

# トレッドミル・ランニング時の最大酸素 摂取量と下腿血流量

北村 潔 和

富山大学教養部運動生理学教室 〒930 富山市五福3190

## Maximum Oxygen Uptake and Calf Blood Flow in Maximal Treadmill Running

Kiyokazu Kitamura

Laboratory for Work Physiology, College of Liberal Arts,  
Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama 930

**ABSTRACT** Maximum oxygen uptake and blood flow of the calf were measured in seven male and ten female subjects in maximal treadmill running. The oxygen uptake was determined by Douglas-Bag method. The calf blood flow was determined by a mercury-in-rubber strain gauge venous occlusion plethysmography.

No relationship was observed between the maximum oxygen uptake and calf blood flow in maximal treadmill running. However, a close relationship was found between the maximum oxygen uptake per body weight and calf blood flow. These results suggest that the blood flow through active muscle is one of important factors related to attainment of the maximum oxygen uptake per body weight.

### I. 目 的

前腕に持久的な作業を行かせたときの作業成績（筋持久力）は、行業中や作業後に作業筋（前腕）へ流入する血流量と密接な関係にあることが Kagaya と Ikai<sup>10)</sup>、猪飼と田口<sup>8)</sup>、北村ら<sup>16)</sup>、北村<sup>20)</sup>によって報告されている。全身的な運動であっても、その運動を実際に遂行するのが、上肢や下肢などの末梢の筋群であることを考えると、これらの報告は、全身持久性能力を決定する重要な要因の1つが、運動を遂行する末梢の筋群への血流量にあることを示唆するものと考えられる。しかし、全身持久性能力と末梢の活動筋群への血流量との関係を検討した報告は少ない。

本実験は、全身持久性能力を表わす最も良い指標と考えられている最大酸素摂取量と、その最大酸素摂取量を測定するために用いた運動の主動筋と考えられる下腿筋群への血流

量を測定し、両者の関係から全身持久性能力に及ぼす末梢循環の影響を検討しようとしたものである。

## II. 実験方法

被検者は、日常定期的な身体活動を特別に行っていない健康な男子大学生7名と健康な女子大学生10名の合計17名である。その年齢と身体的特徴は、表1に示した。

表1. 被検者の身体的特徴と最大酸素摂取量, 体重当り最大酸素摂取量, 最高心拍数, 下腿血流量

Items Subj.	Age (yr.)	Body Weight (kg)	Body Height (cm)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (l/min)	$\dot{V}O_2\text{max}/\text{Body Weight}$ (ml/kg · min)	HR max (beats/min)	Calf Blood Flow (ml/100ml · min)
(Male)							
K.K.	24	56.5	172.0	2.61	46.2	198	11.3
N.N.	24	57.0	175.0	3.08	54.0	188	23.5
A.Y.	19	59.0	171.0	3.60	61.6	201	47.4
T.O.	20	58.0	162.0	3.29	56.8	188	23.3
H.K.	20	61.5	166.0	3.65	58.7	201	32.7
O.M.	20	61.0	174.8	3.77	61.7	190	33.3
J.K.	20	57.0	169.0	3.30	57.9	210	29.0
(Female)							
S.A.	20	52.0	158.8	2.41	46.4	190	17.4
E.I.	20	54.5	164.5	2.34	42.9	196	23.6
N.Y.	20	46.0	151.3	2.11	45.9	179	33.0
I.S.	20	43.5	147.9	2.36	54.5	187	34.0
K.O.	20	60.5	159.8	2.40	39.7	180	18.0
H.I.	20	52.0	160.3	2.42	46.6	198	25.1
H.N.	20	45.5	156.4	2.00	44.0	180	31.8
T.O.	20	55.0	156.7	1.89	34.3	199	22.4
N.T.	20	41.5	146.8	1.87	45.0	188	26.4
E.O.	20	58.0	158.9	2.71	46.8	182	27.7

最大運動は、傾斜5度のトレッドミル上のランニングとし、毎分10mずつスピードを漸増することによって、被検者を疲労困憊へ導いた。なお、疲労困憊までの運動時間が5分~10分になるように、運動開始時のトレッドミルスピードを男子では120m/分、女子では100m/分にした。その結果、男女ともに5分~8分でトレッドミルスピードについてランニングできなくなった(疲労困憊)。

最大酸素摂取量の測定は、ダグラスバック法を用いて行った。すなわち、ランニング中の呼気ガスをダグラスバックに1分毎に連続して採気し、呼気ガス量(換気量)を乾式ガスメーターで計量し、呼気ガス中のCO<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>濃度を三栄測器株式会社製の瞬時呼気ガス分析装置(EXPIRED GAS ANALYSER 1H06)により分析して求めた。なお、校正ガスは、ガスクロマトグラフィー(K23日立ガスクロマトグラフィー)により校正した<sup>15)</sup>。

心拍数は、胸部双極誘導により導出した心電図をポリグラフ（日本光電工業株式会社）に連続記録し、得られた心電図の R 波を 1 分毎に数えることによって求めた。

下腿血流量は、先に Miyamura<sup>27)</sup>ら、北村<sup>12)</sup>らが報告している水銀ラバーストレインゲージを用いた静脈阻止法により測定した。すなわち、被検者をトレッドミル上に設置した木製のベッドに仰臥位にし、天井から吊された 2 本のベルトに足首を通して下腿が心臓水準になるように吊した。そして、下腿の最大囲に 25g の張力で水銀ラバーストレインゲージと大腿部に幅 24cm の静脈阻止用の Cuff を装置した。下腿周径変化は、大腿部の静脈阻止 Cuff に 90mmHg の静脈阻止圧を約 5 秒間加えて測定した。下腿血流量は、このようにして得られた下腿周径変化の記録から Whitney<sup>28)</sup>の方法にしたがい求めた。

被検者は、トレッドミル上に設置されたベッドに仰臥位になり、その状態で 5 分間の安静を保った。その後、被検者の大腿部に静脈阻止用の Cuff と下腿部に水銀ラバーストレインゲージをそれぞれ装着した。これらを装着した状態でトレッドミル上に立ち、胸部に心電図導出用の電極と呼気ガス採気用のマスクを装着し、男子では 120m/分、女子では 100m/分のスピードで 2 分間のランニング（ウォーミングアップ）を行わせた。ウォーミングアップ終了後、さらに 2 分間の休息をとらせ、疲労困憊までのランニングを先の方法で行わせ、運動中の心拍数と酸素摂取量を測定した。疲労困憊後、被検者をすばやく元の仰臥位にし、下腿血流量を運動終了後 10 秒以内に先の方法で測定した。

ランニングアップ終了後、さらに 2 分間の休息をとらせ、疲労困憊までのランニングを先の方法で行わせ、運動中の心拍数と酸素摂取量を測定した。疲労困憊後、被検者をすばやく元の仰臥位にし、下腿血流量を運動終了後 10 秒以内に先の方法で測定した。

### III. 結 果

最大酸素摂取量、体重当り最大酸素摂取量、最高心拍数、運動終了直後下腿血流量を表 1 に示した。

図 1 は、最大酸素摂取量と運動終了直後下腿血流量との関係を示したものである。図でも明らかなように両者の間には、統計的に有意な関係は認められなかった。

図 2 は、体重当り最大酸素摂取量と運動終了直後下腿血流量の関係を示したものである。図でも明らかなように両者の間には密接な関係が認められた

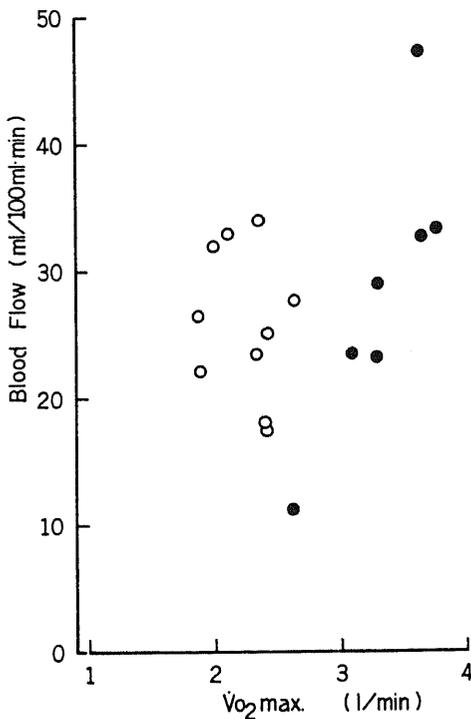


図 1. 最大酸素摂取量と下腿血流量の関係。  
白丸印は女子を、黒丸印は男子を示す。

( $r=0.576$ ,  $p<0.02$ )。

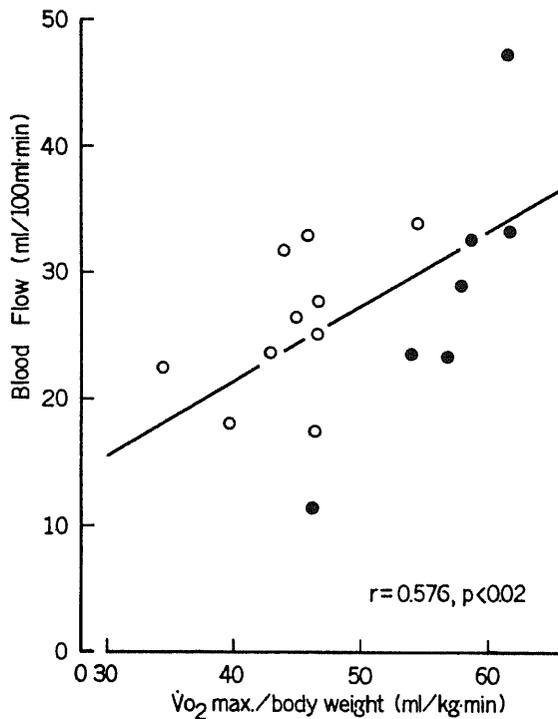


図2. 体重当り最大酸素摂取量と下腿血流量の関係。  
白丸印は女子を、黒丸印は男子を示す。

#### IV. 考 察

最大酸素摂取量は、全身持久性能力を表わす最も良い指標として測定されてきている。<sup>4,6,22,23,24)</sup>しかし、いつも問題となるのは、被検者を疲労困憊まで導いて、最大能力が測定されていたかどうかということである。本実験では、これまでの報告のように、<sup>22,23,24)</sup>呼吸商が1.0以上、心拍数が180拍/分以上であることを指標として、被検者を疲労困憊へ追い込んでいたかどうかを検討した。その結果、全ての被検者の呼吸商は1.0以上であり、また、最高心拍数は1名の被検者(179拍/分)を除いて180拍/分以上であった。したがって、本実験では、それぞれの被検者の最大能力が測定できたものと考えられる。

Kitamura<sup>13,19)</sup>ら、北村<sup>17)</sup>は、同側の大腿筋群または下腿筋群に作業を行かせたときの大腿と下腿血流量を同時測定し、血流量は活動部位のみに顕著な増大がみられることを報告している。また、Humphreys<sup>7)</sup>とLind<sup>7)</sup>は、筋電図学的手法を用い、作業中の血流量は主に活動筋で増大することを報告している。これらの報告は、同じ下肢を主動筋とする運動であっ

でも、その作業形態によって大腿や下腿へ配分される血流量に違いのあることを示唆しているものと考えられる。したがって、全身的な運動時の末梢筋群への血流量を検討する場合には、その運動の主動筋を正確に把握し、その部位の血流量を測定することが大切であるものと考えられる。Matsui<sup>26)</sup>らは、下腿筋群が主動筋となって遂行されると考えられる自転車エルゴメーターのペダリングとトレッドミル上のランニング後の大腿と下腿筋群の血流量を測定し、自転車エルゴメーターのペダリングでは、下腿に比べて大腿に血流量の顕著な増大のみられることを報告している。それに対して、トレッドミル上のランニングでは、大腿と下腿筋群への血流量の間には有意の差がみられなかったことを報告している。さらに金子と北村<sup>11)</sup>、北村<sup>21)</sup>は、筋電図学的手法を用いてランニング中の大腿と下腿筋群は、ほぼ同程度に活動していることを明らかにしている。これらの報告から、本実験のランニング後に測定した下腿血流量は、ランニングの主動筋の血流量であったと考えられる。

次の問題となるのは、本実験で得られた下腿血流量が運動直後であったことであり、運動後の血流量が運動中の血流量を反映しているかどうかである。BarcroftとDornhorst<sup>2)</sup>は、下腿に律動的な作業を行わせたときの筋弛緩期の血流量が作業終了直後血流量とほぼ一致することを報告している。また、北村<sup>18)</sup>は、前腕に律動的な最大作業を行わせたときの作業中と作業後の血流量を測定し、作業終了直後に得られた血流量は、作業中に得られた最高血流量と密接な関係にあり、有意の差のないことを報告している。さらに、本実験で得られた作業終了直後の下腿血流量は、キセノクリアランス法によって得られた最大運動中の血流量とよく一致した<sup>5)</sup>。したがって、本実験で得られた運動終了直後血流量は、運動中の最高血流量をよく反映していたものと考えられる。

最大酸素摂取量は、“最大心拍出量×最大動静脈酸素較差”によって表わされる。いかえれば、活動筋への血流量と活動筋での酸素摂取能力によって最大酸素摂取量は決定される。これまでの報告では、活動筋での酸素摂取能力（動静脈酸素較差）は、最大酸素摂取量の高い者（持久的能力のトレーニング者）と最大酸素摂取量の低い者（非トレーニング者）の間に有意の差のないことが明らかにされている<sup>27)</sup>。これは、活動筋で多量の血流量を獲得することが高い最大酸素摂取量を獲得するのに有利であることを示唆するものであろう。しかし、本実験で得られた最大酸素摂取量と下腿血流量の間に有意な関係は認められなかった（図1）。この原因の1つには、最大酸素摂取量が身体全体（活動筋量）の筋の量（量的要因）と関係しているのに対し、本実験で測定した下腿血流量が、単位組織当りに流入する量（質的要因）<sup>16)</sup>を表わしているといった相違によるものと考えられる。

そこで、単位組織当りに酸素を摂取できる指標として、体重当り最大酸素摂取量（質的要因）と下腿血流量（質的要因）との関係のみてみると、図2でも明らかのように、両者の間に有意な関係が認められた。すなわち、単位組織当りに高い酸素摂取能力のある者は、単位組織当りに低い酸素摂取能力の被検者に比べて、単位組織当りに流入する血流量

が高い。このことは、単位組織当りに高い酸素摂取能力を獲得するには、単位組織当りに多量の血流量を獲得することが大切であることを示唆するものであろう。

これに関係する形態学的研究が、Andersen と Henrikssen<sup>1)</sup>、Brodal<sup>3)</sup>、Ingjer<sup>9)</sup>によって行われている。すなわち、Brodal<sup>3)</sup>、Ingejer<sup>9)</sup>は、持久的なトレーニング者と非トレーニング者の単位面積当りの毛細血管数（毛細血管密度）を比較し、毛細血管密度は非トレーニング者よりもトレーニング者の方に有意に高いことを報告している。また、Andersen と Henrikssen<sup>1)</sup>は、持久的なトレーニングによって体重当り最大酸素摂取量の増大は、毛細血管密度の増大と密接な関係にあることを報告している。作業筋への血流量の増大は、毛細血管の拡張と休止血管の開通によって起こることが明らかにされていることから<sup>25)</sup>、これらの報告は、本実験の体重当り最大酸素摂取量と下腿血流量の間に密接な関係のあった結果を支持するものと考えられる。

以上の検討から、体重当り最大酸素摂取量は、単位組織当りに流入する血流量と密接な関係にあり、体重当り最大酸素摂取量を決定する要因の1つが単位組織当りに流入する血流量（酸素運搬能力）にあることが示唆された。

## V. 要 約

トレッドミル上のランニング中の最大酸素摂取量をダグラスバッグ法で、運動終了直後下腿血流量を水銀ラバーストレインゲージを用いた静脈阻止法で測定した。

最大酸素摂取量と下腿血流量の間には有意の関係は認められなかった。しかし、体重当り最大酸素摂取量と下腿血流量の間には、有意な関係が認められた ( $r=0.576$ ,  $P<0.02$ )。これらのことから、体重当り最大酸素摂取量を決定する重要な要因の1つが単位組織当りに流入する血流量であると考えた。

## 文 献

- 1) Andersen, P. and J. Henrikssen (1977) Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of men: adaptive response to exercise. *J. Physiol.*, 270: 677—690.
- 2) Barcroft, H. and A. C. Dornhorst (1949) The blood flow through the human calf during rhythmic exercise. *J. Physiol.*, 109: 402—411.
- 3) Brodal, P., F. Ingjer and L. Hermansen (1977) Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained men. *Am. J. Physiol.*, 232: 705—712.
- 4) Ekblom, B. (1969) Effect of physical training in adolescent boys. *J. Appl. Physiol.*, 27: 350—355.
- 5) Grimby, G., E. Häggendal and B. Saltin (1967) Local xenon 133 clearance from the quadriceps muscle during exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 22: 305—310.
- 6) Hermansen, L. (1973) Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta Physiol. Scand.*, Suppl. 399.
- 7) Humphreys, P. W. and A. R. Lind (1963) The blood flow through active and inactive muscle of the forearm during sustained hand-grip contraction. *J. Physiol.*, 166: 120—135.
- 8) 猪飼道夫, 田口貞善 (1968) 筋の酸素摂取量と作業能力 II. *体育の科学*, 18: 188—194.

- 9) Ingjer, F. (1979) Effects of endurance training on muscle fiber ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *J. Physiol.*, 294: 419—432.
- 10) Kagaya, A. and M. Ikai (1970) Training effects on muscular endurance with respect to blood flow in males and females of different ages. *Res. J. Phys. Educ.*, 14: 129—136.
- 11) 金子公宥, 北村潔和 (1975) 100m 疾走中のスピード変化に関係する要因のキネシオロジー的分析. *体育の科学*, 25: 109—115.
- 12) 北村潔和, 宮村実晴, 山本親, 松井秀治 (1979) 異なる2つの静脈阻止プレシモグラフ法による下腿血流量の比較. *体育学研究*, 23: 315—320.
- 13) Kitamura, K., Y. Yasuda, M. Miyamura and H. Matsui (1980) Blood flow of the ipsilateral and contralateral lower limbs after isometric contraction. *Jpn. J. Physiol.*, 30: 301—304.
- 14) 北村潔和, 福田明夫, 山地啓司 (1980) 運動様式の違いにみられる最大酸素摂取量の相違—脚, 腕, 脚+腕作業を中心に—. *富山大学教養部紀要 (自然科学篇)*, 13: 13—20.
- 15) 北村潔和, 福田明夫, 山地啓司, 有沢一男 (1980) ガスクロマトグラフィーによる呼気ガス分析の検討. *体育学研究*, 25: 149—153.
- 16) 北村潔和, 福田明夫, 有沢一男, 山地啓司 (1981) 加齢と性差からみた前腕の筋持久力と血流量の変動. *富山大学教養部紀要 (自然科学篇)*, 14: 87—94.
- 17) 北村潔和 (1981) 下腿の律動的作業にともなう活動肢および非活動肢への血流量. *体力科学*, 30: 240—245.
- 18) 北村潔和 (1983) 前腕の律動的作業中血流量と作業終了直後血流量の関係. *富山大学教養部紀要 (自然科学篇)*, 16: 77—84.
- 19) Kitamura, K., M. Shimaoka, H. Matsui and M. Miyamura (1983) Thigh and calf blood flows after isometric contraction in untrained and trained subjects. *Jpn. J. Physiol.*, 33: 449—458.
- 20) 北村潔和 (1984) 前腕の律動的作業中の血流量と筋持久力. *J. J. Sports Sci.*, 3: 563—568.
- 21) 北村潔和 (未発表資料) 下肢筋電図からみたランニングと自転車ベダリング運動の比較.
- 22) Kobayashi, K., K. Kitamura, M. Miura, H. Sodeyama, Y. Murase, M. Miyasita and H. Matsui (1978) Aerobic power as related body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.*, 44: 666—672.
- 23) 小林寛道, 北村潔和, 豊島進太郎, 水野義雄, 長沢弘, 松井秀治 (1979) 健康成人女子およびスポーツ選手の Aerobic Power. *体育学研究*, 24: 237—246.
- 24) 小林寛道, 北村潔和, 松井秀治 (1980) 一般健康成人男子および中高年スポーツ愛好者の Aerobic Power. *体育学研究*, 24: 313—323.
- 25) Krogh, A. (1919) The number and distribution of capillaries in muscles with calculations of the oxygen pressure head necessary for supplying the tissue. *J. Physiol.*, 52: 409—415.
- 26) Matsui, H., K. Kitamura and M. Miyamura (1978) Oxygen uptake and blood flow of the lower limb in maximal treadmill and bicycle exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 40: 57—62.
- 27) Miyamura, M., K. Kitamura, A. Yamada and H. Matsui (1978) Cardiorespiratory responses to maximal treadmill and bicycle exercise in trained and untrained subjects. *J. Sports Med.*, 18: 25—32.
- 28) Whitney, R. J. (1953) The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol.*, 121: 1—27.