

長距離走者の呼吸法に関する生理学的研究

岡田 泰士・村田 直樹

Physiological study of respiration during long distance running

Yasushi OKADA*, Naoki MURATA*

Abstract

Breathing, including maximal intake of oxygen, ventilation and respiratory rate, was measured for two long distance runners. The subjects were examined by running on the treadmill, both before and at their maximal point. We studied the relation between records of a long distance run and respiration.

The results were as follows;

1. The good runner's maximal intake of oxygen was higher than that of the poor one. The performance of a long distance run correlates positively with the ability of $\dot{V}O_{2\max}$.
2. As for breathing, the good runner's respiratory rate was less than that of the poor one and his ventilation was greater. The good runner's oxygen removal was higher than that of the poor one.

I. 研究目的

長時間にわたり反復，継続される筋収縮活動，すなわち持久性運動の成果 (performance) に影響を与える因子の1つとして，酸素の摂取能力があげられる。酸素は呼吸器により血液中に取り込まれると筋収縮活動によって消耗した筋収縮エネルギーの再合成反応に利用されるため，酸素の摂取能力は間接的に

* Kagawa University, Faculty of Education.

有酸素エネルギー能を示唆する指標と考えられる。大気中の酸素は外呼吸により肺胞に取り込まれ、肺胞を取り巻く肺毛細管血液との酸素分圧差により血液中へ物理的拡散をするが、猪飼は呼吸法により、⁽³⁾酸素の血液中への取り込みの効率に差異が生ずると報告し、呼吸数を抑えた深い呼吸、すなわち1回換気量を増加させる呼吸法において、呼吸効率が高くなるとのべている。

本研究では長距離走の記録(performance)に差異がみられる長距離走者の走行時における呼吸法を生理学的に比較、検討し、呼吸法のちがいが長距離走の記録(performance)に与える影響について究明を試みる。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は Table 1 に示す通り、同年の競技歴を有す大学陸上競技部男子長距離走者2名である。5000m 走最高記録は sub. H. O.—16'05"0, sub. T. K.—16'49"7 であり、長距離走の記録(performance)は sub. H. O. が sub. T. K. より優れている。

Table 1 Profile of subjects

| Subject | Weight | Height | 5,000 m run best time | Career |
|---------|--------|---------|-----------------------|---------|
| H. O. | 53.9kg | 165.0cm | 16'05"0 | 3 years |
| T. K. | 54.0 | 165.5 | 16"49'7 | 3 |

2. 最大酸素摂取量の測定

トレッドミル・オール・アウト走(限界走)のオール・アウト時における酸素摂取量を測定し、最大酸素摂取量をもとめた。

測定方法はトレッドミルの傾斜角度を5度に保ち、走行開始後2分間は走速度を170m/min. とし、その後は1分間毎に走速度を10m/min. ずつ増加させ、走者をオール・アウトに陥らせる漸増負荷法を用いた。

呼吸ガスの採気はダグラスバック法により、オール・アウト3分前より、1分間毎、計3回ダグラスバックに呼吸ガスを採気した。呼吸ガスの O₂% と CO₂%値はダグラスバックの採気呼吸ガスを500cc サンプルングガスとして抽

出し、フクダレスピライザーにより分析した。オール・アウト前、3分間における1分間毎の酸素摂取量は $O_2\%$ 、 $CO_2\%$ それに換気量の各数値より算出し、それらの酸素摂取量のうち最大値を示す酸素摂取量を最大酸素摂取量とした。

3. 酸素摂取率の測定

両被験者にとって、定常状態 (steady state) の維持が可能であると考えられるトレッド・ミル速度200m/min., 傾斜角度0度の条件により、15分間走、すなわち3,000mトレッドミル最大下負荷走を行なわせ、最大酸素摂取量における酸素摂取量の測定と同様の方法により、走行開始時から終了時まで2分間隔に毎分酸素摂取量、毎分換気量を測定し、次式により酸素摂取率をもとめた。

$$\text{酸素摂取率}(ml/l) = \frac{\text{毎分酸素摂取量}(ml/min.)}{\text{毎分換気量}(l/min.)}$$

4. 呼吸数および1回換気量の測定

最大下負荷走時の呼吸数はノーズサーミスターの信号を三栄測器医療用テレメーターを用いて増巾、記録し、その呼吸曲線のピーク数を1分間毎にカウントし、毎分呼吸数として計測した。1回換気量はダグラスバックに採気された毎分換気量が毎分呼吸数と1回換気量の積によるものであるから、毎分換気量を毎分呼吸数で除することにより、計算的に1回換気量をもとめた。

Ⅲ. 実験結果

1. 最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2, \max}$)

最大酸素摂取量は sub. H.O.—4.78 l/min., sub. T.K.—3.89 l/min. と長距離走の記録(performance)に優れている sub. H.O. が sub. T.K. の最大酸素摂取量を0.8 l/min. 上回る。又体重1 kgあたりの最大酸素摂取量も sub. H.O.—88.68 ml/min./kg, sub. T.K.—72.04 ml/min./kg と長距離走の performance が高い sub. H.O. が performance の低い sub. T.K. を上回る。

2. 最大下負荷走時における酸素摂取量

Fig. 1 と Table 2 は3,000mトレッドミル最大下負荷走時における毎分酸素摂取量(oxygen uptake per min.)と酸素摂取率(oxygen removal)を示した図表である。

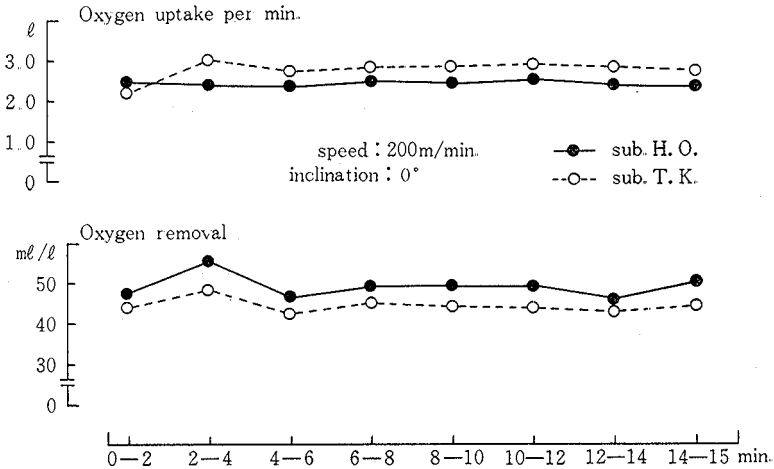


Fig 1 Oxygen uptake in 3,000 m treadmill run

Table 2 Oxygen uptake in 3,000 m treadmill run

| The item of measurement | Sub. | min. 0-2 | min. 2-4 | min. 4-6 | min. 6-8 | min. 8-10 | min. 10-12 | min. 12-14 | min. 14-15 | average |
|-------------------------|-------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|-------------------|
| oxygen uptake (l/min.) | H. O. | 2.21 | 2.44 | 2.52 | 2.48 | 2.55 | 2.64 | 2.44 | 2.53 | 2.48 (0.13) |
| | T. K. | 2.06 | 2.98 | 2.74 | 2.73 | 2.72 | 2.79 | 2.77 | 2.67 | 2.68 (0.27)** |
| oxygen removal (ml/l) | H. O. | 46.65 | 55.41 | 43.30 | 49.80 | 48.35 | 49.00 | 44.76 | 50.00 | 48.41 (3.33)** |
| | T. K. | 46.11 | 47.98 | 45.51 | 45.30 | 44.46 | 43.50 | 44.50 | 44.21 | 45.20 (1.38)** |

** P<0.01 ()S.D.

走行時間の経過に伴なり sub. H.O. の毎分酸素摂取量は走行開始時より終了時まで、2.21 l/min.~2.64 l/min. の微小動変化しかみられず、走行全時間にわたり定常状態が維持されている。sub. T.K. のそれは走行開始後4分間にわたり酸素摂取量の増加がみられるが、その後の走行時間においては酸素摂取量は2.67 l/min.~2.77 l/min. の微小動変化しか示さず定常状態の維持が顕著である。

sub. T. K. の酸素摂取量は走行開始後0~2分を徐き sub. H.O. のそれを上回る。走行全時間の平均酸素摂取量は sub. T.K.-2.68 l/min., sub. H.O.-2.48 l/min. と sub. T.K. が sub. H.O. を0.2 l/min. (P<0.01)*上回る。

* P<0.05, P<0.01-----それぞれ, 5%水準, 10%水準の危険率で統計的有意差を示す。

酸素摂取率は両被験者共、走行開始後4分間は増加の傾向にあり、走行2分～4分の時間帯において最高の比率を示す。その後の走行時間において、酸素摂取率は一過性の低下がみられるが走行終了時まで、ほぼ定常状態が維持されている。走行全時間における酸素摂取率は、酸素摂取量の場合と異なり、sub. H.O. の酸素摂取率が sub. T.K. のそれを上回り、走行全時間の平均酸素摂取率は sub. H.O.—48.41 ml/l, sub. T.K.—45.20 ml/l と sub. H.O. が sub. T.K. を3.21 ml/l (P<0.01)上回る。

3. 最大下負荷走時における呼吸機能

Fig. 2 と Table 3 はトレッドミル3,000m 最大下負荷走時における毎分換気量(Ventilation per min.), 毎分呼吸数(respiratory rate per min.), それに1回換気量(Ventilation per one respiratory rate)を示した図表である。

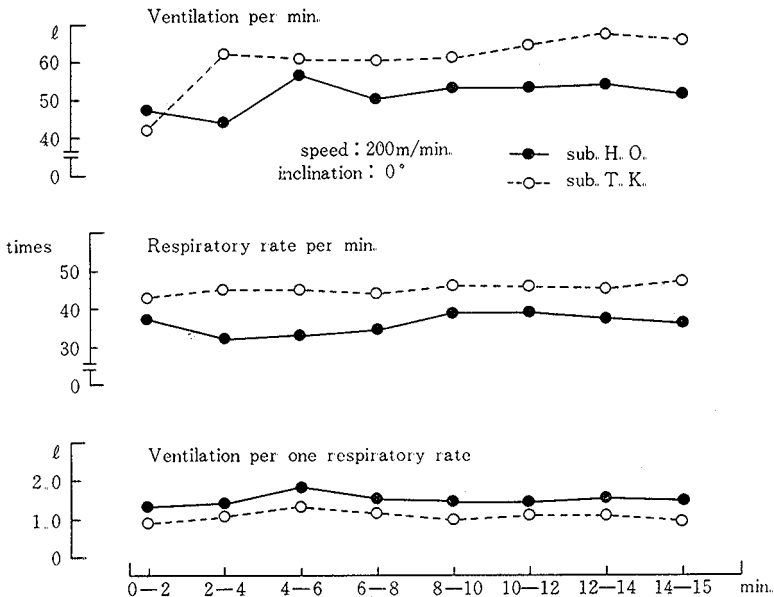


Fig 2 Respiratory function in 3,000 m treadmill run

走行時間の経過に伴なう sub. T.K. の毎分換気量は走行開始後4分間は急増をし、その後の走行時間ではほぼ定常状態の維持がなされている。sub. H.O. の場合は、走行開始後4分～6分の時間帯において最大換気量が出現し、その

Table 3 Respiratory function in 3,000 m treadmill run

| The item of measurement | Sub. | min. 0-2 | min. 2-4 | min. 4-6 | min. 6-8 | min. 8-10 | min. 10-12 | min. 12-14 | min. 14-15 | average |
|---|-------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|------------|-------------------|
| ventilation per min. (l/min.) | H. O. | 47.3 | 44.0 | 58.2 | 49.8 | 52.8 | 53.9 | 54.4 | 50.5 | 51.36 (4.45) |
| | T. K. | 44.7 | 62.0 | 60.3 | 60.2 | 61.2 | 64.0 | 62.2 | 60.4 | 59.38** (6.07) |
| respiratory rate per min. (times/min.) | H. O. | 37.9 | 31.7 | 33.5 | 33.8 | 38.5 | 38.0 | 36.5 | 35.6 | 35.69 (2.49) |
| | T. K. | 43.0 | 45.3 | 44.7 | 43.9 | 46.4 | 46.4 | 45.4 | 47.2 | 45.27** (1.39) |
| ventilation per one respiratory rate (l/one respi.) | H. O. | 1.25 | 1.39 | 1.74 | 1.47 | 1.37 | 1.42 | 1.49 | 1.42 | 1.44 (0.14) |
| | T. K. | 1.04 | 1.37 | 1.35 | 1.37 | 1.32 | 1.38 | 1.37 | 1.28 | 1.31 (0.11) |

* P<0.05, ** P<0.01, () S.D.

後の走行時間では一過性の低下がみられるものの走行終了時まで定常状態が維持されている。sub. T.K. の毎分換気量は走行時間0分～2分間において sub. H.O. を下回る他は、走行全時間において sub. T.K. の毎分換気量が sub. H.O. のそれを上回り、走行全時間の平均毎分換気量は sub. T.K.—59.38 l/min., sub. H.O.—51.36 l/min. と sub. T.K. が sub. H.O. を 8.02 l/min. (P<0.01) 上回る。

毎分換気量は毎分呼吸数と1回換気量の積によりもとめることができ、毎分呼吸数と1回換気量の数量関係を比較することにより、毎分換気量の因子分析が可能となる。

毎分呼吸数は両被験者共、走行開始時より終了時までほぼ定常状態の維持がみられるものの、走行全時間帯において sub. T.K. の呼吸数が sub. H.O. のそれを上回っており、走行全時間の平均毎分呼吸数は sub. T.K.—45.27回/min., sub. H.O.—35.69回/min. と sub. T.K. が sub. H.O. を 9.58回/min. (P<0.01)上回る。1回換気量は両被験者共、走行開始後6分間、増加傾向がみられ、その後一過性の低下現象が出現するものの、ほぼ定常状態の維持がなされている。1回換気量は呼吸数と異なり、走行全時間において sub. H.O. の1回換気量が sub. T.K. のそれを上回り、走行全時間の平均1回換気量は sub. H.O.—1.44 l/1回呼吸, sub. T.K.—1.31 l/1回呼吸と sub. H.O. が sub. T.K.

を0.13l/1回呼吸($P<0.05$)上回る。

以上のべた通り、走行時において、sub. H.O. は1回換気量、sub. T.K. は呼吸数にそれぞれ主因をおいた呼吸を行なっていることがわかる。

Ⅳ. 実験結果の考察

最大酸素摂取量は有酸素エネルギー量を示す指標である。長距離走は有酸素エネルギーにより遂行される運動であるが、長距離走の記録(performance)にsub. H.O. がsub. T.K. より優れることができた要因として、走エネルギーの効率の利用といった走技能(skill)の検討の必要性も考えられるが、走エネルギー量すなわち最大酸素摂取能力においてsub. H.O. がsub. T.K. より優れていたことが一因としてあげられる。

トレッドミル最大下負荷走時の酸素摂取量は両被験者共、定常状態の維持がみられ、筋収縮エネルギー分解速度と筋収縮エネルギーの再合成速度すなわち酸素摂取量との間に動的平衡状態が成立し、安定した走運動が遂行されたことを意味する。走運動時における酸素摂取量と最大酸素摂取量との比は、遂行走運動の身体負荷水準を示唆する。トレッドミル3,000m最大下負荷走時の身体負荷水準はsub. H.O.—51.9%, sub. T.K.—68.9%であり最大酸素摂取能力の高いsub. H.O. が最大酸素摂取能力の低いsub. T.K. より走運動による身体負荷が低く、走運動による身体負荷の水準は最大酸素摂取能力の影響をうけることがわかる。

(2)
猪飼は走行時の呼吸効率を酸素摂取量と換気量の比による酸素摂取率から検討し、走行開始後、数分間は酸素摂取率の上昇がみられるものの、一定時間経過後においては走運動の時間経過と共に酸素摂取率は低下し、オール・アウト時の酸素摂取率は30~35 ml/lになった報告している。本研究における被験者の酸素摂取率は走行開始4分後までの走行時間において上昇し、その後の走行時間では一過性の低下がみられるものの40 ml/l以上の酸素摂取率を保持し、定常状態の維持がみられる。これは本研究の酸素摂取率がオール・アウト走(最大負荷走)によって測定されたものではなく、最大下負荷走時の酸素摂取率であることが起因している。

走行全時間にわたり、長距離走の記録に優れている sub. H.O. の酸素摂取率が長距離走の記録に劣る sub. T.K. のそれを上回った。

大気中の空気は呼吸運動により導入気道を通り肺胞に送られ、肺胞気のみ肺毛細管血液との間においてガス交換 (O_2 の取り込み, CO_2 の排泄) が可能となる。吸入された空気の導入気道に残留する空気はガス交換に関与できないためこれは解剖学的死腔量と言われる。又 Asmussen⁽¹⁾ は肺胞が肺毛細管血液を動脈血化するために必要とする以上の肺胞気で満たされた場合、肺胞換気でありながらガス交換に関与できない肺胞気が出現するとのべており、これは生理学的死腔量といわれる。

運動時の毎分換気量の増加は呼吸中枢の自律反射的興奮により呼吸筋の活動性をたかめ、1回換気量と呼吸数の増加により行なわれる。

⁽³⁾ 猪飼は毎分換気量の増加要因のうちガス交換に関与できる肺胞換気量を増加させ、解剖学的死腔量を少なくさせる呼吸は、1回換気量の多い呼吸法であるとのべている。

本研究における sub. H.O. の呼吸法は sub. T.K. と比較し1回換気量の多い呼吸であり、sub. T.K. のそれは sub. H.O. と比較し、呼吸数の多い呼吸であった。⁽³⁾ 猪飼の報告にみられる通り、sub. H.O. の呼吸は sub. T.K. と比較し1回換気量が多いため、sub. H.O. の肺胞換気量は sub. T.K. より多く、逆に解剖学的死腔量は sub. T.K. の方が sub. H.O. より多くなる可能性が推察でき、このことが sub. H.O. の酸素摂取率が sub. T.K. のそれよりも高率になりえた一要因と考えられる。

V. 要 約

トレッドミル走により、長距離走の記録 (performance) に差がある2名の長距離走者のオールアウト走と最大下負荷走時における呼吸機能 (酸素摂取量, 換気量, 呼吸数) を測定し、長距離走の記録と呼吸機能との関連性について検討を行ない、次の結果を得た。

1) 最大酸素摂取量は長距離走の記録に優れた走者が、走記録に劣る走者の最大酸素摂取量を上回り、最大酸素摂取能力と長距離走の記録との関連性が認

められる。

2) 長距離走の記録に優れた走者と走記録に劣る走者の呼吸法を比較すると、前者は1回換気量を、後者は呼吸数をそれぞれ強調した呼吸法であり、呼吸効率の指標である酸素摂取率は1回換気量を強調した呼吸を行なっている長距離走の記録に優れた走者が呼吸数に主因を置く呼吸を行なっている走記録に劣る走者の酸素摂取率よりも高率を示した。

参 考 文 献

- 1) Asmussen, E. and M. Nielsen, Physiological dead space and alveolar gas pressures at rest and during muscular exercise. *Acta Physiol. Scand.* 38: 1—21, 1956
- 2) 猪飼道夫, 吉沢茂弘, 中川巧哉: トレッドミル法による全身持久性の評価について, *体力科学*, 10: 227—238, 1962.
- 3) 猪飼道夫編著: 身体運動の生理学, 杏林書院, : 174—175, 1973.