各種負荷強度の律動的作業中にみられる前腕血流量の変動

北 村 潔 和*

FOREARM BLOOD FLOW DURING AND AFTER HAND-GRIP EXERCISE AT VARIOUS WORK LOADS

KIYOKAZU KITAMURA

Forearm blood flow in three male and one female subjects were determined with a mercury-in-rubber strain gauge venous occlusion plethysmography before, during and after rhythmic hand-grip exercise. The hand-grip exercise was performed on a hand-ergometer with the load of 5, 10, 20 and 30% of maximal voluntary contraction (MVC) of each subject, at the rate of 60 contractions/min as timed with a metronome.

The following results were obtained ;

1) The forearm blood flow during rhythmic exercise at the tension of 5% MVC increased as soon as the exercise started and reached a steady state in approximately 1 min.

2) The forearm blood flow during rhythmic exercise at the tension of 10% MVC did not reach a steady level during 3 min exercise.

3) The forearm blood flow during rhythmic exercise at tensions of 20 and 30% MVC were increased steadily throughout the hand-grip exercise.

4) The forearm blood flow determined immediately before stopping the exercise and immediately after exercise at tensions of 5 and 10% MVC were approximately the same.

5) The blood flow in the forearm determined immediately before stopping the rhythmic exercise at tensions of 20 and 30% MVC were lower than the blood flow immediately after exercise.

6) From these results, it was concluded that the blood flow requirement of muscles during the rhythmic hand-grip exercise at tensions up to 10% MVC can adequately be supplied. Therefore, the rhythmic exercise at tensions up to 10% MVC can keep up for a very long time without fatigue.

(J. Physical Fitness Japan 1983, 32 : 66~75)

I. 結 言

各種の負荷強度で前腕の静的作業を行わせた時の作業中および回復期の血流量は、静脈阻止プレチスモグラフ法を用いて連続的に測定され、詳細に検討³⁾⁷⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁶⁾されている。それに対し律動的作業中の血流量に関する報告は少なく²⁾²⁷⁾、律動的作業を前腕に行わせた時、作業中の血流量が作業時間の経過にともなってどのように変動するのか、また、その作業中の血流量は、負荷強度

が異なることによってどのように変わるのか明らかでない。

本実験は、異なる4種類の負荷を用いて前腕の律動的作業を行わせた時の作業中、回復期の血流量を静脈阻止プレチスモグラフ法を用いて連続的に測定し、作業時間の経過にともなう前腕への血流量の変動を明らかにしようとしたものである。

II. 実 験 方 法

1) 被検者：年齢 22~31 歳，身長 160.0~

* 富山大学教養部運動生理学教室
〒930 富山市五福 3190

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

175.5 cm, 体重 65.0~72.5 kg の健康な男子 3 名と年齢 20 歳, 身長 157.0 cm, 体重 53.0 kg の健康な女子 1 名である。

2) 最大筋力の測定と作業負荷の決定: 最大筋力は, ストレインゲージを内蔵した握力計 (ヤガミ電子握力計 ED-100) を用いて最大努力での握力を立位で 2 度測定し, その高い方の値を最大筋力として採用した。

作業負荷には, その最大筋力の 5, 10, 20, 30% を用いた。

3) 前腕の律動的作業: 前腕の律動的な作業は, 図 1 のごとく被検者を仰臥位にし, 体側方向に右腕を伸ばし, その前方に固定されたハンドエルゴメーターを用いて手の把握によって行わせた。すなわち, 被検者は, 1 秒に 1 回に規定されたメトロノームのテンポに合わせて, ハンドエルゴメーターに吊るされた負荷を 1 cm 持ち上げた。

最大筋力の 5, 10, 20% の負荷では, 3 分間の作業を, 30% の負荷では疲労困憊までの作業を行わせた。ただし, 被検者 K.K. は, 20% の作業においても 3 分間の作業を続けることができなかった。

また, これらの 4 種類の負荷での作業は, 作業と作業の間に約 15 分間の休息をはさんで 5, 10, 20, 30% の順に 1 日で行わせた。

4) 安静時, 作業中, 回復期の血流量の測定: 安静時, 作業中, 回復期の前腕血流量は, 水銀ラバーストレインゲージを用いた静脈阻止プレシモグラフィ法を適用して測定した。すなわち, 前腕の最大囲に 25 g の張力で水銀ラバーストレインゲージを装着し, 次いで手頸部に幅 4 cm, 上腕部に幅 14 cm の cuff をそれぞれ装着した。前腕の周径変化は, 手への血流を阻止するために, 手頸部の cuff に 240 mmHg の圧を加えた後, 上腕部の静脈阻止 cuff に 60 mmHg の圧を 15 秒加えて記録した。最大筋力の 5% の負荷で作業を行わせた時に得られた安静時, 作業中, 回復期の前腕周径変化の記録例を図 2 に, 最大筋力の 30% の負荷で作業を行わせた時の作業中と回復期の前腕周径変化の記録例を図 3 に示した。血流量は図 2, 3 にみられるような記録から (前腕の周径変化) Whitney³¹⁾ の方法にしたがって求めた。なお, 水銀ラバーストレインゲージの校正は, あらかじめゲージに 25 g の張力を加えた状態からマイクロ

Fig. 1 Experimental set-up for measurement of forearm blood flow before, during and after rhythmic exercise.

Fig. 2 An actual record of volume changes in the forearm before, during and after rhythmic exercise at 5% of maximal voluntary contraction.

Fig. 3 An actual record of volume changes in the forearm during and after rhythmic exercise at 30% of maximal voluntary contraction.

Fig. 4 Forearm blood flow in response to 3 min rhythmic exercise at tensions from 5 to 30% of maximal voluntary contraction.

メーターを用いて、ゲージを引き伸ばすことによって行った。

5) 測定手順：最大筋力を測定した被検者を図1のごとく仰臥位にし、右前腕に水銀ラバースト

Fig. 5 Forearm blood flow in response to 3 min rhythmic exercise at tensions from 5 to 30% of maximal voluntary contraction.

レイngeージ、手頸部と上腕部に Cuff をそれぞれ装着した。その状態で約15分間の安静をとらせた後、安静時血流量を30秒間隔で2分間測定した。安静時血流量の測定後、手頸部の Cuff に圧を加えた状態で、最大筋力の5%の負荷で作業を行わせ、作業開始5秒後から20秒間隔で作業中の血流量を測定した。回復期の血流量は、作業終了5秒後から20秒間隔で2分間測定した。なお、10, 20, 30%の負荷についても5%の負荷での作業と同じ手順で測定した。

III. 結 果

図4, 5は、最大筋力の5, 10, 20, 30%の4種類の負荷を用いて作業を行わせた時に得られた安静時、作業中、回復期の前腕血流量を被検者別

に示したものである。

作業中の血流量についてみると、最大筋力の5%の負荷を用いた作業では、4名の被検者に共通して、作業開始後約1分まで血流量の急激な増大が起り、その後3分まで血流量がほぼ一定の値を維持する傾向がみられた（定常状態）。

最大筋力の10%の負荷を用いた作業では、4名の被検者に共通して、作業開始後約1分30秒までは、血流量の急激な増大がみられ、その後、血流量のゆるやかな増大が作業終了まで続く傾向がみられた。

最大筋力の20%の負荷を用いた作業では、3名の被検者に共通して、作業開始から作業終了まで作業時間の経過にともなって急激な血流量の増大する傾向がみられた（被検者 J.T. は作業開始後1分30秒から定常状態になる傾向を示した）。

最大筋力の30%の負荷を用いた作業では、4名の被検者ともに疲労困憊まで、作業時間の経過にともなって血流量の急激な増大する傾向がみられた。

また、作業開始から作業終了までの同一時間にみられる血流量は、最大筋力の5、10、20、30%の負荷の順に高くなる傾向がみられた（被検者 K.K. は、最大筋力の20%の負荷の方が30%の負荷に比べて高い値を示した）。

図6は、作業終了直前の血流量と作業終了直後の血流量との関係を示したものである。最大筋力

Fig. 6 Relationship between blood flow during and after rhythmic exercise.

Fig. 7 Relation between blood flow and work load in percent of maximal voluntary contraction.

の5、10%の負荷を用いた作業では、作業終了直前の血流量と作業終了直後の血流量は、ほぼ同じ値を示した。しかし、最大筋力の20、30%の負荷を用いた作業では、作業終了直前の血流量が作業終了直後の血流量に比べて低い値を示す傾向がみられた。

図7は、負荷強度とそれぞれの作業終了直前 (During)、作業終了直後 (After) の血流量の関係を示したものである。作業終了直前の血流量は、最大筋力の30%の負荷まで、負荷が増すにつれて増大する傾向がみられたが、その増加の割合は、負荷が大きくなるにしたがって小さくなる傾向を示した。一方、作業終了直後の血流量は、最大筋力の30%の負荷まで、負荷の増大にともなって増す傾向がみられた。

IV. 論 議

最初に、静脈阻止プレシモグラフ法を適用して、律動的な作業中の血流量を測定した Barcroft & Dornhorst²⁾ は、律動的な作業中では筋内圧が静脈阻止圧よりも高くなり、筋の律動的な収縮 (muscle pump) によって静脈阻止 Cuff の下から血液が流出するという考えから、次の手順によって律動的作業中の血流量を測定した。すなわ

ち、1秒に1回のテンポで足関節の底屈作業を行わせた状態で大腿部の静脈阻止 Cuff に 90 mmHg の静脈阻止圧を加えて静脈還流を阻止し、動脈血の流入量を測定した (Apparent inflow)。次に、静脈阻止圧を加え、作業を続けた状態で大腿動脈を指で圧迫し動脈血流を阻止し、筋収縮によって静脈阻止 Cuff の下から流出する血液量を測定した (Apparent pumped outflow)。さらに、静脈還流を阻止し、動脈血流も阻止した状態で作業を止め、他の動脈からの流入量を測定した (Collateral inflow)。このようにして得られた、それぞれの血流量を加算し、その値を律動的作業中の血流量とした。この方法は、後に Rohter ら²⁷⁾によって前腕の律動的な作業中(手頸を屈曲させる作業)の血流量の測定に応用された。

このような、Barcroft & Dornhorst²⁾の考え方にしたがえば、律動的作業中に静脈阻止 Cuff の

下から流出する血液があるかないかを確かめておけば、彼ら²⁾の示した複雑な手続をとらなくとも通常の静脈還流を阻止するのみの方法によって律動的作業中の血流量が測定できるものとする。

したがって、本実験の4名の被検者に対して、本実験と同じ作業条件で律動的作業を行わせたときに、静脈阻止 Cuff の下から流出する血液があるかないかを Barcroft & Dornhorst²⁾の示した方法を前腕に応用して確かめた。すなわち、前腕に水銀ラバーストレイナージを装着し、次いで手頸部に幅 4 cm、上腕部に幅 14 cm の Cuff をそれぞれ装着した。その後、手への血流量を阻止するために、手頸部の Cuff に 240 mmHg の圧を加え、その30秒後に作業を行わせた。作業開始 5 秒後に、上腕部の静脈阻止 Cuff に 60 mmHg の静脈阻止圧を 10 秒間加え前腕の周径変化を記録した。次に、作業を続け、静脈阻止圧を加えた状態

Fig. 8 An actual record of forearm volume changes during rhythmic exercise at 5, 10, 20 and 30% of maximal voluntary contraction.

SE : start of exercise, VO : venous occlusion, BAO : brachial artery occlusion, ES : exercise stopped, BAR : brachial artery released.

で、肘関節上の上腕動脈を指で圧迫し、動脈血流を阻止し、前腕周径変化を記録した。さらに、静脈阻止圧を加え、動脈血流も阻止した状態で作業を止め、前腕周径変化を記録した。なお、上腕動脈の圧迫点は、肘関節上で触診される脈を手掛に上腕動脈の位置を決定し、その箇所を上腕骨に向けて圧迫した。動脈血流が阻止されているかは、手頸部の橈骨動脈の脈を触診によって確かめ、それが消失することを目安とした。

図8は、最大筋力の5, 10, 20, 30%の負荷で得られた、作業中の前腕周径変化の記録例を示したものである(被検者 J.T. と K.K.)。図8でも明らかに、作業を開始すると (SE) 作業のテンポに同期した規則的な前腕周径の増減がみられる。作業開始5秒後に60 mmHgの静脈阻止圧を加えると (VO), 規則的な前腕周径の増減のみみられる状態で前腕周径が増大する (VO-BAO)。その10秒後に上腕動脈を圧迫し (BAO), 動脈血流を阻止すると前腕周径の増大は止まり、上腕動脈を阻止している10秒の間 (BAO-ES), 前腕周径はほぼ一定の水準を示す。

動脈血流を阻止して作業を行わせている期間 (BAO-ES) の前腕周径がほぼ一定の水準を示す原因には、動脈血流が阻止され静脈阻止 Cuff の下から流出する血液がない場合や動脈血流が完全に阻止されずに動脈血流の流入量と静脈阻止Cuffの下から流出する血流量が等しい場合が考えられる。しかし、本実験で動脈血流が阻止されていたことは、動脈血流を阻止して作業を止めた時の前腕周径の増大がほとんどみられないことから推測できる (ES-BAR)。したがって、動脈血流を阻止して作業を行かせた期間 (BAO-ES) の前腕周径がほぼ一定であったことは、作業中に静脈阻止 Cuff の下から流出する血液がなかったことを示しているものと考えられる。

筋収縮中に静脈阻止 Cuff の下から血液を流出させる原因が、筋収縮時の筋内圧にあるとすれば¹⁾、作業中の筋内圧は静脈阻止圧を上廻る必要がある。そこで、これまでの筋内圧の報告をみると、Hill⁸⁾ はカエルの筋(腓腹筋)を電気刺激によって最大収縮させた時の筋内圧が100~300 mmHg, Nilsson & Ingvar²⁴⁾ はヒトの前脛骨筋を電気刺激によって最大収縮させた時の筋内圧が

300 mmHg 近くまで上昇することを報告している。これに対し、ヒトの随意的な筋の最大収縮時の筋内圧に関する報告をみると、かならずしも Hill⁸⁾ や Nilsson & Ingvar²⁴⁾ が示したような高い筋内圧はみられない。すなわち、Wells ら³⁰⁾ は大腿直筋、ヒラメ筋、上腕二頭筋、尺側手根伸筋、橈骨手根伸筋、前脛骨筋の随意的な最大収縮時の筋内圧は、10~118 cm H₂O (7.6~90.7 mmHg), Henderson ら⁷⁾ は、腓腹筋の最大収縮時の筋内圧は、31.2 cm H₂O (24 mmHg) の上昇しかないと報告している。Wells ら³⁰⁾, Henderson ら⁷⁾ の報告は、30%までの負荷での作業では、作業中の筋内圧が静脈阻止圧(本実験では60 mmHg)より高くならない(静脈阻止 Cuff の下から流出する血液のみみられないことから)という結果を支持するものと考えられる。したがって、本実験で得られた律動的作業中の血流量は、“Apparent in-flow”ではなく、実際の動脈血の流入量を示しているものと考えられる。

律動的作業は、静的作業と異って規定されたテンポに合わせて筋の収縮と弛緩を繰り返しながら遂行される。本実験では、1分間に60回のメトロノームのテンポに合わせて作業を行かせたことから、約0.5秒が筋収縮期であり、残りの約0.5秒が筋弛緩期であったものと考えられる。したがって、律動的作業中に静脈阻止 Cuff の下から流出する血液がなかったものと考え、本実験で得られた律動的作業中の血流量は、筋収縮期と筋弛緩期に流入した平均的な動脈血の流入量を示しているものと考えられる。

ところで、本実験で得られた、作業時間の経過にともなう作業中の血流量の変動は、それぞれの負荷で異なる傾向を示した(図4, 5)。すなわち、最大筋力の5%の負荷で得られた律動的作業中の血流量は、3分間の作業中に定常状態になる傾向を示した。また、最大筋力の10%の負荷で得られた律動的作業中の血流量は、作業開始後約1分30秒まで急激な血流量の増大がみられ、その後、作業終了までゆるやかに血流量の増す傾向がみられた。それに対し、最大筋力の20, 30%の負荷を用いた作業では、作業終了まで、血流量が急激に増大してゆく傾向がみられた。

作業中の血流量が定常状態になることは、Lind

& McNicol¹⁸⁾が指摘しているように、筋作業の代謝に、必要な血液量が作業筋に供給されているものと考えられる。したがって、本実験の結果は、最大筋力の10%までの負荷を用いた前腕の律動的作業では、筋作業の代謝に必要な血液量が供給できるが、それ以上の負荷を用いた作業では、筋作業に必要な、血液量が供給できずに作業中の血流量が定常状態にならないことを示している。

作業中に血流量が定常状態になる負荷での作業では、疲労困憊に至らずに作業を長く続けることができると考えられる。また、疲労困憊に至らずに長く作業を続けられる負荷（いわゆる **Critical force**²³⁾）のあることは、各種の筋群の持久力を測定することによって報告されている。そして、いわゆる **Critical force** は、対象とする筋群が異なっても変わらないが²³⁾、作業形態（たとえば律動的作業と静的作業）が異なることによって²³⁾、さらには、作業テンポが異なることによって¹⁰⁾変化することが明らかにされている。しかし、これらの報告のいずれもが、作業のできばえ (**Performance**) から検討されたものであり、**Performance** を決定する要因の一つと考えられる作業中の血流量という観点から検討された報告はみあたらない。

そこで、持久力のいわゆる **Critical force** を作業中の血流量が“作業中に定常状態にならない負荷”といった観点から推定すると、本実験の作業条件では、最大筋力の10~20%の負荷の間にあると考えられる。これは、石河¹¹⁾が上腕の屈曲作業を行わせた場合、最大筋力の1/4以下の負荷だとほとんど無限に作業ができるとしている報告とほぼ一致する。事実、本実験の最大筋力の30%の負荷を用いた作業では、全員が3分間の作業を遂行することができずに疲労困憊に達し、20%の負荷を用いた作業では、1名の被検者が2分で疲労困憊に達した。また疲労困憊に達した被検者の作業中の血流量は、いずれも作業終了まで作業時間の経過にともなって急激な増大がみられた。

律動的作業中の血流量と作業強度の関係は、色素希釈法やキセノンクリアランス法を用いて報告されている。Jorfeldt & Wahren¹²⁾や Wahren²⁰⁾は、色素希釈法を用いて前腕や下肢血流量について報告している。また、キセノンクリアランス法を用いて Grimby ら⁶⁾、Pirnay ら²⁵⁾は自転車エ

ルゴメーター作業中の大腿血流量を測定し、血流量は作業強度の増大とともに増すが、最大作業に近づくにつれて増加の割合が小さくなることを報告している。さらに Tønnesen²⁸⁾は、下腿の律動的作業中の血流量をキセノンクリアランス法を用いて測定し、作業中の血流量は最大作業の約50%で **Leveling off** することを報告している。本実験で得られた、作業中の血流量は、図4, 5, 7にみられるように最大筋力の30%の負荷まで、その増大にともなって増す傾向がみられたが、その増加の割合は、負荷が大きくなるにつれて小さくなる傾向がみられた。本実験で用いた負荷と Grimby ら⁶⁾、Pirnay ら²⁵⁾、Tønnesen²⁸⁾ が用いた負荷が等質とはいえないことから、これらの結果を直接比較することはできないが、律動的作業中の血流量は、最大作業まで作業強度（負荷）の増大に比例して増すとはいえないようである。

Barcroft & Dornhorst²⁾は、下腿の律動的作業中の血流量を筋収縮期、筋弛緩期、律動的作業中に分けて断続的に測定している。それによると、筋収縮期の血流量は、筋弛緩期の血流量よりも低いことを報告している。さらに、作業終了直後の血流量は、作業終了直前の筋弛緩期の血流量とほぼ等しいことを示している。

これまで、静脈阻止プレチスモグラフ法を用いて律動的作業時の血流量を検討した報告は、この報告²⁾を拠りどころとして作業後の血流量の測定から行われてきている⁴⁾⁵⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾²¹⁾²²⁾。しかし、Barcroft & Dornhorst²⁾の報告では、作業に用いた負荷が最大筋力の何%であったのか明らかでない。また、Barcroft ら³⁾、Richrdson²⁶⁾が指摘しているように、前腕と下腿では、血管に対する筋収縮期の機械的な圧迫が異なるということを考えると、前腕の律動的作業中の血流量と作業後血流量との関係については、十分検討されているとはいえない。

Lind & McNicol¹⁹⁾は、最大筋力の30%までの負荷を用いて、前腕の静的作業を行わせた時の作業中と回復期の血流量を静脈阻止プレチスモグラフ法を用いて連続的に測定している。それによると、最大筋力の15%までの負荷を用いた作業で得られた作業終了直後の血流量は、作業終了直前の血流量とほぼ同じであるか、作業中の血流量を上

廻ることのないことを報告している。また、最大筋力の20, 30%の負荷を用いた作業で得られた、作業終了直前の血流量は、作業終了直後の血流量に比べて低い値を示したことを報告している。仮に、静的作業終了直前の血流量が律動的作業中の筋収縮期を、作業終了直後の血流量が筋弛緩期の血流量を示しているものと考え、最大筋力の15%までの負荷を用いた作業では、筋収縮期と筋弛緩期に流入する血流量がほぼ同じであることを示している。それに対し、最大筋力の20%以上の負荷を用いた作業では、筋収縮期の血流量が筋弛緩期の血流量よりも低いことを示している。

したがって、筋収縮期と筋弛緩期の平均的な血流量を示すと考えられる律動的作業中の血流量であっても、最大筋力の15%までの負荷を用いた作業では、作業中の血流量と作業終了直後の血流量がほぼ等しいか、作業終了直後の血流量は作業中の血流量を上廻らないことが推察できる。そこで本実験の最大筋力の5, 10%の負荷を用いた作業で得られた、作業終了直前の血流量と作業終了直後の血流量を比べてみると、両者の値はほぼ同じであった(図6, 7)。これは、たとえ律動的作業であっても、最大筋力の10%以下の負荷を用いた前腕の作業では、筋収縮期と筋弛緩期に流入する血流量がほぼ等しいことを、また、作業終了直前の血流量は作業終了直後の血流量にほぼ等しいことを示しているものと考えられる。

それに対し、最大筋力の20, 30%の負荷を用いた律動的作業終了直前の血流量は、作業終了直後の血流量に比べて低い値を示し、Barcroft & Dornhorst²⁾ が下腿について示した報告と一致した。筋収縮期と筋弛緩期に流入する平均的な血流量を示す律動的作業中の血流量が作業終了直後の血流量に比べて低かった原因は、筋収縮期の血流量が筋弛緩期に流入する血流量に比べて低かったことによるものと考えられる。

Lind & McNicol¹⁹⁾, Richrdson²⁶⁾ の報告や本実験の結果を考え合わせると、Barcroft & Dornhorst²⁾ が下腿の律動的作業について示した、律動的作業中の血流量は、筋弛緩期の血流量よりも低いという考えは、前腕作業では、最大筋力の10~15%以上の負荷を用いた作業について考えられるものといえよう。

V. 要 約

1. 最大筋力の5, 10, 20, 30%の負荷を用いて前腕の律動的作業を行わせた時の作業中と回復期の血流量を静脈阻止プレチスモグラフ法を用いて連続的に測定した。
2. 最大筋力の5%の負荷で得られた律動的作業中の血流量は、3分間の作業中に定常状態になる傾向がみられた。
3. 最大筋力の10%の負荷で得られた作業中の血流量は、作業開始後約1分30秒までは急激に増大し、その後、作業終了までゆるやかな血流量の増す傾向がみられた。
4. 最大筋力の20, 30%の負荷で得られた作業中の血流量は、作業終了まで急激に増大してゆく傾向がみられた。
5. 最大筋力の5, 10%の負荷で得られた作業終了直前の血流量は、作業終了直後の血流量に比べてほぼ同じか、作業終了直後血流量が作業中血流量を上廻ることがなかった。
6. 最大筋力の20, 30%の負荷で得られた作業終了直後の血流量は、作業終了直前に得られた血流量に比べて高い値を示した。
7. 以上の結果から、最大筋力の10%までの負荷を用いた前腕の律動的作業では、作業中に筋作業の代謝に必要な血液量が供給され、疲労することなく作業が長く続けられると考えた。

(受付 昭和57年8月7日)

文 献

- 1) Barcroft, H. and A.C. Dornhorst (1949) : Demonstration of the "muscle pump" in the human leg. J. Physiol. 108, 39.
- 2) Barcroft, H. and A.C. Dornhorst (1949) : The blood flow through the human calf during rhythmic exercise. J. Physiol. 109, 402-411.
- 3) Barcroft, H., B. Greenwood and R.F. Whelan (1963) : Blood flow and venous oxygen saturation during sustained contraction of the forearm muscles. J. Physiol. 168, 848-856.
- 4) Black, J.F. (1959) : Blood flow requirements of the human calf after walking and run-

- ing. Clin. Sci. 18, 89-93.
- 5) Elsner, R.W. and L.D. Carlson (1962) : Postexercise hyperemia in trained and untrained subjects. J. Appl. Physiol. 17, 436-440.
 - 6) Grimby, G., H. Ggandal and B. Saltin (1967) : Local xenon 133 clearance from the quadriceps muscle during exercise in man. J. Appl. Physiol. 22, 305-310.
 - 7) Henderson, Y., A. W. Oughterson, L. A. Greenberg and C.P. Searle (1935) : Muscle tonus, intramuscular pressure and the venopressor mechanism. Am. J. Physiol. 144, 261-268.
 - 8) Hill, A.V. (1948) : The pressure developed in muscle during contraction. J. Physiol. 107, 518-526.
 - 9) Humpherys, P.W. and A.R. Lind (1963) : The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during hand-grip contraction. J. Physiol. 166, 120-135.
 - 10) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子 (1965) : 血流量から見た筋持久力 (II). 体育の科学, 15, 281-287.
 - 11) 石河利寛 (1961) : 筋力と筋持久力のトレーニング. 体育の科学, 11, 433-436.
 - 12) Jorfeldt, L. and J. Wahren (1971) : Leg blood flow during exercise in man. Clin. Sci. 41, 459-473.
 - 13) 北村潔和, 松井秀治 (1976) : 鍛練者と非鍛練者の作業後下腿血流量. 体育学研究, 21, 87-93.
 - 14) 北村潔和 (1980) : 各種強度の自転車エルゴメーター作業中の大腿容積変化と作業終了直後の大腿血流量. 体力科学, 30, 240-245.
 - 15) 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, 14, 87-94.
 - 16) Kontos, H.A., P.W. Richardson and J.L. Patterson, J. R. (1966) : Blood flow and metabolism of forearm muscle in man at rest and during sustained contraction. Am. J. Physiol. 211, 869-876.
 - 17) Lind, A.R., S.H. Taylor, P.W. Humpherys, B.M. Kennelly and K.W. Donald (1964) : The circulatory effects of sustained voluntary muscle contraction. Clin. Sci. 27, 229-244.
 - 18) Lind, A.R. and G.W. McNicol (1967) : Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. J. Physiol. 192, 595-607.
 - 19) Lind, A.R. and G.W. McNicol (1967) : Local and central circulatory responses to sustained contractions and the effect of free or restricted arterial inflow on post-exercise hyperaemia. J. Physiol. 192, 575-598.
 - 20) Lind, A.R., R. Burse, R.H. Rochelle, J.S. Rinehart and J.S. Petrofsky (1978) : Influence of posture on isometric fatigue. J. Appl. Physiol. 45, 270-274.
 - 21) 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.
 - 22) 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.
 - 23) Monod, H. and J. Scherrer (1965) : The work capacity of a synergic muscular group. Ergonomics. 8, 329-338.
 - 24) Nilsson, B. and D.H. Ingvar (1967) : Intramuscular pressure and contractile strength related to muscle blood flow in man. Scand. J. Clin. Lab. Invest. Suppl. 93, 31-38.
 - 25) Pirnay, F., R. Marechal, R. Radermecker and J.M. Petit (1972) : Muscle blood flow during submaximum and maximum exercise on a bicycle ergometer. J. Appl. Physiol. 32, 210-212.
 - 26) Richardson, D. (1981) : Blood flow response of human calf muscles to static contractions at various percentages of MVC. J. Appl. Physiol. 51, 929-933.
 - 27) Rohter, F.O., R.H. Rochelle and C. Hyman (1963) : Exercise blood flow changes in the human forearm during physical training.

- J. Appl. Physiol. **18**, 789-793.
- 28) Tønnesen, K.H. (1964) : Blood flow through muscle during rhythmic contraction measured by ¹³³ xenon. Scand. J. Clin. Lab. Invest. **16**, 646-654.
- 29) Wahren, J. (1966) : Quantitative aspects of blood flow and oxygen uptake in the human forearm during rhythmic exercise. Acta Physiol. Scand. **69**, (Suppl. 269), 1-93.
- 30) Wells, H.S., J.B. Youmans and D.G. Miller (1938) : Tissue pressure (intracutaneous, subcutaneous, and intramuscular) as related to venous pressure, capillary filtration, and other factors. J. Clin. Invest. **17**, 489-499.
- 31) Whitney, R.J. (1953) : The measurement of volume changes in human limbs. J. Physiol. **121**, 1-27.