

## 下腿血流量および下腿容積変化からみた最大トレッド ミル運動と自転車エルゴメーター運動の比較

### Comparison of Maximal Treadmill and Bicycle Exercise from the View Point of Blood Flow and Volume Change of the Calf.

北村 潔和\* 山田 昭子\*\*  
宮村 実晴\* 松井 秀治\*

Kiyokazu KITAMURA\*, Akiko YAMADA\*\*, Miharu MIYAMURA\*,  
and Hideji MATSUI\*

Maximum oxygen uptake, calf blood flow and calf volume change were determined in 20 healthy male subjects on the maximal treadmill and bicycle exercise. The average maximum oxygen uptake during maximal treadmill exercise was significantly higher than that during bicycle exercise ( $P < 0.005$ ). Resting calf blood flow before maximal treadmill and bicycle exercise were approximately the same. However, the mean and standard deviations of the peak calf blood flows after maximal treadmill and bicycle exercise were  $26.99 \pm 7.89$  ml/100ml-min and  $15.77 \pm 7.03$  ml/100ml-min, respectively. This difference was statistically significant ( $P < 0.005$ ). Although the calf volume changes increased during maximal treadmill and bicycle exercise, it was found that in all subjects the level of contraction and/or relaxation phase during treadmill exercise was higher than that during bicycle exercise as shown in figure 3. Furthermore, there are a close relationship between calf volume changes during exercise and peak calf blood flow after exercise with being statistically significant ( $P < 0.001$ ). From these results, it was suggested that one of the factor of the lower maximum oxygen uptake during bicycle exercise seems to be due to the lower calf blood flow as compared with maximal treadmill exercise.

ヒトの有酸素的作業能の最も良い指標とされている最大酸素摂取量は、一般にトレッドミルや自転車エルゴメーターを用いて測定されている。しかしながら、トレッドミル運動で得られた最大酸素摂取量の方が自転車エルゴメーター運動に比べて6~16%有意に高いことが知られて<sup>1,2,6,9,12,13</sup>いる。これらの運動形態の違いによる最大酸素摂取量の差の生じる原因として、トレッドミル最大運動では心拍出量が自転車エルゴメーター最大運動のそれと比べて多いことによるものであると報告されている。<sup>7,14</sup>しかし、実際に運動を遂行する主動筋は下肢筋群であり、下肢筋への血流量は

活動組織への酸素運搬系として酸素摂取量を制限する重要な要因の一つであると考えられる。これまでトレッドミル運動と自転車エルゴメーター運動時の下肢の血流量を比較した報告は見当たらない。そこで、本実験では、最大トレッドミル運動と自転車エルゴメーター運動を行わせた際の最大酸素摂取量、下腿血流量と下腿容積変化を測定し比較検討しようとした。

#### 方 法

被検者は、健康な男子大学生（年齢 $19.2 \pm 1.0$ 、身長 $168.7 \pm 5.5$ 、体重 $58.1 \pm 4.5$ ）20名である。同一被検者に対して、日をかえて5回実験を行っ

\* 名古屋大学総合保健体育科学センター

\* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

\*\* 愛知女子短期大学

\*\* Aichi Women College

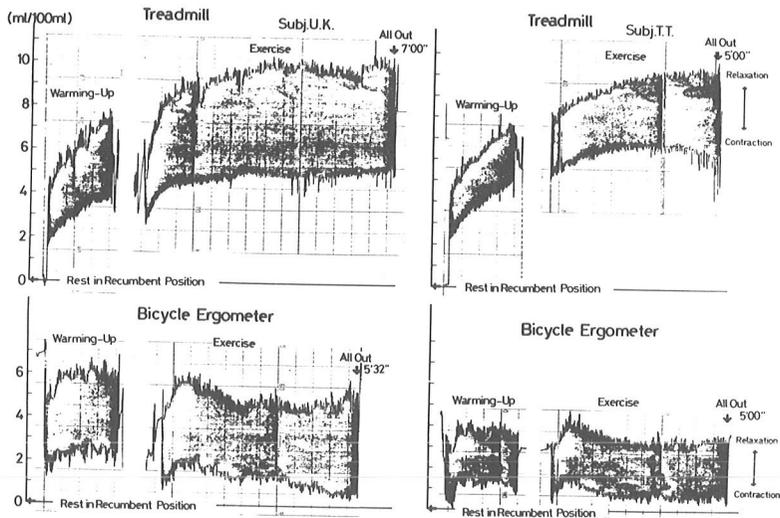


Fig. 3. Recording of the calf volume change during maximal treadmill (upper panel) and bicycle (lower panel) exercise.

A Model of Volume Change			
Treadmill	***** ***** *	*****	***
Bicycle	**	***	***** ***** **

Fig. 4. Diagrammatic representation of the calf volume change during treadmill and bicycle exercise.

って増大することは、Grimbyら<sup>16)</sup>、Pirnayら<sup>15)</sup>によって報告されている。本実験では、最大運動後の下腿血流量は、トレッドミル運動の方が自転車エルゴメーター運動に比べて有意に高い値を示した(図1, 図2)。福永ら<sup>5)</sup>は、自転車エルゴメーター運動とトレッドミル運動時の下肢筋の筋電図を積分し、両運動で比較し、自転車エルゴメーター運動時の腓腹筋の放電量は、トレッドミル運動のそれと比べて少なかったと報告している。Krogh<sup>11)</sup>は、運動時の末梢血流量の増大は毛細血管の拡張と休止血管の開通によるものであると述べている。運動時における末梢血管の拡張は、運動中に生じた乳酸などの代謝産物も関係していることから、

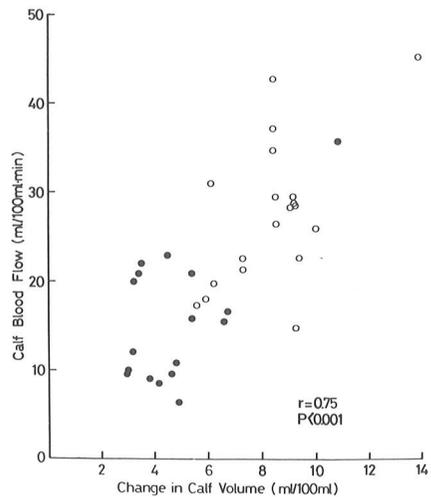


Fig. 5. Peak calf blood flow in relation to calf volume change in the maximal treadmill (open circle) and bicycle (solid circle) exercise.

本実験で得られた自転車エルゴメーター運動後の下腿血流量が低かった原因は、下腿筋群の代謝水準がトレッドミル運動に比べて低かったことによるであろうと考えられる。

一方、トレッドミル運動後の最高下腿血流量が自転車エルゴメーターのそれと比べて高いことは、

運動中も同様にトレッドミル運動の方が高いことを示唆するものである。しかし、本実験で用いた静脈阻止法では運動中の下腿血流量は測定できない。そこで運動時の下腿血流量を知るための指標として運動中の下腿の容積変化を記録した。その結果、図3で示したように、下腿容積の増大はトレッドミル運動の方が自転車エルゴメーター運動に比べて大きかった。いずれの運動にしても、運動開始と同時に下腿容積は増大するが、トレッドミル運動と自転車エルゴメーター運動中にみられる容積変化は明らかに異なった傾向が認められた(図3, 図4)。両運動におけるこれらの異なった傾向が何によって引き起されているかについては明らかではないが、Faulknerら<sup>4)</sup>は、トレッドミル運動の方が自転車エルゴメーター運動に比べて筋収縮時間も短かく、よりリズムカルな運動であると述べていることから、筋ポンプが関係していると思われる。また、Kjellmer<sup>10)</sup>は、運動時には活動組織の浸透圧の上昇によって毛細血管の濾過係数が増加すると報告している。さらに、JacobssonとKjellmer<sup>8)</sup>は、運動を行うことによってリンパ液量も増加することを見つけている。したがって本実験で得られた運動中の下腿容積の増大は、組織水分量とリンパ液量の増大と血液量の増大を含むものと考えられる。図5で示したように運動後最高下腿血流量と疲労困憊時点の下腿容積増加量との間には密接な関係がみられたことや、もしトレッドミル運動と自転車エルゴメーター運動における組織水分量とリンパ液量の増加の程度が同じであると仮定するならば、自転車エルゴメーター運動中の下腿血流量は、トレッドミル運動に比べて低かったと考えられる。この仮定は指示葉希釈法やキセノンクリアランス法を用いて今後さらに検討する必要があると思われる。

以上の結果から、自転車エルゴメーター最大運動時の最大酸素摂取量がトレッドミル最大運動のそれに比べて低い要因の一つは、自転車エルゴメーター運動中の下腿血流量がトレッドミル運動のそれと比べて少ないことによるものであろうと考えられる。

- 1) Åstrand, P.O. and B.Saltin: Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J.Appl.Physiol.* 16(6): 977-981, 1961.
- 2) Bergh, U., I.-L.Kanstrup and B.Ekblom: Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *J.Appl.Physiol.* 41(2): 191-196, 1976.
- 3) Chase, G.A., C.Grave and L.B.Rowell: Independence of changes in functional and performance capacities attending prolonged bed rest. *Aerospace Med.* 37:1232-1238, 1966.
- 4) Faulkner, J.A., D.E.Roberts, R.L.Elk and J.Conway: Cardiovascular responses to submaximum and maximum effort cycling and running. *J.Appl.Physiol.* 30(4): 457-461, 1971.
- 5) 福永哲夫, 湯浅景元, 朝比奈一男, 藤松博, 宮側敏明, 小林培男, 岩見恒典: 最大及び最大下作業中の呼吸循環機能におよぼす自転車エルゴメーターとトレッドミル歩行の影響。中京体育学研究, 16(2): 15-23, 1975
- 6) Hermansen, L. and B.Saltin: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J.Appl.Physiol.* 26(1): 31-37, 1969.
- 7) Hermansen, L., B.Ekblom and B.Saltin: Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. *J.Appl.Physiol.* 29(1): 82-86, 1970.
- 8) Jacobsson, S. and I.Kjellmer: Flow and protein content of lymph in resting and exercising skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 60: 278-285, 1964.
- 9) Kamon, E. and K.Pandolf: Maximal aerobic power during laddermill climbing, uphill running and cycling. *J.Appl.Physiol.* 32(4): 467-473, 1972.
- 10) Kjellmer, I.: Studies on exercise hyperemia. *Acta Physiol. Scand.* 64, Suppl. 244, 1965.
- 11) Krogh, A.: The number and distribution of capillaries in muscle with calculation of the oxygen pressure head necessary for supplying the tissue. *J.Physiol.* 52: 409-415, 1919.
- 12) McArdle, W.D. and J.R.Magel: Physical work capacity and maximum oxygen uptake in treadmill and bicycle exercise. *Med.Sci.Sports*, 2: 118-123, 1970.
- 13) McKay, G.A. and E.W.Banister: A comparison of maximum oxygen uptake determination by bicycle ergometer at various pedaling frequencies and by treadmill running at various speeds. *Europ.J.Appl.Physiol.* 35: 191-200, 1976.

- 14) Miyamura, M. and Y.Honda: Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J.Appl.Physiol.* 32(2): 185-188, 1972.
- 15) Pirnay, F., R.Marechal, R.Radermecher and J.M. Petit: Muscle blood flow during submaximum and maximum exercise on bicycle ergometer. *J.Appl.Physiol.* 32: 210-212, 1972.
- 16) Grimby, G., Häggendal and B.Saltin: Local Xenon 133 clearance from the quadriceps muscle during exercise in man. *J.Appl.Physiol.* 22: 305-310, 1967.
- 17) Whiteny, R.J.: The measurement of volume changes in human limbs. *J.Physiol.* 121: 1-27, 1953.