

運動開始にともなう呼吸循環系機能の応答

	財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所	雨宮輝也
(共同研究者)	同	塚越克己
	同	伊藤静夫
	同	金子敬二
	同	松井美智子

Responses in Respiratory and Circulatory Function at the Start of Exercise

by

Teruya Amemiya, Katsumi Tsukagoshi,
Shizuo Itoh, Keizi Kaneko,
Michiko Matsui
Japan Amateur Sports Association

ABSTRACT

The purpose for this study is to understand response in respiratory and circulatory function at the start of exercise expired air through breath by beath analysis.

1. Three healthy volunteers were subject for the study. An examination consisted of a 2 min unloaded period followed by cycling (approx 60 rpm) on a Monark ergometer, at 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 KP of 3 min each.

2. The relationship between aerobic work capacity and response at the start point of exercise was: even $\dot{V}O_2$ max rated approximately the same at 5.5 KP work load, the heart rate of subject who had been training had rated larger. On the other hand, we did not success to identify any inclination in $\dot{V}O_2$.

3. The higher the work load, the ventilation had been increased. Respiration rate didn't change from 1.5 KP to 4.5 KP work but at 5.5 KP work load, it increased rapidly at the latter half of exercise.

4. As for the rate of expiration time, in respect of anaerobic 5.5 KP, rated 30% to 40% at the start point of exercise decreased and eventually, as it approached to exhaustion point, decreased to 15%. Furthermore, subject with higher $\dot{V}O_2$ had slower declination.

まえがき

生体は日常の生活はもちろんのこと、運動といった生体に強い刺激を付加した場合、その運動に対応する呼吸・循環系の反応を示すが、従来、ガス代謝の測定はダグラスバック法が一般的であった。

今回我々は、呼気ガスの breath by breath 分析により換気量・酸素摂取量を詳細にとらえ、その応答の様相が運動の強度とどのような関連があるのか、また、被検者の有酸素的作業能力との関連についても検討を加えてみた。

研究方法

被検者は健康成人3名で、年齢、体重、身長および、自転車エルゴメータによる負荷漸増法によって求めた最大酸素摂取量を表1に示した。

運動負荷は、自転車エルゴメータ（モナーク社製）も用い、60回転/分のペタリング、運動時間は2分間の無負荷後3分間、1.5KP、2.5KP、3.5KP、4.5KP、5.5KPの5種類の負荷強度について実施した。

呼気ガスの breath by breath 分析による1回換気量、酸素摂取量は、ウエストロン社製の質量

分析型呼気ガス分析装置（WNBS 1300）と、ニューモタコグラフ（フクダ製）を使用した。

心拍数は、胸部双極誘導の心電図 R-R 間隔の時間を連続的に測定し、データ収録装置に収録した、心拍数を求めた。

呼吸数は、ニューモタコの出力から呼息の開始と吸息の終了時点を連続的に記録し、その時間を連続的に計測することにより呼吸数を算出した。

実験室の環境条件は、温度 20°C、湿度 60%の一定に保って実施された。

結果

(1) 換気量

breath by breath でとらえた1例として、被検者 S.K の1分間値に換算した換気量を、5種類の負荷強度について図1に示した。

運動開始に伴う換気量の増加は一呼吸ごとに変化しており、負荷強度が増すに従い、その増減量が大きい幅をもって増加している。

1.5KP から 4.5KP の運動強度では運動開始時の立上り以降、steady な状態がみられ、1.5KP は 30l/min、2.5KP は 40l/min、3.5KP は 60l/min、4.5KP は 90l/min に近い値を示した。

5.5KP は、steady な状態を示すことなく規定

表1 被 検 者

Subj.	Age (yrs)	Weight (kg)	Height (cm)	$\dot{V}O_2$ max (ml/min)	$\dot{V}O_2$ max/Wt (ml/kg/min)
I.S	33	55.1	167.0	2,711	49.20
A.T	40	70.8	164.5	2,652	37.46
S.K	41	71.4	165.0	3,275	45.84

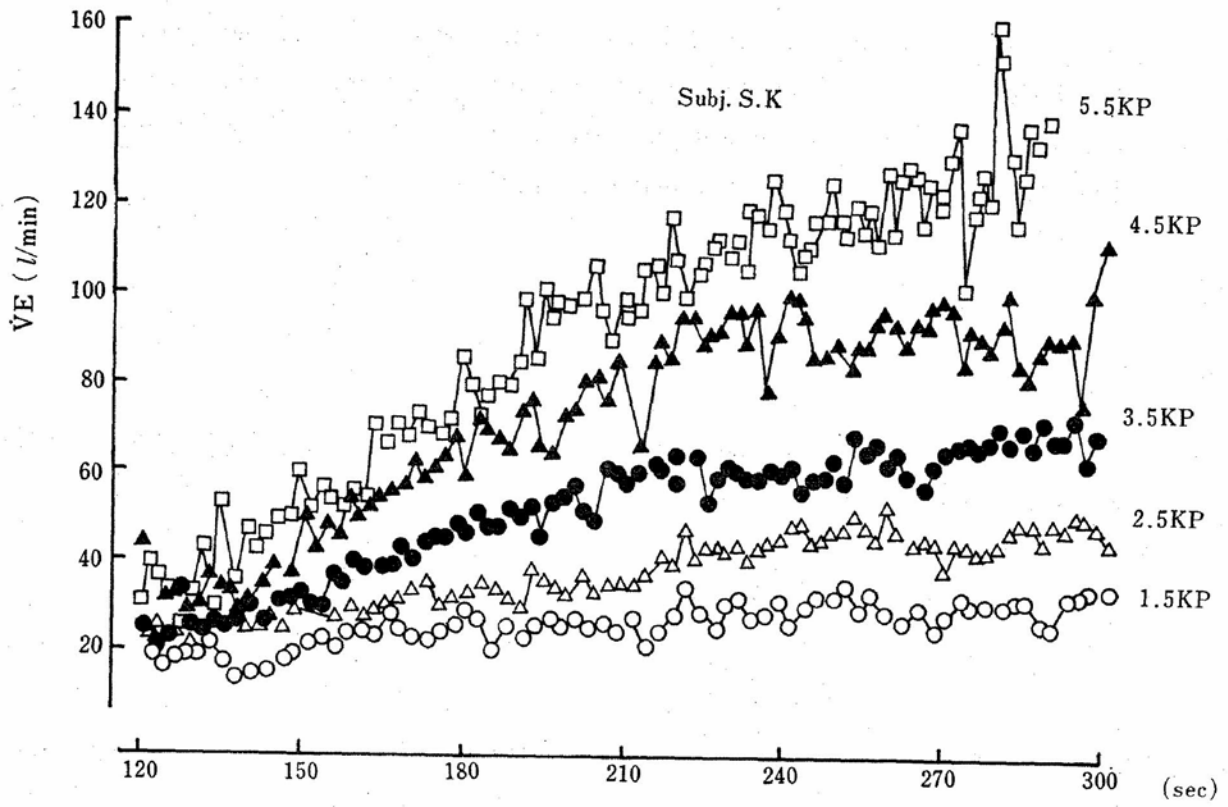


図1 換気量の応答

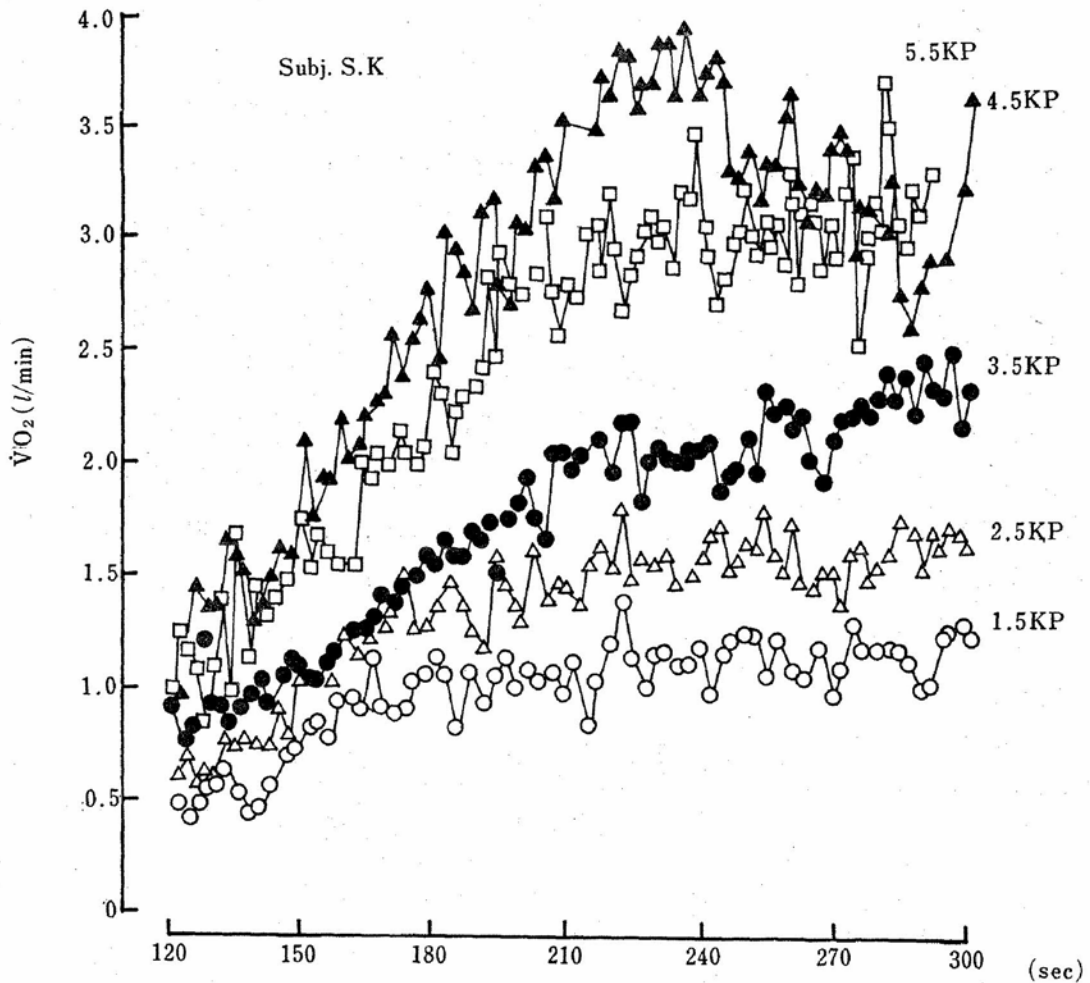


図2 酸素摂取量の応答

した運動時間まで継続できず 2分50秒で終了した。運動終了時の値は 135l/min であった。

(2) 酸素摂取量

酸素摂取量についても換気量同様。被検者 S.K の5種類の負荷強度について図2に示した。

運動開始時の反応は換気量に似た反応を示しており、初期の著明な増加以降は、1.5KP で 1300 ml/min, 2.5KP で 1700ml/min, 3.5KP で 2300

ml/min, 4.5KP で 3200ml/min の水準を保っていた。

5.5KP の負荷になると、運動開始2分までは急激な増加を示しているが、それ以降、酸素摂取量は減少傾向を示した。

(3) 心拍数, 呼吸数

心拍数, 呼吸数についても、被検者 S.K の5種類の負荷強度について図3に示した。

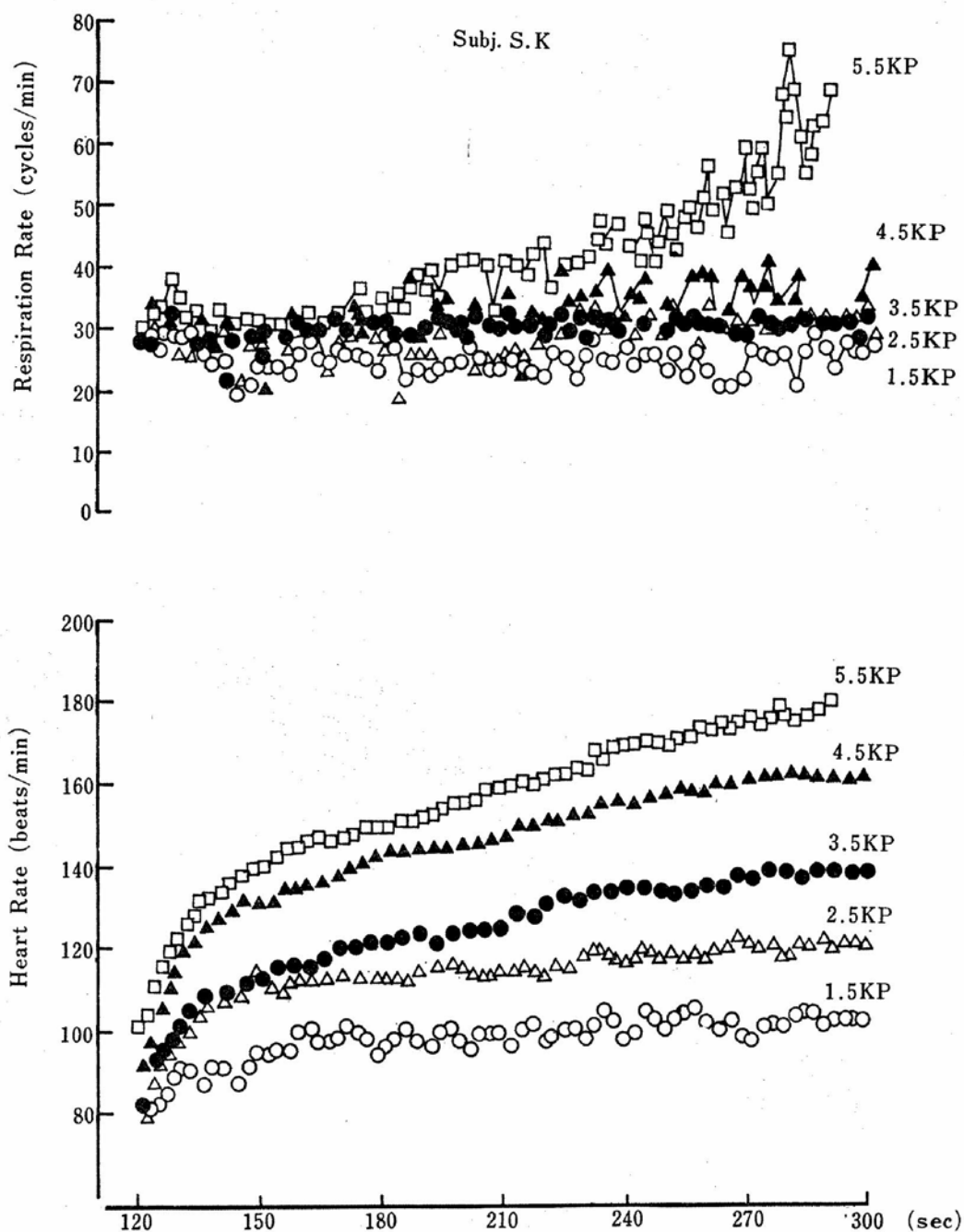


図3 心拍数, 呼吸数の応答

心拍数は運動開始時において、5.5KP の負荷強度で高い値（約 100 拍/min）であったが、増加曲線は、負荷強度の低い 1.5KP から高い強度の運動へと明確に区分されている。

1.5KP は 90 拍/min、2.5KP は 115 拍/min でほぼプラトーであったが、3.5KP 以上は運動開始時の著しい上昇以降も少しずつ増加しており、5.5KP が最も増加が大きく、運動終了時は 180

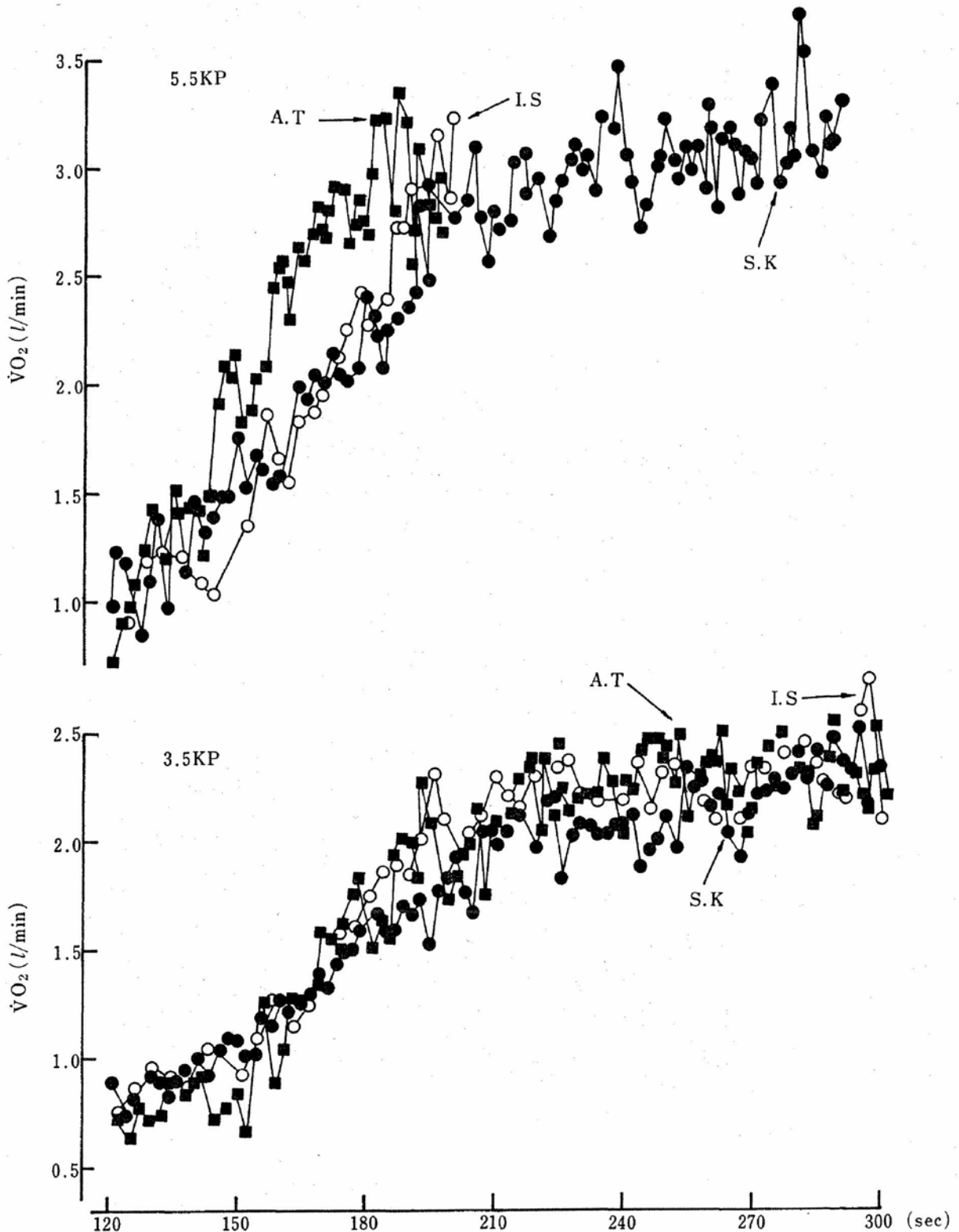


図4 酸素摂取量 3.5KP と 5.5KP

拍/min まで上昇した。

呼吸数については、運動開始時から1分までは各強度による明確な変化はなく、20回/min から30回/min の間の変動であった。1分以降も、1.5KP から 4.5KP は変動幅の大きい変化を示し終了しているが、5.5KP は1分以降、漸次増加し、70回/min まで達した。

考 察

(1) 循環系の応答

本研究において実施された運動は、1.5KP から 5.5KP の5種類の運動強度であり、それは anaerobic から aerobic な内容を含んだものといえよう。

そこで、特に aerobic な 3.5KP と anaerobic な 5.5KP について、運動の強度および酸素摂取

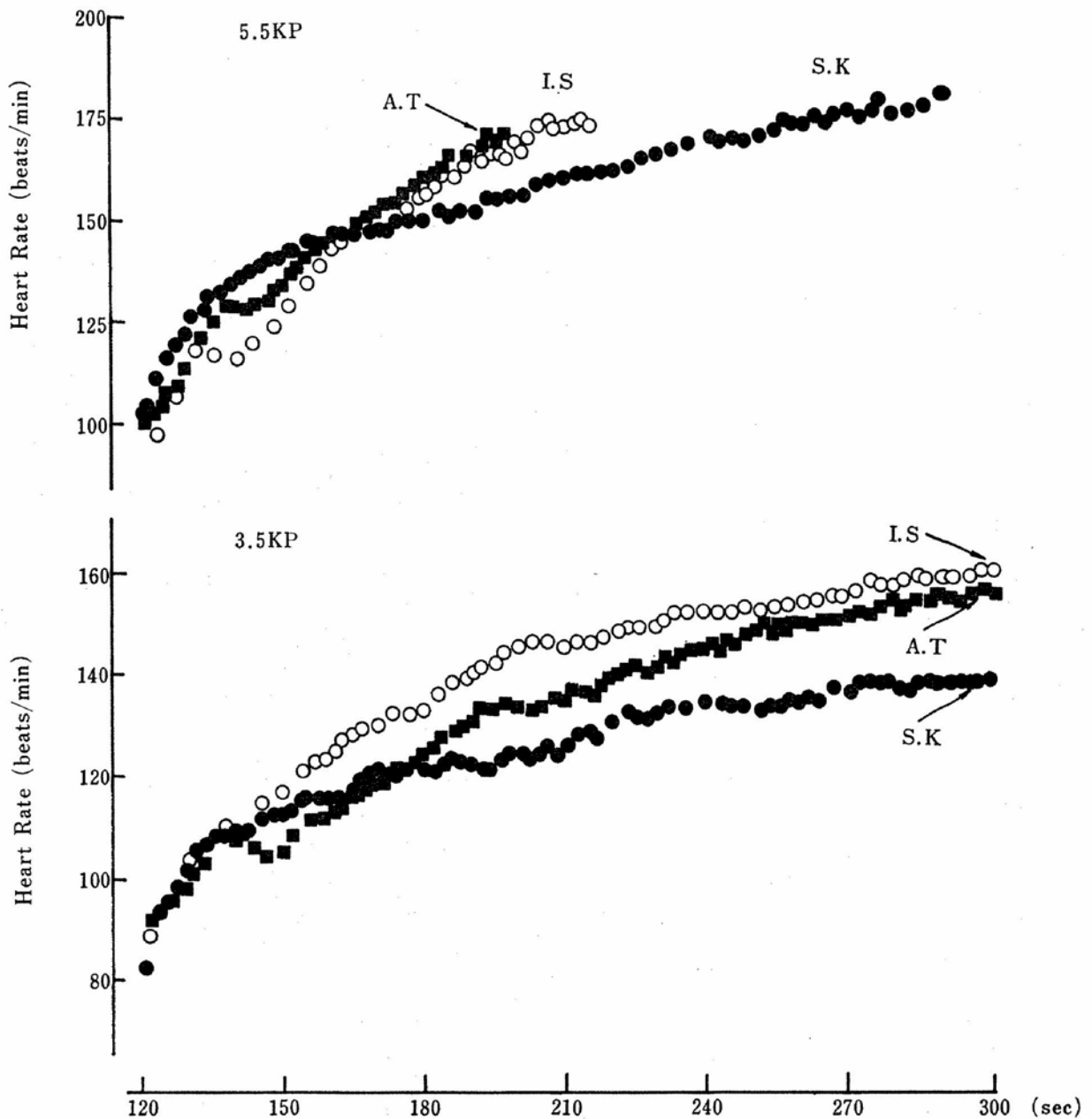


図5 心拍数 3.5KP と 5.5KP

能力と立上りの応答について検討を加えてみた。

図4は酸素摂取量について、図5は心拍数について、3名の被検者を比較したものである。

3.5KPにおける酸素摂取量の立上りは、特に著しい差は認められないが、5.5KPになると、一呼吸ごとの酸素摂取量値は上下動が大きく、運動強度に必要な値に早く到着すべく増加が著しい傾向がみられる。しかも $\dot{V}O_2 \max$ が一番低い被検者A.T (37.46ml/kg/min)の立上りが最も著しいようにみられる。

5.5KPの運動強度では、A.T, I.Sともに、当初目標にした3分間の運動時間を継続せずにS.Kよりも早く終了した。

したがって、5.5KPは100% $\dot{V}O_2 \max$ の強度であって有酸素的能力のみならず、無酸素的能力も当然関与しているものと推察される。

被検者S.K (45.84ml/kg/min)は他の2名と異なり、普段の生活におけるスポーツ活動が定着し、よく鍛練されている。したがって、心拍数の応答が5.5KPでより早く適応し、立上り以降は緩慢な上昇がみられた³⁾。

Hagberg, J.M¹⁾は、 $\dot{V}O_2$ の運動開始時における $\frac{1}{2}$ 反応が作業強度の増加に伴い増加すること、また酸素摂取量の動的反応について、鍛練群(n=8, 平均 $\dot{V}O_2 \max=70.2$ ml/kg/min)と非鍛練群(n=7, 平均 $\dot{V}O_2 \max=49.7$ ml/kg/min)について同一絶対負荷につき酸素摂取量の反応を比較すると、鍛練群がより早い酸素摂取量の反応を示した。(p<0.05) 相対負荷で比較しても同様の傾向がみられたが、有意な差はなかったと報告している。

我々の今回の実験においては、必ずしも明確な傾向をつかむことは出来なかった。ひとつには $\dot{V}O_2 \max$ が37~50ml/kg/minとほぼ同じような値であったことも一因であろうと考えられるが、このくらいの $\dot{V}O_2 \max$ 値では、むしろ日常

生活におけるトレーニングが影響しているかも知れない。したがって、 $\dot{V}O_2 \max$ のみで個人の運動処方を作ることは、十分気をつけねばならないと考えられる。

(2) 呼吸系の応答

運動に対する呼吸系の反応については、図6に換気量、図7に呼吸数と一呼吸における呼息時間の割合を示した。

換気量は、3.5KPの運動においては運動開始直後の立上りは緩慢で、 $\dot{V}O_2 \max$ の大小による差はみられないが、被検者S.Kがより早くsteadyに入る傾向がみられた。

5.5KPの運動負荷では立上りの上昇が著しく、被検者A.Tは増加量が大きく、しかも早くexhaustionに達したのに対し、S.Kは増加量が少なく、長く運動を継続していた。

呼吸数と換気量の関係では、運動開始の立上りは安静時より呼吸数は増加するが、むしろ呼吸数の増加よりも一回換気量の増加で、換気量の増加を補っている傾向がみられる⁴⁾。しかしながら、 $\dot{V}O_2 \max$ が低いとその余裕も少なく、呼吸数の増加も立上りから見られ、呼吸筋の疲労をも加わって早くexhaustionに至っている傾向がみられる。

換気量の増加は、まず急激な増加、以後緩やかな増加がみられる。

Dejours²⁾は、これをfast compartment およびslow compartment と名づけ、fast compartmentはおそらく神経因子が主として働き、slow compartmentでは神経因子に体液因子が加味されているのであろうと指適している。運動開始の立上りにおける応答はfast compartmentであって、神経因子の中の反射的に呼吸中枢を興奮させているものが主であると思われる。

5.5KPの運動負荷における呼吸時間の呼息時間の割合は、運動開始時で30~40%を占めている

が、以後換気量の増加とともに、呼息時間は減少し、exhaustion 時は約15%まで低下している。そのため、換気量の増加を呼吸回数の増大で補っ

ている傾向がみられた。

トレーニングあるいは有酸素的能力と呼吸機能の関連については明らかではないが、少なくとも

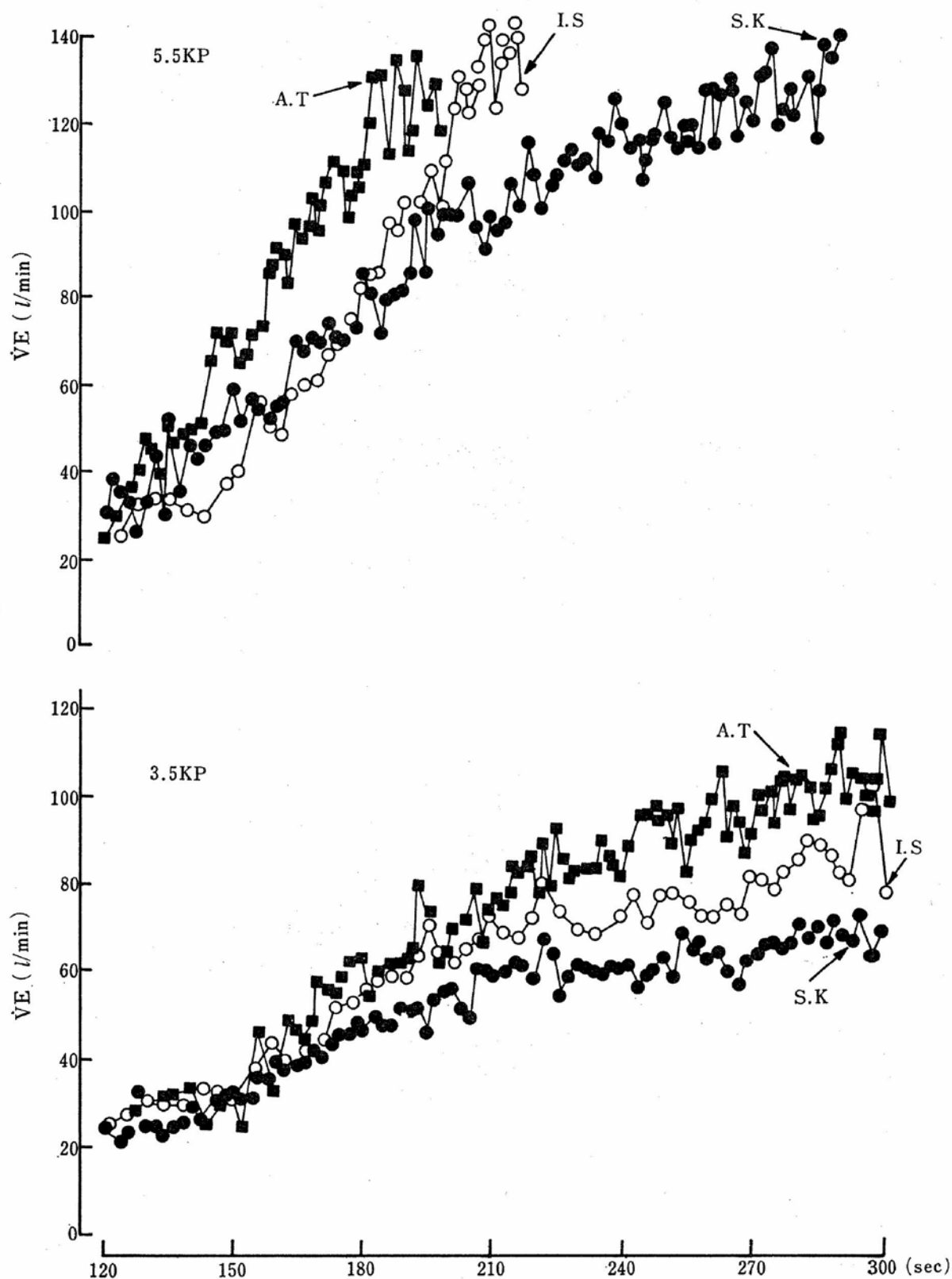


図6 換気量 3.5KP と 5.5KP

図7に見られるように、被検者 A.T の呼吸数が運動開始から直線的に増加しているのに対し、I.S, S.K は運動開始後しばらく steady な状態を示してから上昇していることから考えて、呼吸筋がトレーニングによって強化され、一回換気量が増大するようであるが、今後これらについては研究を進め、検討を加えていかなければならない問

題であろう。

総 括

1. 運動開始に伴う呼吸循環系機能の応答を、呼気ガスの breath by breath による分析により詳細にとらえようと、被検者3名につき、自転車エルゴメータで5種類の運動強度を3分間実施し

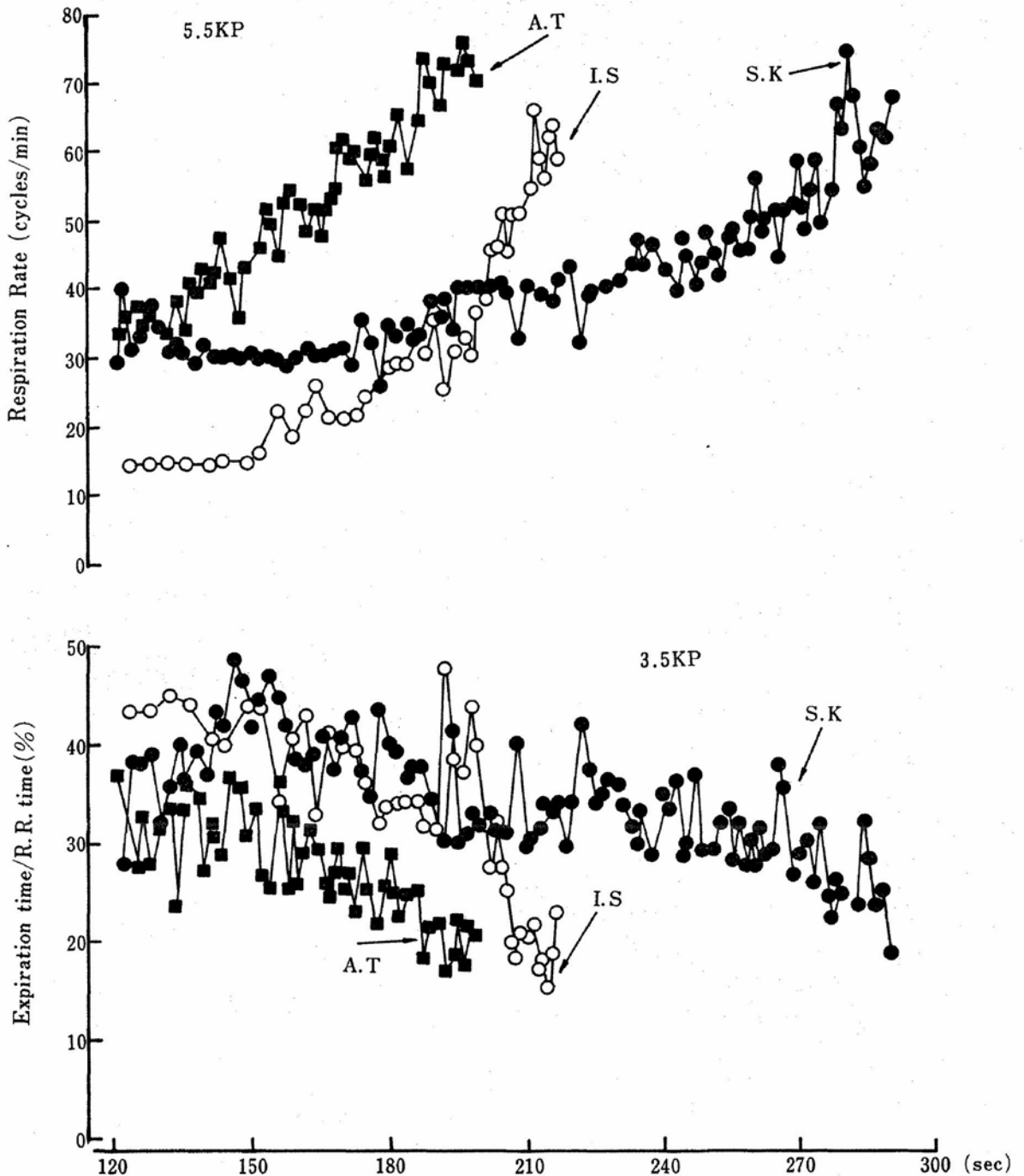


図7 呼吸数と呼息時間の割合 (5.5KP)

た。

2. 循環系の応答は、同一個人では運動強度の増加に伴い増加したが、有酸素的能力と運動開始時の立上りの応答関係では、5.5KPの負荷で、よくトレーニングしている者が心拍数でより早い反応を見せている傾向がみられたが、酸素摂取量は明らかでない。

3. 呼吸系の応答は、同一個人で作業強度に伴い換気量は増加したが、呼吸数は1.5KP~4.5KPまではほぼ変わらないが、5.5KPは明らかに増加した。有酸素的作業能と運動開始立上りの応答関係は、 $\dot{V}O_2 \max$ の大小による区分ははっきりしないが、運動開始以降の増加量は、 $\dot{V}O_2 \max$ が高い者ほど小さい。したがって、呼吸数は運動開始30~60秒までsteadyな状態を維持してから増加するパターンを示す傾向がみられた。

4. anaerobicな5.5KPの運動で、呼吸時間における呼息時間の割合は、運動開始時に30~40%を占めているが順次低下し、exhaustion時は15%まで低下した。

今回の研究から十分な結論を下すことは不可能であると思われるが、少なくとも、これから運動を実施しようとする者へのメディカルチェック、あるいは一流競技選手のトレーニング成果の分析に、breath by breathでの運動開始時の立上りの応答様相も資料として十分活用できるものと思われる。

今後さらに、性・年齢を考慮した呼吸循環系の応答について検討を加えて行く予定である。

文 献

- 1) J.M. Hagberg, F.J. Nagle. and J.L. Carlson; Transient O_2 up take response at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **44**(1): 90—92 (1978)
- 2) Dejours, P., R.H. Kellogg and N. Pace; Regulation of respiration and heart rate response in exercise during altitude acclimatization. *J. Appl. Physiol.*, **18**: 10—18 (1963)
- 3) 北村和夫, 牧野毅; 運動に対する循環系の反応, 呼吸と循環, **16** (6), 481—489 (1968)
- 4) 横山哲朗; 運動負荷における Transient Phenomena. 呼吸と循環, **16** (6), 465—472 (1968)