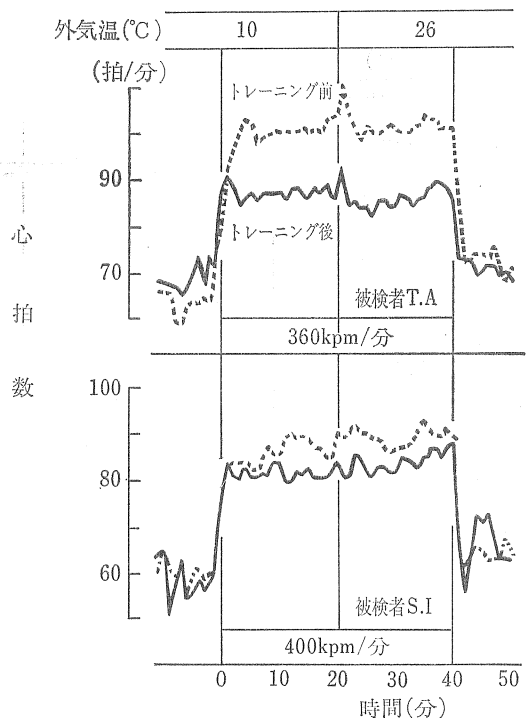


図6 トレーニング前・後の心拍数の変化

次に、体温の変化過程についてトレーニング前と後を比較したものが図7である。深部体温のうち特に食道温に、トレーニングによる影響が鮮明に表われている。室温10℃において20分間の運動中、食道温の上昇そのものがトレーニング後には低くなった。そして、外気温の上昇に対しトレーニング前では漸次低下しつづけていたものが、トレーニング後では運動の後半で上昇に転じている。この傾向は特に被検者T Aにおいて著明にみられた。次に平均皮膚温の変化については、室温10℃において運動開始後漸次低下していたものが、トレーニング後ではその低下が小さくなり、より steady な状態がみられた。

各部の皮膚温のうち、鍛練者群と非鍛練者群の間で最も著しい差がみられた大腿部の皮膚温について、両被検者についてトレーニング前と後を比較した(図8)。ここでも平均皮膚温にみられたトレーニングによる影響が、同様にうかがわれる。特に被検者T Aにおいては、運動開始後ほぼ一定水準を維持していた大腿皮膚温が、トレーニング後では一過性の低下を示した後、明らかに上

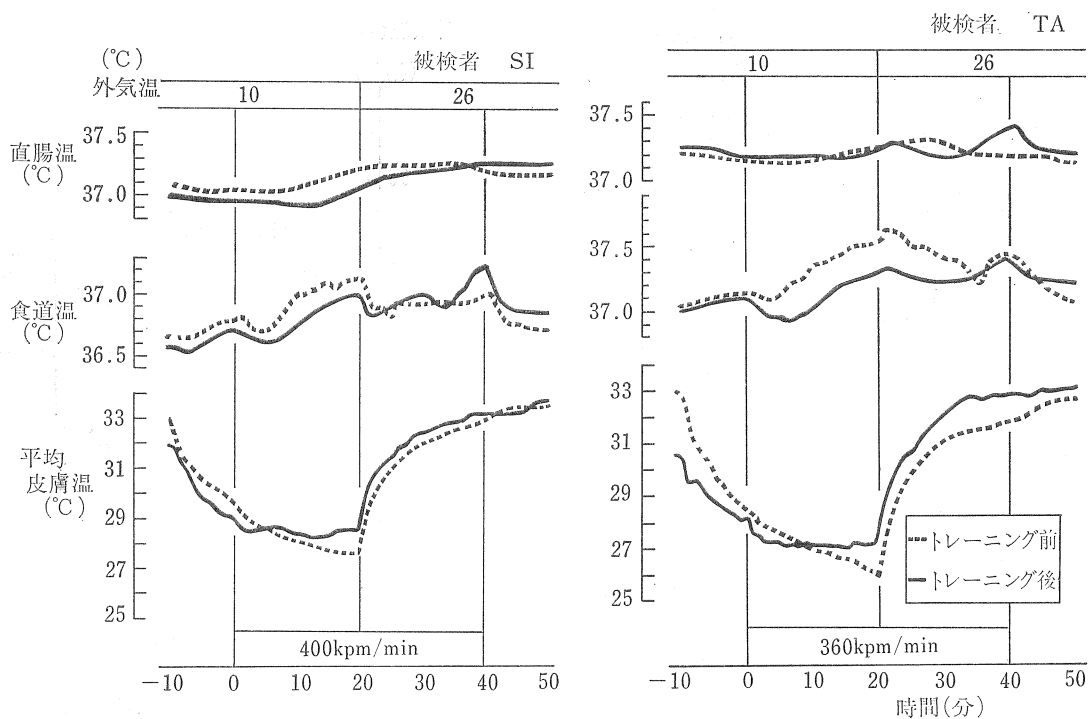


図7 トレーニング前・後の直腸温，食道温，平均皮膚温の変化

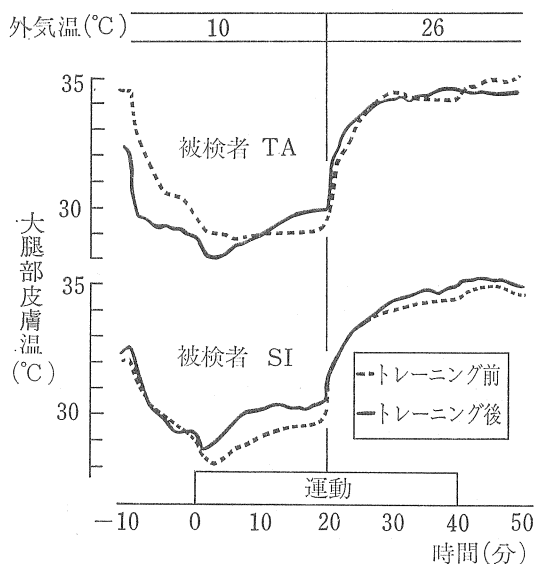


図8 トレーニング前・後の大腿部皮膚温の変化

昇に転ずるパターンへ移行していることが認められる。外気温上昇に対する皮膚温の反応については、平均皮膚温においても、また大腿部皮膚温においてもトレーニング前と後で特に著しい差はみ

られなかった。

以上、1カ月間の身体トレーニングを行なった2人の被検者の有酸素性作業能は明らかな向上を示し、体温変化の特性は鍛練者群にみられた特性に移行した。

IV 考察

これまでの研究報告の中で運動時の深部体温の連続的な記録例をみると、運動開始時において深部体温が一過性に低下する現象を観察することができる¹⁾²⁾¹⁵⁾。Aikasら¹⁾、Chappuisら²⁾は食道温の測定結果からこの現象を次のように説明している。運動の開始は全身の血液循環を亢進させ、筋など冷却された末梢の血液が体深部へ環流する。その結果、体深部の血液が冷却されることになり深部体温が低下する。

我々は第1報⁷⁾において、この考えを実験的に証明した。室温10、20、30℃で30分間の安静を保った被検者に対して運動を負荷すると、低温度の室温条件ほど、すなわち運動開始前の皮膚温が低いほど運動開始時の食道温の低下が大きい。これ

は、末梢の冷却の程度が深部体温の変化と関連していることを表わし、運動時の深部体温上昇過程において末梢循環の影響を無視できないことを示唆するものである。

前報⁴⁾並びに本研究の実験結果は、運動継続時においても皮膚における血流の変化が深部体温にも影響を及ぼすことを示している。すなわち、運動の途中より外気温を変化させると、その変化と反対の方向へ深部温が一過性に変動する。Rowellらを中心とする研究者グループも water-perfused suit によって人工的に皮膚温をコントロールし、皮膚温の急速な上昇が食道温あるいは動脈血温の一過性の低下を招くのを観察している⁵⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。彼らは、運動時の深部体温上昇が合目的に調節されているというより (set-point 説)、むしろ全身の血流配分をめぐって末梢並びに体中心部で調節された結果として体温上昇が生ずるものであることを指摘している。

我々が本研究で特に興味を持ったのは、この運動時における末梢での血流調節には被検者の作業能あるいは鍛練度といった要因が関与しているのではないかということである。

前報⁴⁾において、低運動負荷時 ($40\% \dot{V}O_2 \max$) ほど運動継続時の外気温変化に対する深部体温の逆方向への変動が大きいことを観察していることから、本実験でも $40\% \dot{V}O_2 \max$ の強度を選んでいる。心拍数は鍛練者群でわずかに高い値を示したが、深部体温ではコントロール実験条件において両被検者群とも同一水準を示した。従来の報告通り⁹⁾⁽¹⁶⁾、運動時の深部体温は被検者の相対的運動強度に比例する結果を得た。同一の相対強度の運動を遂行し、同一の深部体温水準にありながら、外気温をステップ上昇させると、食道温の一過性の低下が非鍛練者群により大きくみられた。一方、皮膚温は非鍛練者群に比べ鍛練者群がより高い水準にあり、また外気温上昇に対する応答もより鋭敏であった。この結果から、鍛練者群の運動時における皮膚血管はより拡張した状態にあり、外気温上昇に対して鍛練者では皮膚血管運動の応答が速く、非鍛練者群でより緩慢であることが推察される。

本実験では皮膚温のみから皮膚血流の動態を予

測しているが、皮膚温そのものは、例えば体脂肪の厚さなども関与してくるものと考えられる。本実験の被検者群では非鍛練者群がより高い体脂肪値を示しており、この点も考慮しなければならない。そこで、非鍛練者群の内、2名の被検者に対し実際に1カ月間のトレーニングを実施させトレーニングの影響を検討した。

両被検者ともトレーニングによって最大酸素摂取量は9%と20%の増加がみられ、また同一作業負荷に対する心拍数も減少しており、明らかにトレーニングによる有酸素的作業能の向上が認められたと判断できよう。一方、同一作業負荷に対する酸素摂取量に変化がなく、相対的強度 ($\% \dot{V}O_2 \max$) は低下していることになる。同一作業負荷 (絶対的強度, kpm/分) に対する深部体温もトレーニング後で低下しており、深部体温と $\% \dot{V}O_2$ が比例関係にあることがここでも認められた。外気温のステップ上昇に対する体温変化については、食道温の一過性の低下がより小さくなり、皮膚温水準が高くなるという結果が得られた。これは、非鍛練者の体温応答特性がより鍛練者にみられたパターンへ移行したことを示している。

Clausen³⁾によれば、運動時の心臓並びに末梢抵抗血管への交感神経刺激は $\% \dot{V}O_2 \max$ に比例する。それで、トレーニングにより一定負荷強度に対する上記二要因への交感神経刺激は減じられることになる。本研究結果も、この Clausen の説と合致するものと考ええる。すなわち、トレーニングによって有酸素性作業能の向上がみられた本実験の被検者2名において、同一負荷 (絶対強度) による運動に対してトレーニング後では末梢抵抗血管への血管収縮性交感神経刺激が減じられ、非作業筋、内臓及び皮膚への血流量が多くなり、おそらく作業筋への血流が減少することになると考えられる。つまり、同一負荷に対するトレーニング後の酸素摂取量は変わらなかったのも、おそらく心拍出量も変わらないと考えれば、結局その配分の割合がそれぞれの局所で異なることになる。その結果、体内の温度分布も異なり、内臓血流量、皮膚血流量の増加が深部体温の低下、皮膚温の上昇として表われているものと推察される。そのため、運動時の体温上昇は絶対的運動強度ではなく

相対的運動強度 ($\% \dot{V}O_2 \text{ max}$) に比例するものであり、換言すれば心臓及び末梢抵抗血管への刺激の度合と比例するものと言える。

被検者の鍛練度の違いによる、外気温上昇に対する深部体温の応答の相違も上記の説明がよくあてはまる。前述のごとく、外気温上昇に対する深部体温の低下は表在静脈血の体深部への急速な流入によるものと考えられる。この度合が被検者の作業能、鍛練度によって異なるのは、鍛練者では運動時の皮膚、内臓の血管がより拡張した状態にあり、非鍛練者では逆にその血管収縮の度合いが強い。従って、外気温上昇に対する皮膚血管の反射性拡張について、鍛練者では非鍛練者に比較しその拡張の相対的な割合がより小さくなる。このことから、血流配分の変動の程度も鍛練者ではより少なくなり、深部体温の一過性の低下もより小さくなるものと解釈される。

以上の考察から、身体トレーニングの効果を考えると、トレーニング刺激は心臓を中心とする central な循環へ与えられるだけでなく、皮膚血管運動中枢あるいはそのフィードバック機構にも加えられ、血流調節作用あるいは体温調節作用の相対的なバランスを変化させていることが推論される。

V ま と め

1. 運動遂行の途中より外気温をステップ上昇させたときの体温変化について、鍛練者と非鍛練者について比較した。また非鍛練者2名について1カ月間のトレーニングを実施させ、上記の体温変化を比較した。
2. 食道温は外気温ステップ上昇に対して一過性の低下を示し、その傾向は非鍛練者により顕著にみられた。皮膚温は鍛練者でより高い水準にあり、環境温変化に対する応答もより鋭敏であった。
3. 非鍛練者のトレーニング後における体温応答特性は、より鍛練者のパターンに移行した。
4. 外気温上昇に対する深部体温の一過性の低下は、皮膚血管運動による血流調節の結果として表われたものと解釈した。また、身体トレーニングはこの血流調節のバランスを変化させるも

のと考えた。

参 考 文 献

- 1) Aikas, E., M. J. Karvonen, P. Piironen, and R. Ruosteenoja, Intramuscular, rectal and oesophageal temperature during exercise. *Acta Physiol. Scand.* 54 : 366-370, 1962.
- 2) Chappuis, P., P. Pittet, and E. Jequier, Heat storage regulation in exercise during thermal transients. *J. Appl. Physiol.* 40(3) : 384-392, 1976.
- 3) Clausen, J. P., Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol. Rev.* 57, 779-815, 1977.
- 4) 伊藤静夫, 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 金子敬二, 松井美智子: 運動時における体温の動的様相 第2報・環境温度条件を変化させた場合の動的様相 昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IX.
- 5) Johnson, J. M., and M. Park, Reflex control of skin blood flow by skin temperature: role of core temperature. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 47(6) : 1188-1193, 1979.
- 6) Kitzing, J., K. Behling, A. Bleichert, S. Ninow, M. Scarperi, and S. Scarperi, Correlations between input and output of the thermoregulatory control system during rest and exercise. *Intern. J. Biometeorol.* 15 : 207-211, 1971.
- 7) 黒田善雄, 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 北嶋久雄, 松井美智子: 運動時における体温の動的様相—運動開始時の深部体温の変化について—, 昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IX.
- 8) 黒田善雄, 鈴木洋児, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫: 環境温度と持久性運動に関する研究第5報環境温度が長時間運動中の心機能に及ぼす影響について, 昭和49年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. VIII.
- 9) Nielsen, B. and M. Nielsen, Body temperature during work at different environmental temperature. *Acta. Physiol. Scand.* 56, 120-129, 1962.
- 10) Nielsen, M., Die Regulation der Körper temperature bei Muskelarbeit. *Skand. Arch. Physiol.* 79, 193-230, 1938.
- 11) Nakayama, T., Y. Ohnuki and K. Niwa, Fall in skin temperature during exercise. *Jap. J. Physiol.*

- 27 : 193—230, 1977.
- 12) Rowell, L. B., J. A. Murray, G. L. Brengelmann, and K. K. Kvaning III. Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. *Circ. Res.* 24 : 711—724, 1969.
 - 13) Rowell, L. B., Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.* 54, 75—159, 1974.
 - 14) Rowell, L. B., Competition between skin and muscle for blood flow during exercise. in : *Problems with temperature regulation during exercise*, edited by E. R. Nadel. New York, Academic Press, 1977.
 - 15) Saltin, B., and L. Hermansen. Esophagal, rectal, and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol.* 21(6) : 1757—1762. 1966.
 - 16) Saltin, B. Circulatory adjustments and body temperature regulation during exercise. in : *Physiological and Behavioral Temperature Regulation*, edited by J. D. Hardy, A. P. Gagge, and J. A. J. Stolwijk. Springfield, Ill. : Thomas, 1970.
 - 17) Shepherd, J. T., and M. M. Webb-Peploe. Cardiac output and blood flow distribution during work in heat. in : *Physiological and Behavioral Temperature Regulation*, edited by J. D. Hardy, A. P. Gagge, and J. A. J. Stolwijk. Springfield, Ill. : Thomass, 1970.

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XI 競歩における歩行速度と酸素摂取量に
関する研究

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XI 競歩における歩行速度と酸素摂取量に関する研究

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 松 井 美 智 子
白 鳥 金 丸¹⁾ 松 永 尚 久²⁾

はじめに

ヒトの基本的な運動である歩、走運動に関する力学的研究者やエネルギー消費に関する研究はこれまで多くの研究者によって報告されている¹⁾²⁾⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾。しかしながら陸上競技の競歩に注目した研究は必ずしも多くないように見受けられます⁵⁾。

オリンピック大会における競歩競技は20kmと50kmの2種目があり、20kmは1956年のメルボルン大会から、50kmは20kmよりは歴史的に長く、1932年のロスアンゼルス大会から実施されている。我国のオリンピック大会出場の経過を記録から調べてみると、同じ陸上競技の中の類似種目であるマラソンに比べ、あまりにも世界との差が大きいといえよう。すなわち1979年度における世界最高記録と日本最高記録を比較してみると、マラソンは2時間8分34秒に対し2時間9分5秒6でその差は31秒6に対し、20km競歩は世界最高1時間29分32秒8で、日本最高は6時間29分32秒8で、6分10秒8の差がある。50km競歩は3時間41分20秒に対し4時間17分58秒6でその差は36分38秒6と大きな差になっている¹¹⁾。日本の競歩関係者にとっては、世界のレベルとあまりにも離れている日本の競歩競技に対し、何の強化策を施さないでおくことはできない。もち論、競歩人口の差であるとかその他いろいろな要因が考えられるであろうが、日本の一流選手の実態を客観的に

把握していくことが、まず強化の第一歩であろうと思われる。

我々は日本陸連の全面的な協力を得て、強化合宿の機会をとらえ、実際の道路での競歩中の歩行速度と酸素摂取量、の測定を実施した。

競歩における歩行速度と酸素摂取量に注目した研究を行うと同時に日本一流選手の実態を分析し、今後の強化の資料を得ることを目的に本研究を実施した。

実験方法

1. 実験の実施期日

本実験は1979年8月14日～17日までの5日間にわたり山梨県富士五湖のひとつ西湖畔において実施した。その時の気象条件は天候はれ、気温27.0～31°C、湿度50～60%であった。

2. 被検者

被検者は日本陸上競技連盟の強化選手5名で、年齢、身長、体重、下肢長、最大酸素摂取量と競技成績は表1に示すごとくである。体重当りの最大酸素摂取量は最高がY. Iの68.8ml/kg・分、最低はK. Sの61.2ml/kg・分であった。なお最大酸素摂取量は傾斜5度のトレッドミル速度漸増法によるオールアウト走によって求めたものである。

3. 歩行コースと歩行スピードの設定

歩行コースは富士五湖のひとつ西湖畔を周遊する一般道路に3kmの競歩コースを設定した。図1に歩行コースの概略図を示した。

歩行速度は歩行コースの100mごとに標識を立

¹⁾早稲田大学体育局 ²⁾東海大学

表1 被検者の特性

被検者	年齢 歳	身長 cm	体重 kg	下肢長 cm	最大酸素摂取量 l/min	ml/min	競技成績 20km 時、分、秒
K・S	30	175.5	62.0	92.6	3,795	61.21	1・34・51 (6)
S・K	27	165.7	54.5	85.0	3,363	61.70	1・49・14 (38)
K・W	31	166.5	60.6	89.7	3,954	65.25	1・33・17 (3)
H・D	19	167.1	51.5	83.2	3,475	67.47	
Y・I	24	169.0	59.0	85.1	3,061	68.82	1・31・14 (2)

※ () 内は 1978 年度日本 100 傑中の順位

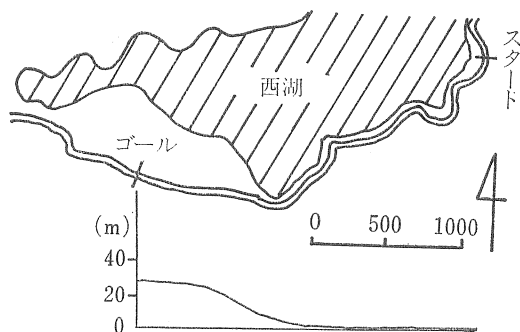


図1 歩行コース

て測定器具を積んだ車の併走により実施した。ストップウォッチで 100 m ごとのラップタイムを計時し、あらかじめ指示したスピードのラップタイムとの差から選手にスピードの調整を適確に指示すると同時に、自転車のタイヤを利用し、タイヤのリムにマグネットを等間隔に取り付け、マグネットセンサーから瞬時のスピードを現わし車のスピードを調節した。設定した歩行速度は 180 m/分から 240 m/分の 6 種類である。

4. 測定項目とその方法

イ. 歩行記録 スタートから 200 m ごとのラップタイムと 3 km の総合時間を伴走する測定車に同乗した計時員が記録した。

ロ. ピッチ ペーパーストレンゲージを右足、「土ふまず」のか所に貼りつけ、ゲージの変化を連続的に記録することによりピッチ数を求めた。

ハ. 心拍数、呼吸数、胸部双極誘導法による心電図を併走する測定車で有線にて走行中連続記録し 1 分ごとの心拍数を求めた。呼吸数は採気用マスク内に装着したサーミスターによる呼吸曲線を心電図と同時記録した記録紙上から求めた。

ニ. 換気量、酸素摂取量、被検者は呼吸を採集するためマスクを装着し、伴走する測定車に蛇管で接続された。呼吸の採集はいずれの歩行速度においてもスタート後 2,300 m～2,400 m 地点から開始し、3,000 m 地点まで連続採気し、乾式ガスメーターを通して換気量を求め、その一部をショランダー微量ガス分析器にて分析し、酸素摂取量

表2 3km競歩記録と平均速度

設定速度 被検者	180 m/min	200 m/min	210 m/min	220 m/min	230 m/min	240 m/min
K・S		分 秒 14・55 (201)	分 秒 14・19 (210)	分 秒 14・05 (213)	分 秒 14・08 (212)	分 秒 13・54 (216)
S・K	分 秒 16・34 (181)	14・58 (200)	14・29 (207)	14・23 (209)	13・49 (217)	
K・W		15・10 (198)	14・09 (212)	13・36 (221)	13・01 (231)	12・56 (232)
H・D		15・00 (200)	13・53 (216)	13・32 (222)	13・11 (228)	12・58 (231)
V・I		15・09 (198)	14・11 (212)	13・36 (221)	13・32 (222)	12・55 (232)

() 内は平均スピード m/min

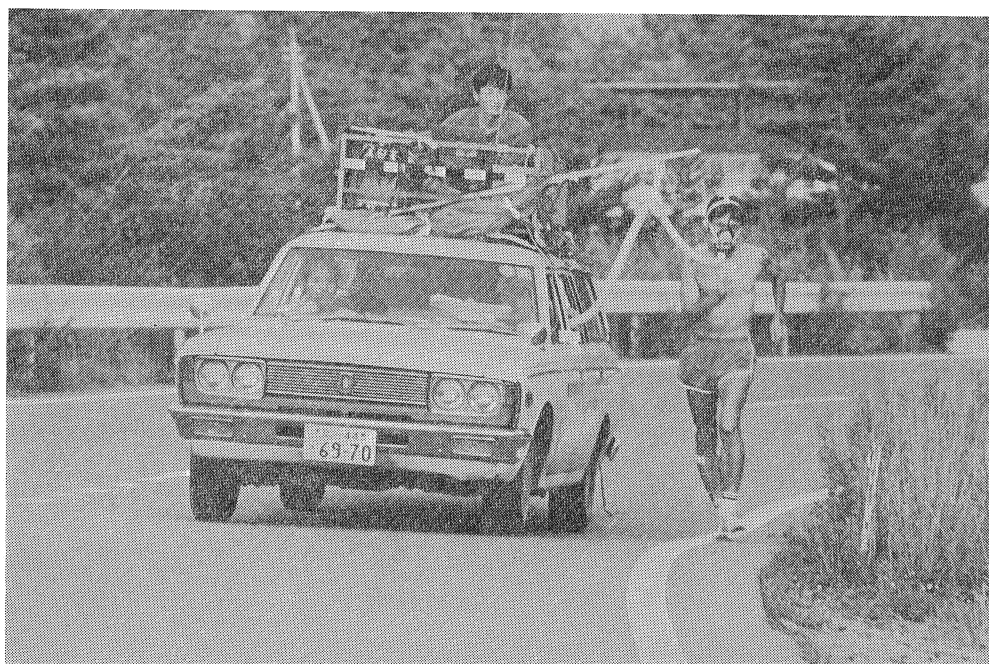


写真1 測定風景

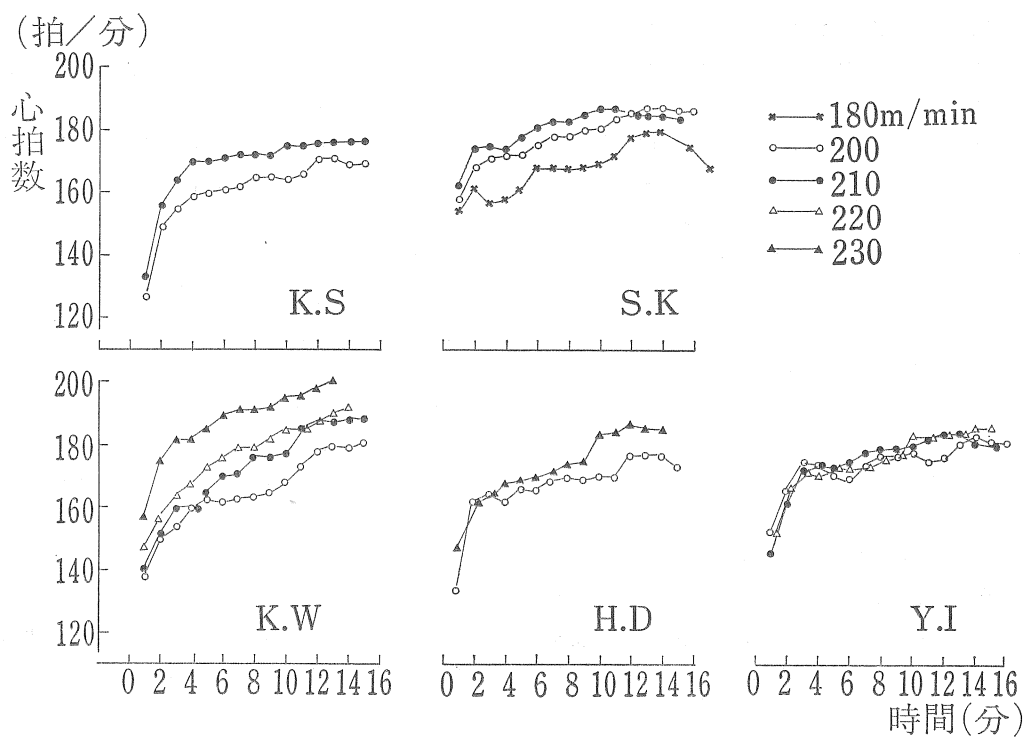


図2 心拍数の経時的変化

を求めた。

写真1は併走車に測定器具を積みこんで、実際のコースで実験を行っている測定風景の写真である。

実験結果

1. 歩行記録と平均速度

表2は各設定スピードで3 kmを歩行した時間と平均スピードの一覧表である。

180m/min, 200m/min, 210m/minでのスピード設定における歩行はいずれの選手も比較的安定した歩行が可能であったため、平均スピードにしても設定スピードにほぼ近い値で歩行していた。しかしながら220m/min以上のスピードになると、併走車から100 mごとに適格な時間の指示を与えたにもかかわらず、平均スピードにすると大幅な遅延をみた。

2. 心拍数の変化

各選手が当初設定した歩行スピードに対して、ほぼその条件に近い平均スピードで歩行したもののについてのみ図2に心拍数の変化を示した。

被検者K, Sは200m/min, 210 m/min, S, Kは180m/min, 200m/min, 210m/min, K, Wは、200m/min, 210m/min, 220m/min, 230m/min H, Dは200m/min, 220/mm, 230m/min Y, Iは200m/min, 210m/min 220m/minの条件において平均スピードがほぼ一致している。

歩行開始3～4分でいずれのスピードにおいても急激な増加を示している。それ以降は被検者によって異なるが、わずかつつの上昇傾向にある。被検者K, Sは4分以降の増加は小さく、ほぼ定常状態にあって200m/minは160～170拍/分の水準にあり、210m/minは170～175拍/分の水準にある。被検者K, Wは4種類のスピード条件での歩行がなされ、200m/minから230m/minのいずれのスピードも運動開始から3 km終了までわずかな上昇傾向にあり、230m/minのスピードの競歩では最高心拍数は200拍/分まで上昇した。被検者Y, Iは200m/min, 210m/min, 220m/minのスピードでの心拍変化はほぼ同じレベルの変化でスピード変化による区別が不可能である。

3. 呼吸数の変化

呼吸数の変化についても心拍数同様、3 km 歩

行の記録から平均スピードを求めて設定したスピードにほぼ近い歩行であったものにつき、図3に示した。

歩行開始の立上り以降は被検者K, Wを除きいずれのスピードでもほぼ定常状態を保ち運動終了時に上昇する傾向がみられる。K, Wは200m/min 210m/min, 220m/minのスピードでは10分から11分以降、それまでわずかつつの上昇であったものが、最後の頑張りのため呼吸数の増加が認められる。230m/minのスピードの際は運動開始後8分以降急激に増加した。被検者K, Sは200m/minと210m/minのスピードの変化が示されており、200m/minのスピードにおいて6分、7分あたりで一度急激に減少したがそれ以降またもとのレベルに達した。被検者S, Kは210m/minのスピードでの値が他の2種類のスピードでの変化より約10回/分高いレベルにありほぼ65回/分ある。被検者H, Dの230m/minのスピードでの変化は、スタートから70回/分を示し5名の中で最も高いレベルでの変動であった。

4. ピッチの変化

ピッチの変化についても心拍数と同じスピード条件における変化を図4に示した。

設定されたスピードで歩行するために運動開始から各個人のピッチでスピードに対応して歩行がなされている。

被検者K, S, H, D, Y, Iは200m/min, 210m/minといったスピードでの歩行はS, K, K, Wに比べ少ないピッチ数であるのに対し、S, K, K, Wは200m/minのスピードでも200歩/分以上と高いピッチでの歩行である。S, K, Y, Iの運動時間経過に伴うピッチ数の変動をみると運動の後半にピッチ数の減少の傾向がみられる。ピッチ数の減少に伴い、スピードの減少もみられた。また被検者K, Wのように220 m/minのスピードまでの歩行では比較的安定したピッチでの歩行が可能であるが、230m/minのスピードでは、運動開始時は220歩/分と高いピッチで設定したスピードの歩行を保っているが、次第にその高いピッチを保持することが無理で順次減少する傾向がみられ、運動終了時にまたピッチの増加がみられる。実際の道路での歩行のため、多少の高低差が道路にある

表 3 步行速度，換気量，酸素摂取量

被 検 者	200m/min				210m/min				220m/min				230m/min				240m/min			
	スピード m/min	$\dot{V}E$ /分 ℓ/分	$\dot{V}O_2$ mℓ/分	$\dot{V}O_2/W$ mℓ/kg-分	スピード m/min	$\dot{V}E$ /分 ℓ/分	$\dot{V}O_2$ mℓ/分	$\dot{V}O_2/W$ mℓ/kg-分	スピード m/min	$\dot{V}E$ /分 ℓ/分	$\dot{V}O_2$ mℓ/分	$\dot{V}O_2/W$ mℓ/kg-分	スピード m/min	$\dot{V}E$ /分 ℓ/分	$\dot{V}O_2$ mℓ/分	$\dot{V}O_2/W$ mℓ/kg-分	スピード m/min	$\dot{V}E$ /分 ℓ/分	$\dot{V}O_2$ mℓ/分	$\dot{V}O_2/W$ mℓ/kg-分
K・S	196.7	127.9	3121	49.54	200.0	146.1	3314	52.60	200.0	143.1	3541	56.21	200.0	142.3	3367	53.45	218.2	150.8	3414	54.19
	203.4	134.1	3051	48.43	210.5	146.1	3267	51.86	200.0	146.1	3321	52.71	203.4	141.0	3060	48.57	196.7	144.1	3270	51.91
	210.5	134.9	3131	49.69	214.3	145.7	3233	51.31	—	—	—	—	206.9	140.0	3215	51.04	218.2	152.4	3386	53.74
$\bar{X}$	203.5	132.3	3101	49.22	208.3	146.0	3271	51.92	200.0	144.6	3431	54.46	203.4	141.2	3214	51.02	211.0	149.1	3357	53.28
S・D	5.65				6.05				0				2.82				10.14			
S・K	203.4	103.9	2614	46.35	196.7	121.5	3080	54.61	200.0	122.8	3343	59.27	218.2	127.8	3111	55.16	184.6	94.9	2654	47.05
	203.4	115.4	2872	50.93	203.4	122.2	2965	52.56	203.4	121.9	3009	53.35	214.3	130.3	3044	53.97	190.5	93.3	2656	47.09
	200.0	116.4	2777	49.23	203.4	124.3	3062	54.29	210.5	122.0	2932	51.99	222.2	129.7	3025	53.64	179.1	91.4	2551	45.22
$\bar{X}$	202.3	111.9	2754	48.84	201.2	122.7	3036	53.82	204.6	122.2	3095	54.87	218.2	129.3	3060	54.26	184.7	93.2	2620	46.45
S・D	1.60				3.16				4.37				3.23				4.65			
K・W	196.7	104.1	2910	45.62	210.5	114.3	3173	49.74	226.4	128.0	3379	52.96	222.2	144.6	3434	53.83	222.2	143.5	3392	53.16
	200.0	94.9	2689	42.15	214.3	116.3	3257	51.05	222.2	135.8	3573	56.00	226.4	147.2	3402	53.32	222.2	144.1	3417	53.56
	203.4	115.6	3235	50.70	226.4	118.1	3236	50.73	235.3	130.4	3307	51.83	235.3	156.2	3446	54.01	244.9	152.5	3484	54.61
$\bar{X}$	200.0	104.9	2945	46.16	217.1	116.2	3222	50.51	228.0	131.4	3420	53.60	228.0	149.3	3427	53.72	229.8	146.7	3431	53.78
S・D	2.74				6.78				5.46				5.46				10.70			
H・D	203.4	125.0	2970	55.21					218.2	155.9	3268	60.74	218.2	161.1	3247	60.35	218.2	152.9	3127	58.12
	203.4	120.7	2845	52.88	218.2	154.7	3196	59.41	218.2	158.3	3226	59.97	222.2	164.8	3265	60.69	226.4	154.5	3155	58.64
	200.0	119.6	2868	53.32	214.3	141.0	3016	56.06	222.2	156.3	3330	61.90	235.3	165.2	3194	59.36	240.0	151.0	3114	57.89
$\bar{X}$	202.3	121.8	2894	53.80	216.9	147.8	3106	57.74	219.5	156.9	3275	60.87	225.2	163.7	3235	60.11	228.2	152.8	3123	58.22
S・D	1.60				1.84				1.89				7.30				8.99			
Y・I	200.0	121.3	3033	49.32	206.9	143.6	3449	56.08	210.5	151.6	3621	58.87	222.2	149.3	3604	58.60	210.5	153.0	3629	58.99
	203.4	128.1	3123	50.79	214.3	144.8	3408	55.41	218.2	149.5	3547	57.68	210.5	149.3	3428	55.73	206.4	143.0	3424	55.67
	196.7	122.9	3000	48.79	203.4	140.8	3381	54.98	226.4	153.5	3546	57.66	222.2	146.1	3237	52.63	—	—	—	—
$\bar{X}$	200.0	124.1	3052	49.63	208.2	143.1	3413	55.49	218.4	151.5	3571	58.07	218.3	148.2	3423	55.65	214.4	148.0	3527	57.33
S・D	2.74				4.54				6.49				5.52				8.63			

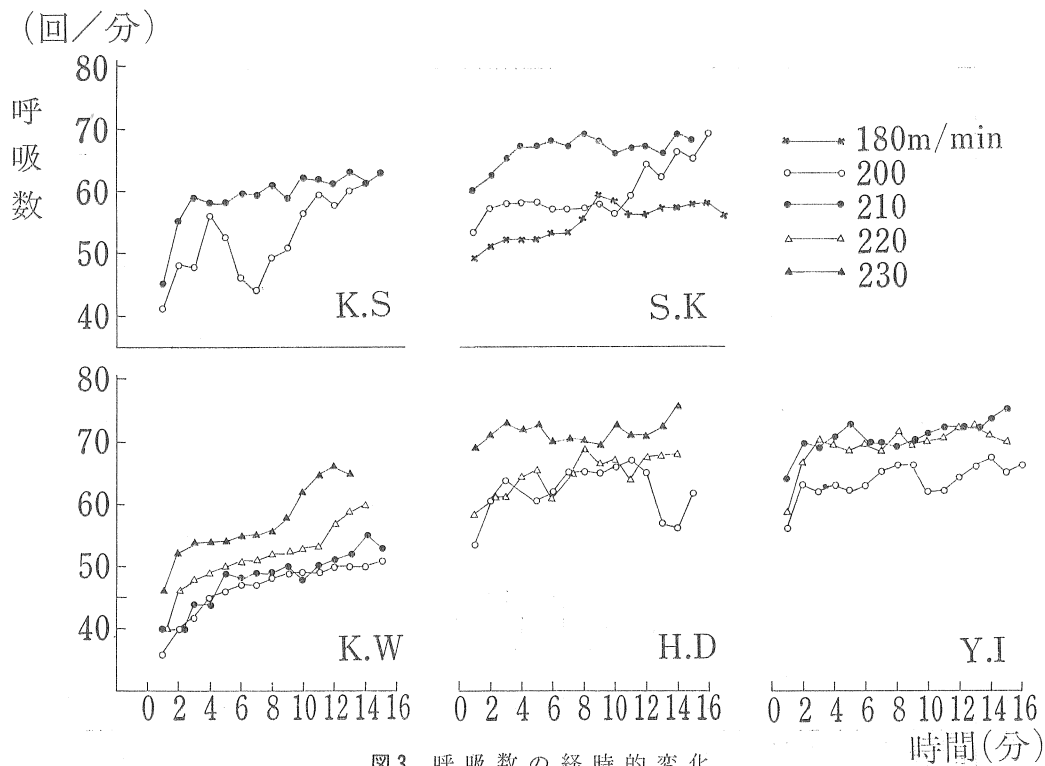


図3 呼吸数の経時的変化

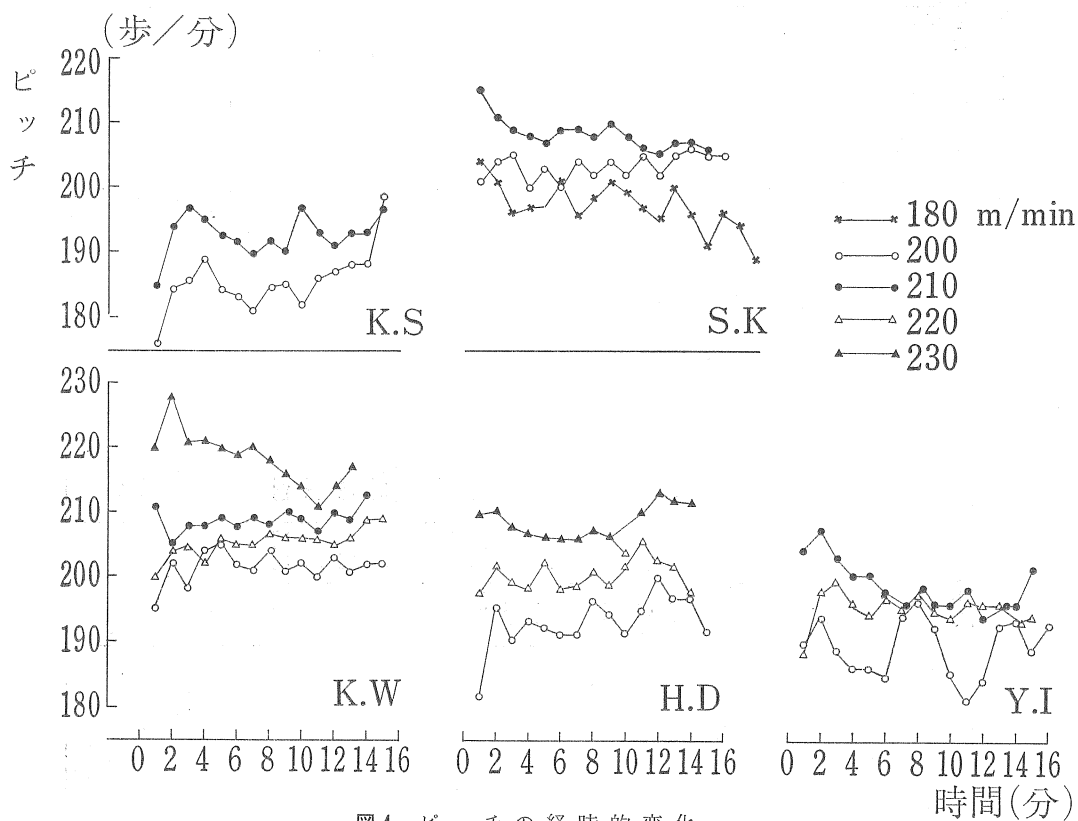


図4 ピッチの経時的変化

ため、直接ピッチの増減に影響を及ぼす傾向がみられた。

5. 換気量, 酸素摂取量

3 km の歩行コースの2,300m~2,400m地点から3,000m 地点にわたり連続的に呼気を採集し、換気量と酸素摂取量をまとめ表3に示した。

呼気を採集している区間における歩行スピードは設定したスピードに対し、いずれの被検者も多少異ったスピードになった。そのため、各歩行速度に対する換気量をプロットすると図5のようになり、両者の相関は $r=0.641$, 0.1%水準の有意な相関が得られた。また酸素摂取量についてもス

ピードと酸素摂取量の関係を見ると図6のようになる。相関係数0.541で0.1%水準の有意な相関がえられた。

考 察

実際の道路での競歩における歩行速度と酸素摂取量に関する実験を実施するにあたり、1979年4月、陸連は強化の一環として1978年度50km 競歩世界50傑中第15位ハインリッヒ・シュールベルト(H.S)と27位ハンス・ビンダ(H.B)の西独選手を招待して、競技会を開催した。その際、トレッドミルによる各種歩行速度による酸素摂取量の測定を実施する機会をえました。そこで合わせて日

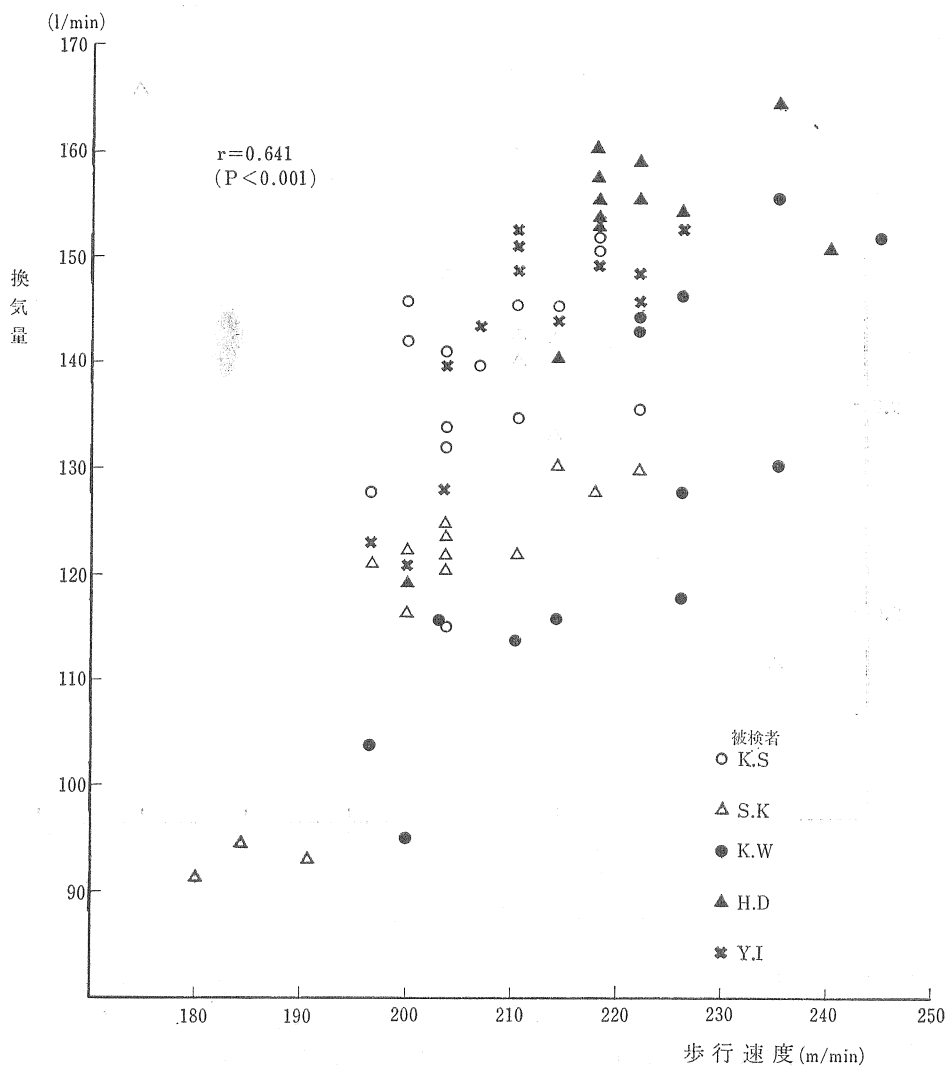


図5 歩行速度と換気量の関係

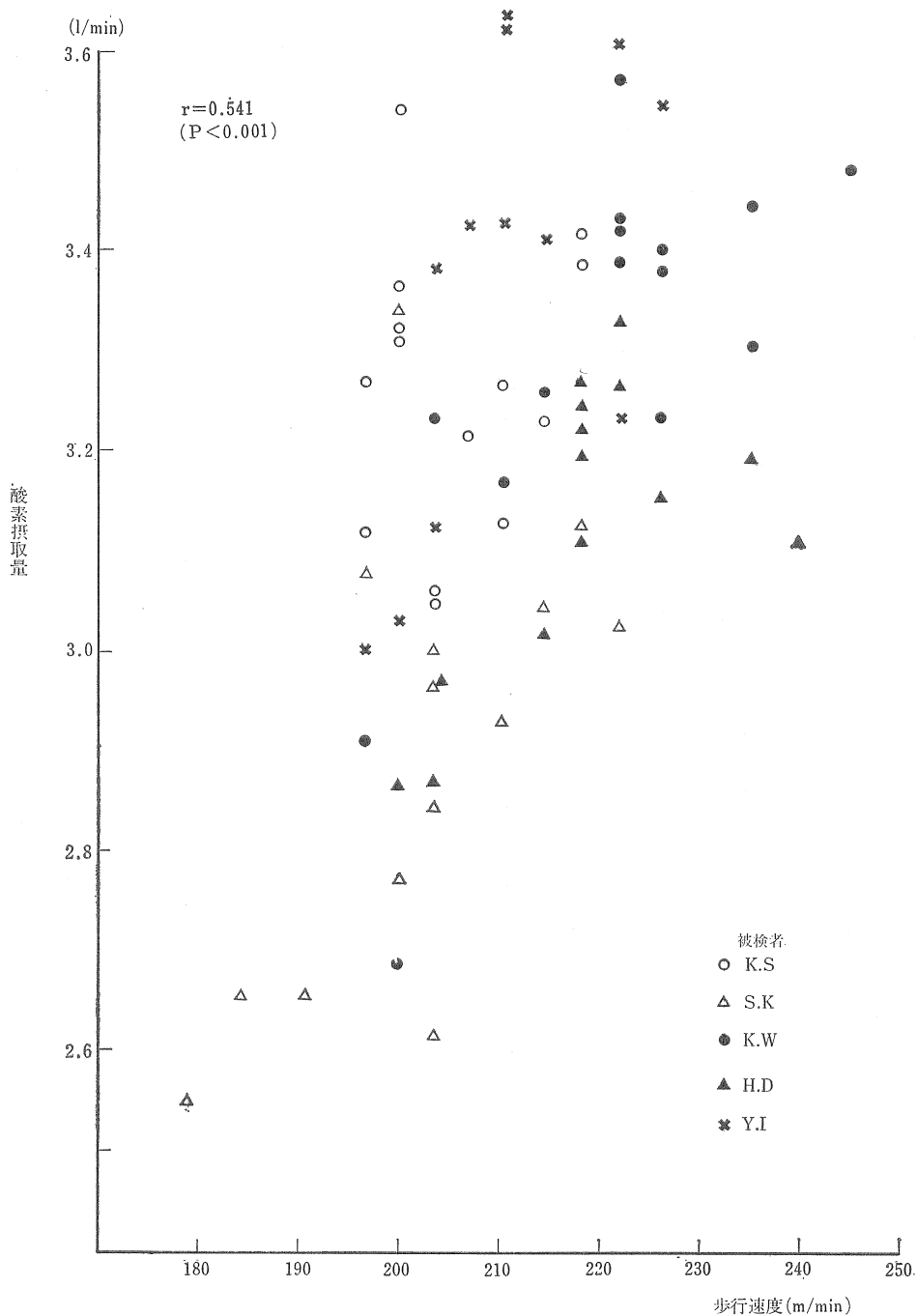


図6 歩行速度と酸素摂取量の関係

本の一流選手と競歩の経験のない一般人も測定した。

図7に示すごとく1分間80から110 mあたりの歩行速度では競歩選手よりもむしろ競歩の未経験

者の方が少ない酸素摂取量で運動が行われていますが、さらに歩行速度が高くなるに従い未経験者の酸素摂取量は競歩選手に比べ急激な増加を示し、150 m/分、160 m/分の速度で歩行できな

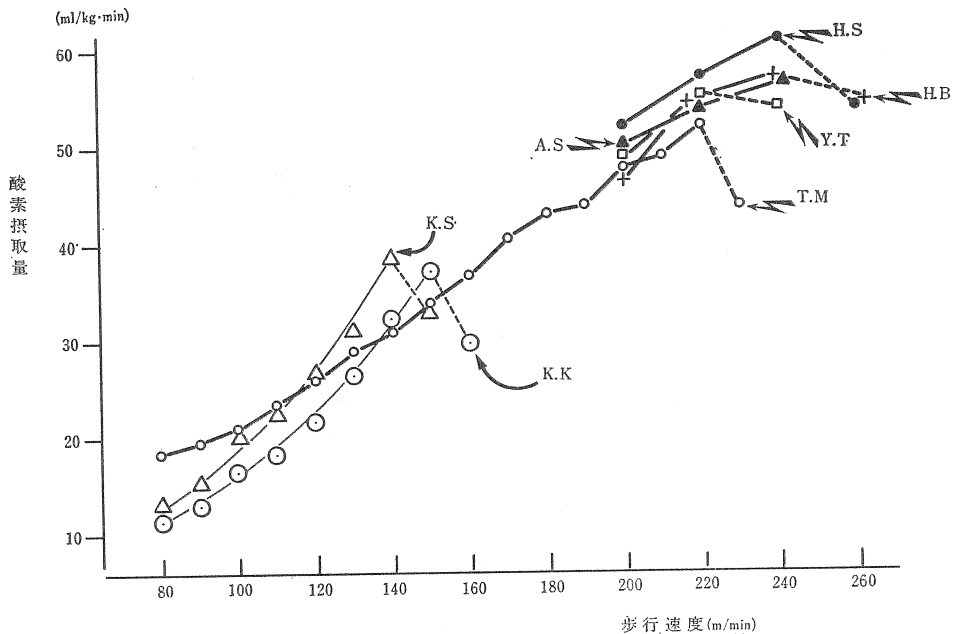


図7 トレッドミルによる歩行速度と酸素摂取量

くなり走運動に移行している。その結果は酸素摂取量は走運動になる前の歩行速度での酸素摂取量よりも少ない摂取量となっている。競歩選手はさらに高い速度での歩行が可能であり、日本の一流選手は 220m/min, 西独選手は 240m/min の速度まで歩行しているが、両者ともそれ以上のスピードになると、本人は歩行しているつもりだが、実際は走行が混ざった運動であるため、一般の未経験者同様、走った方が効率が良いので酸素摂取量は減少しているといえよう。240m/min の速度は現在の 20 km 世界最高記録の平均速度に該当する。また日本最高記録の平均速度は 223m/min になる。

このようにトレッドミルを使用して競歩における歩行速度との関係から一応の傾向をとらえることができた。しかしながら、初めてトレッドミルを歩く場合、よく歩きにくいことを訴える人が多いように思われる。

そこでより実際の面から競歩における歩行速度と酸素摂取量との関係を見るために、各種の歩行速度を設定して実際の道路での競歩から歩行速度と酸素摂取量の関係を把握、競歩の実態をとら

えることをねらって、今回の測定へと進展させた。

日本陸上競技連盟の競歩規則によると競歩は次のように述べられている。「競歩はいずれかの足が常に地面から離れないように前進することをいう。各ステップとも、歩者の前進する足（前方の足）は、後方の足が地面から離れる前に着かなければならない。各ステップする間に地面に着いているほうの足は、少なくとも一瞬、脚がまっすぐ（膝が曲っていないこと）でなければならず、特に支持脚は垂直に立った姿勢（位置）でまっすぐでなければならぬ」と定義されている¹²⁾。しかしながら、競技会においては、競歩コースのいくつかのか所に審判員がいて、選手が必ず規則通りの歩行を行っているか、人間の目によるチェックが行われている。従って微妙な歩行と走行の区分にもおのずから限界があるものと思われる。競歩選手になるためには歩行フォームといった技術的な練習がまず必要になってくるとと思われる。

1. 歩行速度と酸素摂取量について

得られた結果から歩行速度と酸素摂取量の関係をまとめてみると図8のようになる。さらにトレッドミルで求めた最大酸素摂取量から各歩行速度

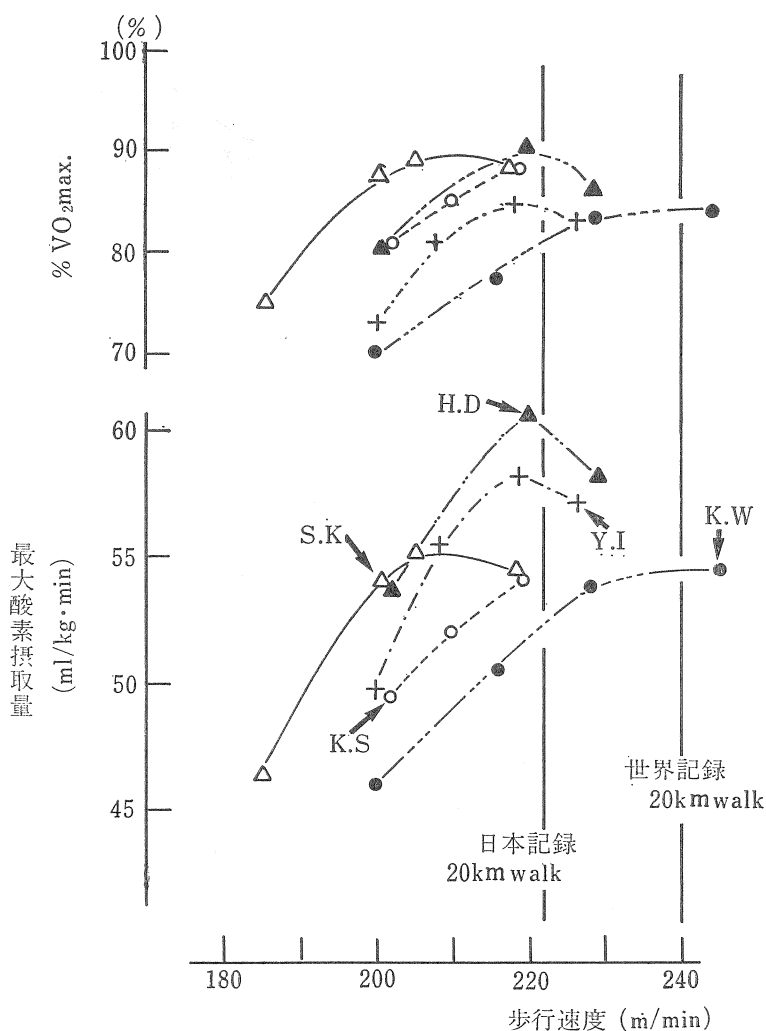


図8 歩行速度と酸素摂取量

での $\% \dot{V}O_{2\max}$ がどの程度になるか合わせて求めてみた。

各選手共歩行スピードが増すに従って酸素摂取量が大きくなっており、同一スピードに対しては被検者の能力によって大きな開きがある。このことはもち論、競歩の歩行技術の優劣による歩行効率が影響を及ぼしているものと思われるがさらに有酸素的能力の差も競歩中の酸素摂取量の大小に関係しているだろう。20km競歩の日本最高記録の平均速度223m/min付近が酸素摂取量の上限の傾向があり、それ以上のスピードでは $\dot{V}O_2$ はK.Wを除き減少している。このことは、トレッドミルによる競歩での歩行実験同様、競歩のフォームで

の運動を行っているにもかかわらず、すでに走行が混ったものであるといえよう。被検者S.Kはすでに210m/minから220m/minの間の速度で酸素摂取量が減少しており、今回の一流選手の中ではもっとも早い時期にこの傾向が現われているのに対し、逆にK.Wは240m/minの速度においても歩行が可能であったといえよう。歩行速度と酸素摂取量の関連をみる測定として設定した3kmの距離においてさえ、20kmの日本最高記録の平均スピード223m/minの速度での歩行が無理であることは、技術的にも体力的にも現在の水準をさらに進歩させなければ、記録の向上は望めないだろう。

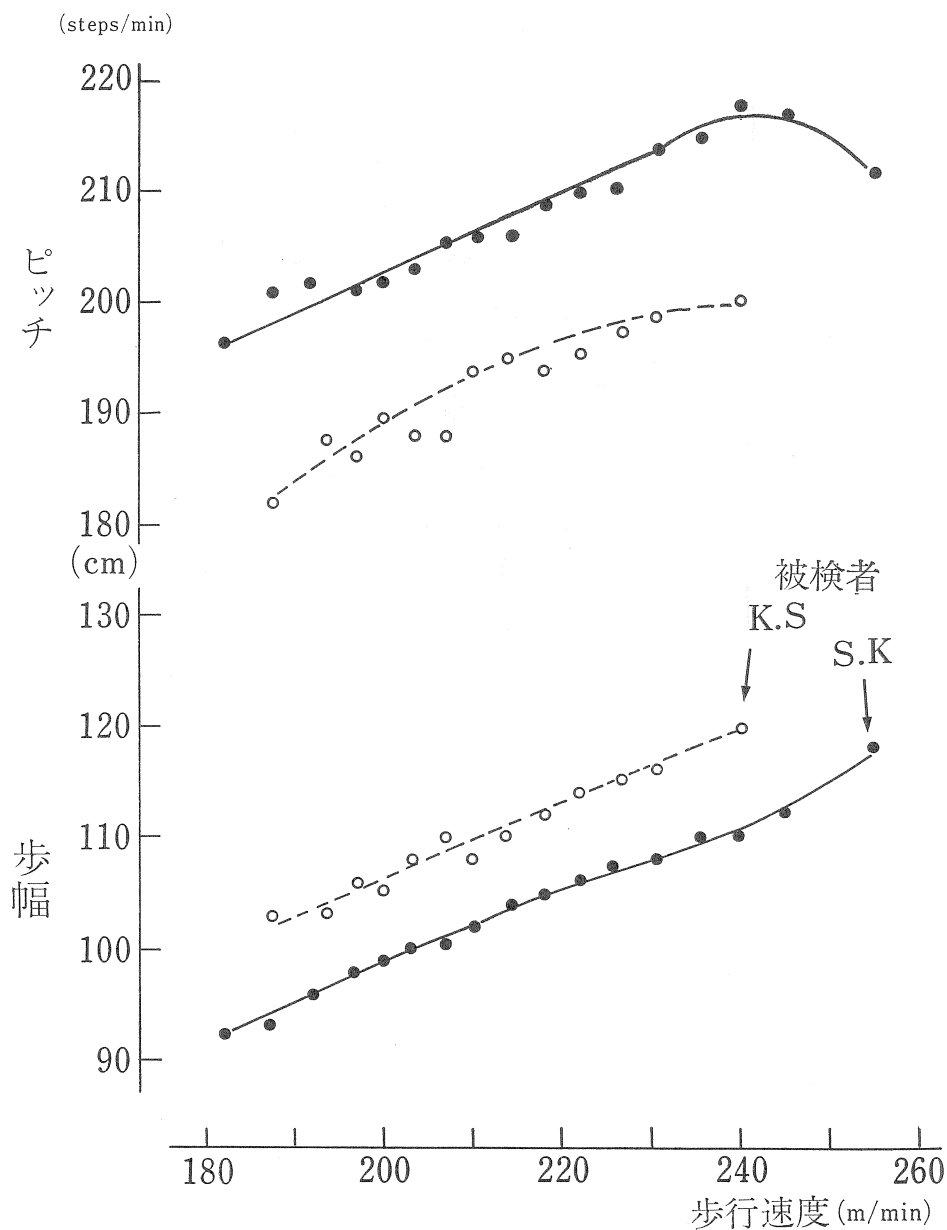


図9 歩行速度とピッチ、歩幅の関係

トレッドミルで求めた最大酸素摂取量から各歩行速度での $\% \dot{V}O_2\max$ を算出してみると、各被検者の $\dot{V}O_2\max$ によってばらつきがあるが220m/minの度速でH.D, K.S, S.Kの3名はほぼ90% $\dot{V}O_2\max$ と非常に高い運動強度に相当した。最も低いK.Wにおいてもほぼ80% $\dot{V}O_2\max$ に近い強度であった。

我々がこれまで走行運動に対し、実際の道路を使用して1500mからマラソンに至る各種距離走行における酸素摂取水準を測定した結果によれば、90% $\dot{V}O_2\max$ は、ほぼ5,000m走行中における酸素摂取水準に相当するものである⁶⁾。従って、同一距離における歩行と走行を比較してみると、20kmは競歩が90% $\dot{V}O_2\max$ に対し、走行は約80%

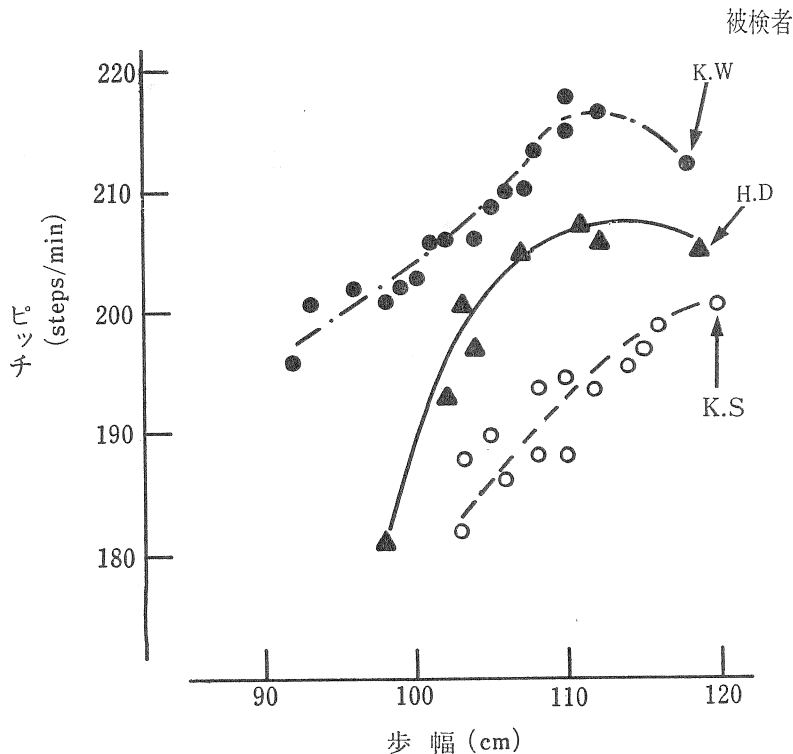


図10 ピッチと歩幅の関係

$\dot{V}O_2\max$ で競歩が10%高いといえよう。

一般に速度と消費エネルギーの関係について歩行と走行を比較した研究によれば、ほぼ130m/minの速度を分岐点として、それ以下のスピードでは歩行の方が効率が良く少ない消費エネルギーで運動が継続され、130 m/min以上のスピードになると走行が少ない消費エネルギーとなる³⁾。競歩の経験のない一般人にとっては不可能である200m/min以上の速度においても、競歩選手は練習によって歩行を可能ならしめ、20 kmあるいは50kmといった長距離を長時間にわたり、継続している。従って効率の低い競歩を技術的な改良と全身持久性能力の向上、それに高い酸素摂取水準の維持能力をつけることが、競歩の強化策として、必要であると思われる。このことから考えても、今回対象とした被検者である我国一流競歩選手の $\dot{V}O_2\max$ は、持久性種目である他の選手に比べ低水準であると思われる⁷⁾。すなわち体重当り60ml/kg・minから70ml/kg・minに上げることに

より、走行中の $\% \dot{V}O_2\max$ は小さくなることが予想され、余裕が生まれ、さらに高い速度での歩行が可能になるだろう。

2. 歩行速度、歩幅、ピッチ関係について

競歩における歩幅とピッチの関係をまとめてみたのが図9である。

被検者個々による特徴は認められるが、今回の日本一流選手の結果から競歩におけるピッチと歩幅の上限を推察するならばピッチは215歩/分、歩幅については120cm程度になるだろう。被検者K.W, H.Dは120cmの歩幅での歩行の際はピッチが低下を示している。酸素摂取量の結果でも指摘したごとく、この歩幅は歩行でなく、走行に移行していることを示している。

今回の被検者の中で同一速度に対しピッチ数によって歩行するピッチタイプとストライドで歩行するストライドタイプと思われる対照的な2名の歩行速度と歩幅、ピッチの関係をみたのが図10である。

歩行速度の増加に伴い両者とも歩幅については約10 cm 間かくで、ピッチについては約15歩／分間かくを保って直線的な増加をしている。220 m/minの歩行速度に対し、歩幅はK, S約100 cm, K, Wは約110 cm, ピッチはK, S約195 歩／分, K, Wは約210歩／分に相当し、240 m/minの歩行速度では、歩幅はK, S約120 cm, K, W約110 cm, ピッチはK, S約200歩／分, K, W約215歩／分に相当する。さらにK, Wは高い速度での歩行を試みているが、実際は走ったため、ピッチは減少し、歩幅は伸びている。従って、被検者K, Wがこのレベルの速度での歩行運動を可能にするためには、ピッチをさらに増やすことは限界がありむしろ腰の回転と脚筋力を強くして広い歩幅での歩行技術を開拓していかなければならないだろうと思われる。逆にピッチ数の少ないK, Sについては、ピッチ数の増加をトレーニングによって増やすことが出来るならば、さらに高い歩行速度での歩行が期待できるものと思われる。

有酸素的能力がことなる被検者について歩行速度とピッチ、歩幅、心拍数、酸素摂取量を比較してみたのが図11である。

歩行速度と酸素摂取量の関係では被検者S, K ($\dot{V}O_{2\max}$ 61.70 ml/kg・分) は220 m/minの速度で歩行の最大値に達しているのに対し、被検者K, W (65.25 ml/kg・分) は245 m/minが歩行の最大値になりほぼ50 ml/kg・分に相当した。また心拍数については220 m/minの速度においてはほぼ同じ心拍数である195拍／分であるが、被検K, Wはさらに高い速度での歩行に対し、心拍数も上昇している。さらに歩幅とピッチについて両者を比較してみると、ピッチは両者とも200～220 m/minあたりの速度においてはほぼ同一のピッチで歩行しているが、220 m/min以上の速度になると、K, Wはさらに歩幅を伸して歩行している。このことは、わずかな最大酸素摂取量のちがいに加え、歩行速度を減少させることなく、より歩幅を伸して歩行出来る技術的な面にも両者には大きな差があるものと思われる。そのことは歩行の効率にも影響を及ぼし同一速度に対し低い酸素摂取量での歩行がみられる⁸⁾。

以上競歩における歩行速度と酸素摂取量に関す

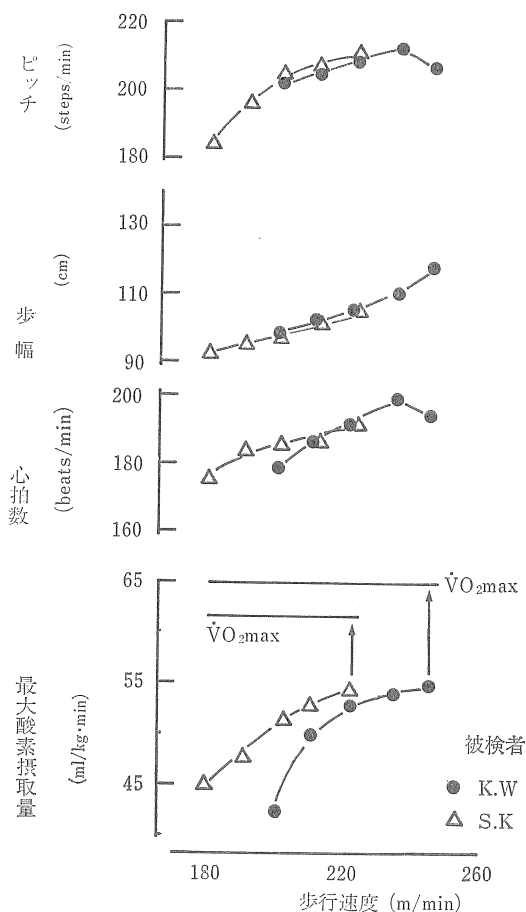


図11 歩行速度とピッチ、歩幅、心拍数、酸素摂取量

る実際の道路における測定を通して、今後日本選手の記録の向上のためには、まず基本的な、有酸素的能力の向上と歩行技術、特に高いスピードにおいて歩幅を伸して歩くようなトレーニングを積んでいく事が有効ではないかと思われる。

まとめ

1. 陸上競技、競歩一流選手を対象に実際の道路を使用して3 kmのコースを設定し各種歩行速度と酸素摂取量の測定を行った。
2. 設定した歩行速度に対し、100 mごとのラップタイムから、被検者に速度の調整を指示したにもかかわらず、必ずしも当初目標にした通りに歩行することが出来なかった。特に220 m以上の高いスピードにおいて顕著にみられた。
3. 歩行速度と酸素摂取量は、被検者の有酸素的能力、歩行技術に差があり同一スピードに対

し、必ずしもほぼ等しい酸素摂取量にならなかった。20 km 日本最高記録の平均スピード 223 m/min の近くの $\% \dot{V}O_2 \max$ は $80\% \dot{V}O_2 \max$ 以上あり、5 名中 3 名は約 $90\% \dot{V}O_2 \max$ に相当し、走行より約10%程度高い水準であった。

4. 歩行速度と歩幅、ピッチの関係は、各被検者のタイプによって異なり、同一スピードに対し、歩幅で補うものとピッチ数で補うものと大きく分けてふたつの型に分けられるが、日本の一流選手の歩幅とピッチの限界はほぼそれぞれ 120cm, 215歩/分程度であろうと思われる。

参 考 文 献

- 1) 松井秀治：走運動におけるピッチと歩幅について、体育の科学, 16(10)582—585, 1966
- 2) 宮下充正：歩行研究の概略, 体育の科学 5(15)264—273, 1965
- 3) O-P. オストランド, K. ラダール, 浅野勝己訳：運動生理学, 410—413, 大修館書店, 1976
- 4) ロドルフォ・マルガリア, 金子公宥訳：身体運動のエネルギー, ベースボールマガジン社, 1978
- 5) 江橋博, 芝山秀太郎, 後藤芳雄：持久性運動時の生体反応に関する研究 (5)長時間競歩運動について, 体力科学 43, 1—27, 1979
- 6) 黒田善雄他：陸上競技, 中長距離競走の呼吸循環機能に関する研究—第3報— 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1974
- 7) 黒田善雄他：日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第3報— 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1977
- 8) P. V. カルボピッチ, 猪飼道夫, 石河利寛訳, 運動の生理学, 106—108 ベースボールマガジン社, 1969
- 9) 春山国広：歩行とその指導, 体育の科学29(1)40—44, 1979
- 10) 阿久津邦男：歩行の科学, 不昧堂出版, 1975
- 11) 陸上競技マガジン, 1978年度記録集計号 3月号増刊24(4), 1979, ベースボールマガジン社
- 12) 日本陸上競技連盟：陸上競技ルールブック '78 あい出版KK, 246, 1978

