

運動強度と血漿量の関係について

中京大学体育学部 運動生理学研究室

村	上	寿	利
朝	比	奈	一
中	森	英	二
藤	松		博
湯	浅	景	元

THE RELATIONSHIP BETWEEN EXERCISE INTENSITY AND PLASMA VOLUME

Hisatoshi Murakami
Kazuo Asahina
Eiji Nakamori
Hiroshi Fujimatsu
and Kagemoto Yuasa

Observations on the change of plasma volume were made in two young healthy males before, during and after submaximal and maximal exercise. In submaximal test the subjects exercised on the bicycle ergometer for 60 minutes at 30, 50, and 70% of $\dot{V}O_2$ max. In maximal bicycle test the work intensity was stepwise increased till exhaustion.

Hematocrit (Hct) was increased during exercise, however percentage change in plasma volume ($\Delta\%PV$) was decreased during test. The highest Hct was obtained immediately after exercise test.

When ($\Delta\%PV$) was observed in relation to work intensity (% of $\dot{V}O_2$ max), it was gradually decreased and sudden decrease was observed above 50% of $\dot{V}O_2$ max.

I 緒言

血漿は、グルコース、遊離脂肪酸、アミノ酸、ホルモン、および各種の電解質などを含んでいる。そのため、血漿量の変化は、これらの物質の体内での移動状態を示すものであり、生命活動や身体運動の遂行のために極めて重要である。⁸⁾ 小林らは、自転車エルゴメーターを用いた最大

作業時に、血漿量が安静仰臥位より約30%減少したところで exhaustion に達しているという結果から、血漿量が減少する割合は、安静仰臥位の約30%減少がその限界であろうということを示唆した。

Beaumont et al³⁾ は、自転車エルゴメーターを用いた最大作業時に、血漿量が安静椅座位より

15.9%減少したことを報告している。Åstrand et al は、85km cross country ski 終了1時間後、血漿量が安静時に比べ11%減少していたことを報告した。このように、生体に運動を负荷した場合、血漿量に変化が生じることが諸家より報告されている。しかし、運動強度と血漿量の関係についての研究は極めて少ない。

そこで本研究では、自転車エルゴメーターを用いて30%、50%、70%および100% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する強度の運動を负荷した時の血漿量の変化を観察し、運動強度が血漿量におよぼす影響を調べた。

II 被検者

被検者は健康な体育学専攻の男子学生2名である。各被検者の身体的特性を表1に示した。

Table 1 Physical characteristics of subjects

Subject	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ 1/min	$\dot{V}O_{2max}$ ml/kg min
Mer	26	175.1	67.25	3.51	51.71
Koj	24	172.2	54.59	2.58	47.01

III 実験方法

1. 運動強度

被検者はあらかじめ座位姿勢で20分間安静にした後、運動を開始した。運動強度は各被検者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) のほぼ30%、50%、70%に相当する強度で60分間運動を行なわせるとともに、4分間ごとの負荷漸増法による最大運動を行なわせた。運動様式はモナーク型自転車エルゴメーターによる運動で、毎分60回転でペダルを踏ませた。

2. 最大酸素摂取量

最大酸素摂取量の測定は最大運動時に並行して行なわれた。呼気ガスは各負荷の最後の1分間にダグラスバックで採集し、呼気ガス量は乾式ガスメーターで測定した。サンプルガスの O_2 CO_2 濃度はショランダー微量ガス分析器で測定し、酸素摂取量を算出した。

3. 採血

血液サンプルは肘静脈から採集した。図1に示すように、最大運動時の採血時間は安静時、運動終了直後、運動終了5分後、10分後、15分後、20分後とした。また、最大下運動時の採血時間は安静時、運動開始20分後、40分後、60分後、および運動終了10分後、20分後とした。

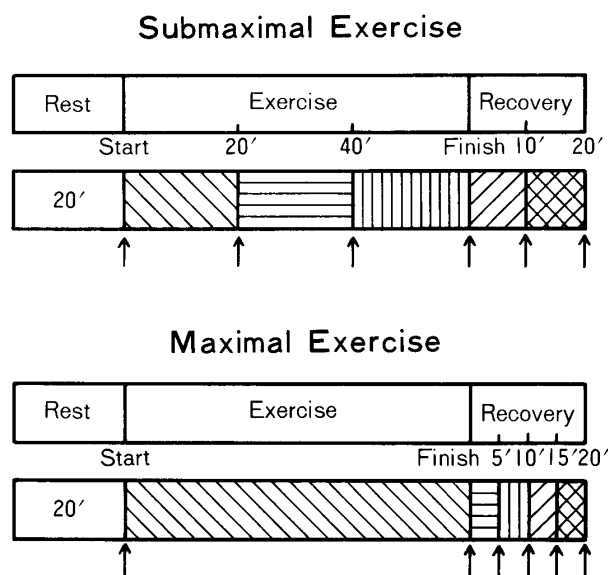


Fig. 1 Time table for blood sampling. ↑; Sampling points of blood

4. Hematocrit (Hct) と血漿量の変動値

Hct は長さ7.5mmのヘパリン処理毛細管 (Bio Dynamics 社製) を用い、8000rpmで10分間遠心器にかけて計測した。

血漿量の変動値は Beaumont の式で算出した。ただし、赤血球の容積は一定であることが条件である。

$$\Delta\% \text{ Plasma Volume} = \frac{100}{100 - \text{Hct}_{pre}} \times \frac{100(\text{Hct}_{pre} - \text{Hct}_{post})}{\text{Hct}_{post}}$$

5. 環境条件

気候が安定した10月下旬から11月上旬にかけて実験は行なわれた。室温は19.0°—21.5°C、相対湿度は58—63%であった。

IV 結果

各強度で運動を行なった際の各被検者の Hct 値ならびに血漿量の変動値 ($\Delta\%PV$) を表2と3に示した。70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動時をのぞいて、

各強度におけるHct値は両被検者とも運動の経過とともに増加し、運動終了直後に最も高い値を示した。血漿量の変動値($\Delta\%PV$)はHct値とは逆に運動の経過とともに減少する傾向を示した。すなわち、50% $\dot{V}O_2\max$ の運動強度まで緩やかな減少を示し、その後、急激な減少を示す

傾向にある(表II)。血漿量の変動値($\Delta\%PV$)の最低値を示したのは100% $\dot{V}O_2\max$ の運動時で、その値はSubj・Merの19.8%およびSubj・Kojの11.7%であった。また、Hct値ならびに血漿量の変動値($\Delta\%PV$)は、回復20分には運動前のレベルに回復した(表2, 3)。

Table 2 Changes of hematocrit value and $\Delta\%$ plasma volume during prolonged submaximal exercise.

* / Subj.	Period		Rest	During Exercise			After Exercise	
	Hct (%)	Mer / Koj		20min	40min	60min	10min	20min
30% $\dot{V}O_2\max$	Hct (%)	Mer	48.0	48.1	48.4	49.0	49.1	48.1
		Koj	44.0	44.4	44.6	44.9	44.3	44.0
	$\Delta\%PV$ (%)	Mer	—	-0.4	-1.6	-3.9	-4.3	-0.4
		Koj	—	-1.6	-2.4	-3.6	-1.2	0.0
50% $\dot{V}O_2\max$	Hct (%)	Mer	48.0	48.2	48.7	49.3	48.7	48.5
		Koj	44.4	45.7	45.6	46.0	45.4	44.1
	$\Delta\%PV$ (%)	Mer	—	-0.8	-2.8	-5.1	-2.8	-2.0
		Koj	—	-5.1	-4.7	-6.3	-4.0	-1.2
70% $\dot{V}O_2\max$	Hct (%)	Mer	52.8	54.0	—	—	—	—
		Koj	45.7	48.1	47.5	47.2	45.8	45.4
	$\Delta\%PV$ (%)	Mer	—	-4.8	—	—	—	—
		Koj	—	-9.2	-7.0	-5.9	-0.4	1.2

* Determinated substances (Hct and $\Delta\%PV$)

Table 3 Changes of hematocrit value and $\Delta\%$ plasma volume during maximal exercise.

* / Subj.	Period		Rest	Immediately After Exhaustion	After Exercise			
	Hct (%)	Mer / Koj			5 min	10 min	15 min	20 min
Hct (%)	Mer	48.1	53.6	51.0	50.2	—	—	
	Koj	48.4	51.5	50.4	49.6	49.1	47.9	
$\Delta\%PV$ (%)	Mer	—	-19.8	-11.0	-8.1	—	—	
	Koj	—	-11.7	-7.7	-4.7	-2.8	2.0	

* Determinated Substances (Hct and $\Delta\%PV$)

V 考察

血漿量と運動強度の関係を調べた研究に、Wilkerson et al¹¹⁾の研究がある。Wilkerson et

alは30%, 45%, 60%, 75%, および90% $\dot{V}O_2\max$ の強度で20分間、5名の被検者にトレッドミル歩行を行なわせ、その結果を図2に示している。すなわち、安静値と運動強度のあいだに $r=0.$

652 ($p < 0.01$) の相関を認めている。しかし、60% $\dot{V}O_2\max$ の強度以後に相関関係が認められなかったことから、65—70% $\dot{V}O_2\max$ の強度が血漿量変化の変曲点であろうと示唆している。

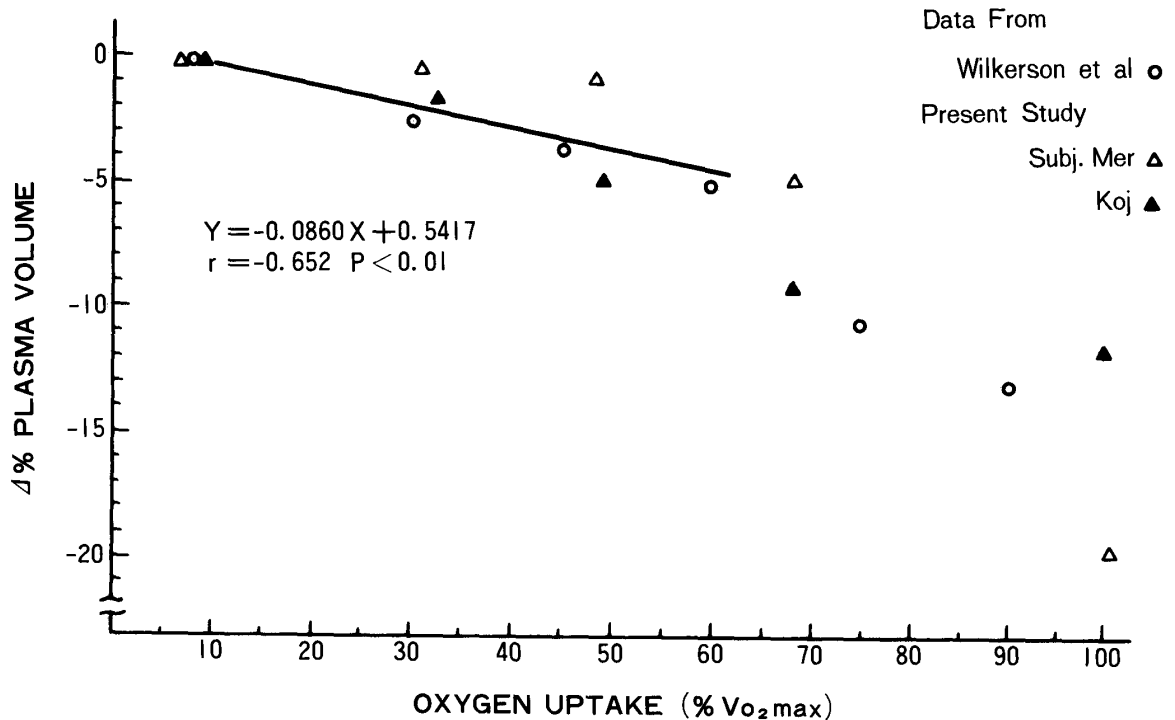


Fig. 2 The relationship between exercise intensity (% $\dot{V}O_2\max$) and Δ% plasma volume.

本実験における各強度の運動開始20分後の血漿量の変動値を図2にプロットすると、Wilkerson et al の結果に近似した結果が得られる。本実験は2名という少数例であるがWilkerson et al の結果と同様の傾向を示したことから、70% $\dot{V}O_2\max$ の強度付近から血漿量の変化が激しくなるものと考えられる結果が得られた。

次に、血漿量の測定値に関してであるが、運動、脱水、および姿勢変換によってHct値が変化することは一般的に認められている。毛細管を用いる従来の測定法では、Hct値は血漿量に対する赤血球量容積の比で表わしているため、血漿量および赤血球容積のいずれが変化してもHct値は変化するわけである。そのため、血漿量の変化の1つの指標としてHct値を用いることが考えられたが、近年、血漿量の変化がHctの変化に一致しないということを Beaumont et al³⁾ はラジオアイソトープを用いて明らかにした。そこで、運動中の血漿量を算出するため、

Beaumont²⁾ はHct値の変動率に数字的に求めた proportionality factor を乗じた。また、Dill と Costill⁵⁾ もHct値、Hb値から血漿量の変動値(Δ%PV)を算出し、この血漿量の変動値から血漿量の変化をみている。

本研究ではBeaumont²⁾ の計算式を用いて血漿量の変動値(Δ%PV)を求めたのであるが、前述したようにこの計算式は赤血球の容積が一定であるときだけに使用できる。従って、この計算式を用いる限り運動時の赤血球容積が問題になるが、最大運動および最大下運動を行なった場合に、赤血球の容積は変化しないという Nylin⁶⁾ およびWilkerson et al¹¹⁾ の報告がある。従って、このNylinとWilkerson et alの報告が正しいとすると本実験で得られた血漿量の変動は、正確な値であると考えられる。

VI 結論

運動強度と血漿量の関係を明らかにするため、

自転車エルゴメーターをもちいて2名の男子被検者に30%、50%、および70% $\dot{V}O_2\max$ に相当する強度の運動を60分間行なわせるとともに、負荷漸増法による最大作業も行なわせた。結果は次に示す通りである。

- 1) 70% $\dot{V}O_2\max$ の運動強度時をのぞいて、各強度におけるHct値は運動の経過とともに増加し、運動終了直後に最高値を示した。血漿量の変動値はHct値とは逆に運動の経過とともに減少した。
- 2) 運動強度にともなって、血漿量の変動値は増加する傾向にある。すなわち、50% $\dot{V}O_2\max$ の運動強度まで緩やかな減少を示し、その後急激な減少を示すようだ。

引用文献

- 1) Per-Olof Åstrand and Bengt Saltin. Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 19(5):829-832. 1964.
- 2) W. Van Beaumont. Evaluation of hemocentration from hematocrit measurement. *J. Appl. Physiol.* 31(5):712-713. 1972.
- 3) W. Van Beaumont, J. E. Greenleaf, and L. Juhos. Disproportional changes in hematocrit, plasma volume, and protein during exercise and bed rest. *J. Appl. Physiol.* 33(1):55-61. 1972.
- 4) D. L. Costill and W. J. Fink. Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.* 37(4):521-525. 1974.
- 5) D. B. Dill and Costill. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol.* 33(2):247-248. 1974.
- 6) Gustav Nylin. The effect of heavy muscular work on the volume of circulating red corpuscles in man. *Am. J. Physiol.* 149:180-184. 1947.
- 7) R. D. Hagan, F. J. Diaz, and S. M. Horvath. Plasma volume changes with movement to supine and standing positions. *J. Appl. Physiol.: Respirate. Environ.* 45(3):414-418. 1978.
- 8) 小林寛道, 立位姿勢と歩行の生理学, 体育の科学, 29:19-22. 1979.
- 9) Bengt Saltin. Circulatory response to sub-maximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.* 19(6):1125-1132. 1964.

- 10) Leo C. Senay, JR. and Margaret L. Christensen. Changes in blood plasma during progressive dehydration. *J. Appl. Physiol.* 20(6):1136-1140. 1965.
- 11) J. E. Wilkerson, B. Gutin, and M. Horvath. Exercise - induced changes in blood, red cell, and plasma volumes in man. *Med. Sci. Sports.* 9(3):155-158. 1977.