

## Vibration hyperemia の微小循環特性について

竹 宮 隆\*・佐 藤 陽 治\*\*

### Microcirculatory analysis and consideration of vibration hyperemia in rabbit hindlimbs

Takashi TAKEMIYA\*, Yohji SATO\*\*

To obtain the characteristics of muscle blood flow and of capillary circulation during vibration of various intensities, venous out flow from the muscle by drop count method, total plasma protein concentration and hematocrit were measured in the in vivo preparation of rabbit hindlimbs. The results obtained were as follows:

- (1) Vibration hyperemia consisted of initial high increase of blood flow, plateau blood flow and rapid returning blood flow. The resting blood flow (ml/min/100g) ranged from  $9.6 \pm 2.3$  to  $10.4 \pm 2.1$ . Initial max. blood flow and plateau blood flow in 50Hz vibration were  $16.7 \pm 4.8$  and  $12.8 \pm 3.7$ , respectively. A significant increase was observed in initial max. blood flow by 10Hz ( $P < 0.05$ ) and 30~50Hz vibration ( $p < 0.01$ ). Percent increase of initial max. blood flow reached 132% at 10Hz and 165% at 50Hz vibration as compared with the resting. Postvibration hyperemia was not observed.
- (2) Hematocrit and total plasma protein concentration showed no changes during vibration of various intensities. No hemoconcentration was occurred.
- (3) Exercise hyperemia produced by sciatic nerve stimulation at 20Hz showed 220% increase of control, and postexercise hyperemia was observed markedly. Obvious increase of hematocrit from 43% in the resting to 46% in final stage of exercise was obtained in 20Hz exercise, indicating hemoconcentration.

It is concluded that vibration hyperemia may be mainly derived from the arteriolar vasodilation and its mechanical pumping action, with less expansion and participation of capillary bed.

#### はじめに

末梢筋血流は心臓を中心とした大循環系の機能亢進がなくても局所の筋運動の強度に比例して増大することが知られており、これは筋末梢血管網の拡張に伴う血管抵抗の減少によるものとされている<sup>2,5,9)</sup>。すなわち、血管網と共存する筋線維群の収縮・弛緩作用は血流促進の筋ポンプとして作動する<sup>1,3,4,7,8,13,14,16)</sup>。筋微小循環網への細動脈入力側は高圧系であり、流出側の細静脈は低圧系である。この入出力の差圧は生体内の自然定圧循環系

の下ではつねにプラスであり、一種の機能弁と考えられる。

本論では局所的な筋振動(Vibration)による筋血流量の変動を筋ポンプの立場から観察すると共に、Exercise hyperemiaと比較することにより、その血流特性を検討しようとするねらいを持っている。同時にVibration中のHematocrit(以下Hctと略称する)及びTotal plasma protein concentration(以下Proteinと略称する)の測定より血液濃縮の存在の有無を確認すると共に、fast flow channelとslow flow channelの関与について考察をくわえるつもりである。

\* 筑波大学体育科学系

\*\* 学習院大学体育科

## 実験方法

### 1. 実験動物及び実験標本

実験には2.0~3.4kgの成熟ウサギ12匹を雌雄の区別なく用いた。体重1kg当り1gのウレタン(25%溶液)を腹腔内に注射のあと背位に固定し、気管カニューレの挿入後、実験目的に従って外科処置を実施した。すなわち、右測定下肢の大腿動静脈の露出及び下肢皮膚の腓腹筋側の正中切開を行い、下端部の結紮を行った。同じく、右の坐骨神経露出と切断、左の大腿動静脈の露出を行った。体重1kg当り400単位のヘパリンを耳朶静脈より注入のあと、各露出血管に外径1.1mmのビニールチューブを挿入した。すなわち、右大腿静脈へは流出用のチューブを挿入し、他端には光電式滴数計が接続された。左大腿動脈の中枢端へは血压測定用のチューブを挿入し、その他端には圧トランスジューサーが接続された。左大腿静脈の中枢側へはリザーバーからロータリーポンプを介したチューブが挿入され、血液の還流がはかられた。下肢標本の高さは常時心臓レベルに維持された。

### 2. Vibration刺激及び運動刺激

腓腹筋を主とした下腿筋のVibration刺激は動力式のピストン運動型のVibrationで筋腹を下側からT型バーを介して与えられ、その振幅は1.0~8.0mmであった。ピストン運動の頻度は数Hz~100Hz内の範囲で調節された。下肢の固定は膝関節を中心に固定器具で行った。T型バーの先端は筋組織を損傷しないようにゴム素材で加工した。刺激中は皮膚に触れたり、その循環を高めないように配慮し、皮膚の足関節は結紮した。下肢Vibrationによる反対側肢及び全身への振動伝播はほとんどなく、大循環への影響もなかった(血压、心拍数安定)。

下腿筋の運動刺激は坐骨神経の断端末梢部を電気刺激することで行った。刺激条件はDC6V, 1msec, 1~50Hzの矩形波であった。運動中の下肢の固定は前記と同じであった。

### 3. 血压・血流・呼吸のポリグラフ記録

右下肢の測定肢に通ずる全身の血压はウレタン麻酔により定常に管理されることを基本条件とした。実験中の血压はブラウン管で監視し、同時にcalibrationと共にポリグラフで記録した。毎分の筋血流量は滴数計測法に従った。具体的にはあらかじめビニールチューブから滴下する1滴量(ml)を

メスシリンダーの量(ml)から計算しておき、更にphotocellの通過滴数を分時積算計に導入し、その量が下肢筋100g重量当りになるよう換算して、ml/min/100gの単位とした。分時積算計の出力はポリグラフで記録した。呼吸の頻度及び深さはサーミスタ型のピックアップを気管カニューレの先端に装置し、ポリグラフに導入した。実験中の室温は24~25℃であった。

### 4. Hct, Protein及び血液ガスの測定

対照時、Vibration刺激中、運動刺激中及びそれらの回復期に数回の静脈血液を滴数計にて計測後に採取し、直ちに分析した。

Hctは毛細管Hct法により、又Proteinは屈折法により行った。比較研究の意味で実施した誘発筋運動の際の血液ガスはILメーターで分析し、血中乳酸はラックタット(ベーリンガー社)を用いた酵素法で測定した。先行研究により入力側の動脈血組成は局所筋の短時間運動で変動しないことが知られている。

### 5. データの処理

Vibration中の血流変動は、刺激前値を100%とした時の相対値で表わし、Vibration開始直後の血流量、続くプラトー血流量、Vibration終了直後の血流量、回復期血流量の諸点について変化量(%)をグラフ化し、同時に対照との間の有意差検定(T検定)を行った。Hct及びProteinについても対照を100%とした相対変化量を求め、対照との間の有意差T検定も実施した。

## 実験成績

### 1. Vibration hyperemia

Fig.1は下肢腓腹筋の外側に50Hzの機械的Vibrationを2分間与えた際の血流増大(Vibration hyperemia)の記録例である。局所のVibration刺激は全身血压や呼吸の振幅・頻度に殆ど影響を及ぼさなかった。Vibration hyperemiaの特色は刺激の開始直後の急激な血流増大(Max. B. F.)とその後やや減少して定常レベル(Plateau B. F.)を維持することであった。そして、Vibration刺激の中止後は急速な血流低下をしめし、ほとんどが対照のレベルに復帰した。Table 1はこのような傾向をVibrationの刺激頻度を変えることにより多数の試行例をまとめることで確認したものである。対

照の血流量(ml/min/100g)は平均 $9.6 \pm 2.3$  から $10.4 \pm 2.1$ であった。10HzのMax. B. F.,  $13.7 \pm 3.9$ と30~50HzのMax. B. F.  $16.7 \pm 4.8$ は対照に対してそれぞれ $p < 0.05$ 及び $p < 0.01$ で有意な血流増大を示した。Max. B. F. の対照に対する増大率は10Hzで132%, 50Hzで165%であった。Vibration刺激中のPlat. B. F. ではどの刺激においても有意な増大は得られなかった。すなわち, Plat. B. F. の増加率は同じく対照に対して10Hzで112%, 50Hzで127%であった。刺激中止後のAfter B. F. は対照とは有意な差がなく, ほとんど同じレベルに復帰していることがわかった。

Fig.1の血流曲線に平行した下向きの矢印は血液の経時的な採取を示す。その血液よりHct, Proteinを分析した結果はTable 2の通りであった。その1分間のVibration刺激中には血液の採取が2回, 回復期では1分毎に行なわれた。Vibration刺激中のHctやProteinはどの刺激強度においても共に有意な変化を示さず, 刺激中止後の回復過程においても変化はみられなかった。

## 2. Exercise hyperemia

ウサギ後肢筋によるExercise hyperemiaについてはすでに多数の先行研究があるので, 本論文で

はVibration実験例とほぼ同じ体重, Hctの例について, 各種パラメータの組合せによる総合的な分析を追加して比較対象のデータとした。坐骨神経刺激による誘発筋運動の強度はVibration実験の1例と同じ20Hzを選んだ。また, 筋運動の時間もVibration刺激と同じように1分間とした。1例をFig. 2に示した。運動中の血流は初期の急激な増大に続く緩徐な増大(176%), そして運動中止後も30秒間は増大した(max.200%増)。回復期では徐々に減少し, 5~6分で対照に復帰した。すなわち, 筋運動ではPostexercise hyperemiaがはっきり記録された。血流は血圧の変動により左右される為に, 十分な全身管理のもとに局所の血流を測定しているが, Fig. 2の血流曲線の右端の突起状血流増大はウサギのものがきによる血圧増大に起因した変化であった。Hctは限局された筋運動であっても運動のかなり早い段階から増大し, 運動の中止後は徐々に対照に復帰した。本例では対照のHct43から最大値の46にいたる増加率は約107%であった。運動後のHctは数分で対照に復帰した。運動強度の指標になる流出静脈血の $P_{O_2}$ 減少は58.4mmHgから32.1に達し, 回復期2~3分で1度53.6になり, 再び46.5というように増減の波動現象をしめした。 $P_{CO_2}$ は33.4mmHgから運動終了時の56.4をピークにその後漸減し

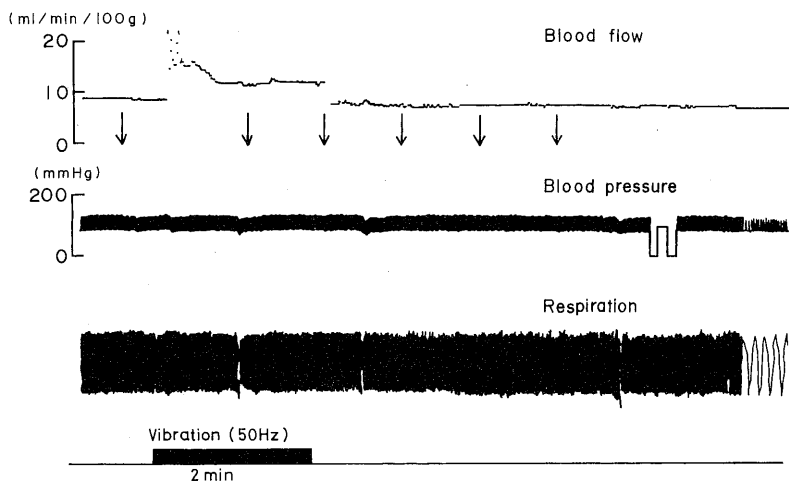


Fig. 1 Vibration hyperemia. Picture shows a typical pattern of vibration hyperemia in lower limb muscles of rabbit produced by 20Hz vibration. From top to bottom: venous out flow from the muscle per min measured by drop count method, blood sampling arrows, systemic blood pressure, respiratory rhythm and vibration marker. Vibration hyperemia was composed of the initial max. blood flow, plateau blood flow and rapid returning blood flow.

た。pHも7.45から運動中の7.29を最低に数分後には7.41に復帰した。血中乳酸値(mg/dl)は対照の21.2から運動終了時の67.9をピークに減少し、最後は22.2とほぼ対照値に復帰した。

**考 察**

生体内の筋組織を外側から機械的に振動することにより筋からの流出静脈血流が増大する現象をVibration hyperemiaと称することができる。この現象は日常の健康生活における肩の叩打やマッサージの基礎理論に通ずるものであり、その機構には関心のあるところである。今回は直接的研究法

として筋負荷と血流の対応が明確になる実験計画を設定し、とりあえず種々のVibration強度による血流増大のパターン特性を知ろうとした。そして、10Hzから50Hzまでの刺激頻度で血流応答をしらべたところ、Vibrationの初期最大血流が対照の165%と有意な増大をしめたが、続くプラトー血流は127%で有意でなく、しかも最も顕著な性質はVibration終了後の血流が急激に対照値に復帰することであった。もちろん、Vibration中のHctやProteinは変化せず、従って血液濃縮の惹起もなかったと思われる。Vibration hyperemiaのパターンと血中組成の不変はExercise hyperemiaのそれと

Table 1. Vibration hyperemia versus vibration intensities.

	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz	50Hz
Control	10.4+2.1 (15)	10.3+2.7 (13)	9.6+2.3 (12)	9.6+2.6 (10)	10.1+2.5 (12)
Max. B.F	13.7+3.9* (15)	13.7+4.0 (13)	14.5+3.0** (12)	16.1+3.8** (10)	16.7+4.8** (12)
Plat. B.F	11.6+2.8 (15)	11.3+2.8 (13)	11.0+2.5 (12)	12.0+1.6 (10)	12.8+3.7 (12)
After B.F	10.5+2.2 (15)	10.9+2.9 (13)	9.9+2.5 (12)	10.6+2.5 (10)	11.8+3.4 (12)

ml/min/100g  
Mean±S.D.  
(n)

\* P<0.05  
\*\* P<0.01

Table 2. Hematocrit and total plasma protein concentration before, during and after vibration.

	Control	During Vibration		After Vibration		
		30"	60"	1'	2'	3'
Hematocrit (3)						
10Hz	42.9+2.4 (3)	43.3+1.8 (3)	43.1+1.7 (3)	43.5+2.1 (3)	43.0+1.6 (3)	43.1+1.9 (3)
20Hz	43.4+1.9 (3)	43.7+1.3 (3)	43.6+1.9 (3)	43.8+2.2 (3)	43.7+1.9 (3)	43.7+2.5 (3)
30Hz	42.8+1.9 (5)	42.8+1.9 (5)	42.6+1.9 (5)	43.2+2.2 (5)	42.9+2.0 (5)	43.4+1.8 (5)
40Hz	42.7+2.3 (5)	42.1+2.1 (5)	42.5+2.1 (5)	42.4+2.5 (5)	42.8+1.9 (5)	42.7+1.9 (5)
50Hz	41.3+2.0 (8)	41.1+1.7 (8)	41.4+1.7 (8)	41.6+2.3 (8)	41.4+1.9 (8)	41.5+2.1 (8)
Total Plasma Protein (g/dl)						
10Hz	5.6+0.5 (3)	5.7+0.2 (3)	5.7+0.5 (3)	5.8+0.5 (3)	5.6+0.6 (3)	5.6+0.5 (3)
20Hz	5.7+0.3 (3)	5.7+0.4 (3)	5.7+0.3 (3)	5.6+0.4 (3)	5.7+0.3 (3)	5.7+0.2 (3)
30Hz	5.5+0.3 (5)	5.7+0.3 (5)	5.6+0.3 (5)	5.7+0.4 (5)	5.6+0.3 (5)	5.6+0.3 (5)
40Hz	5.7+0.3 (5)	5.6+0.3 (5)	5.6+0.2 (5)	5.8+0.3 (5)	5.7+0.4 (5)	5.7+0.3 (5)
50Hz	5.4+0.5 (8)	5.3+0.4 (8)	5.4+0.5 (8)	5.4+0.5 (8)	5.4+0.4 (8)	5.4+0.4 (8)

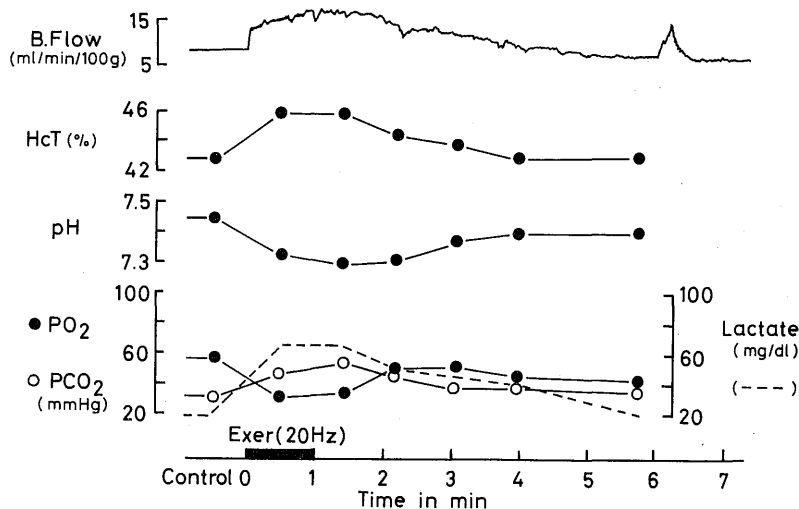


Fig. 2 Exercise hyperemia. Graph represents a typical pattern of exercise hyperemia in lower limb muscles of rabbit produced by 20Hz stimulation. From top to bottom: continuous recording of venous out flow from the muscle per min with spontaneous increase in the right side, hematocrit, pH, PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub> and lactate. Exercise hyperemia was accompanied with the presence of long lasting increase of blood flow, e.s., postexercise hyperemia.

はなはだ相違するものである。すなわち、運動負荷では血流増大の絶対値が大きいきばかりでなく、Postexercise hyperemiaが顕著に持続し、この運動中及び運動後の血流増大に呼応するかのようHct及びProteinが増大し、血液濃縮も惹起されていることが考えられるのである。

このようなVibration hyperemiaの事実についてはすでにHudlicka and Wrightの見解があり<sup>7)</sup>, 22~62Hzの刺激についてほぼ類似の血流パターンを報告している。そしてさらに筋運動によるExercise hyperemiaに重量させたVibration hyperemiaを記録し、両者の特性分析に役立てようとしている。一方、本論文で述べるようにVibration中のhemoconcentrationを観察するかたちでcapillary血流路に立入った研究は少ない<sup>18)</sup>。それ故、Vibration hyperemiaとExercise hyperemiaのパターン特性の相違については微小循環の構造すなわち、細動脈(Arteriole)の役割や二相血流路の交互性などより比較研究することが必要のように考えるものである<sup>11,19,20)</sup>。

すでにZweifach<sup>21)</sup>やNicoll & Webb<sup>12)</sup>が微小循環網について詳細な報告を行っている通り、筋組織の血管網では優先血行路と栄養血行路の二相性は知られるところである。これは又別にfast flow channel及びslow flow channelとも呼称され、内

容はArteriole-Thoroughfare vessel-Venule系とArteriole or Thoroughfare vessel-Capillary-Venule系となる。後者はcapillaryの部分で水分・ガス・栄養物質の交換など生活機能を達成し、前者は筋局所外の生体緊急・血圧上昇・高体温等の要請に関係するともいわれている<sup>5)</sup>。このような図式のなかでVibration hyperemiaを考へてみると、Hudlická<sup>7)</sup>も指摘するようにどちらの血行路にしても最初の細動脈に対するVibrationの影響は大きいものと思われる。この考へはさらにLjung<sup>9,10)</sup>らの基礎研究に負うところが大きく、それは細動脈平滑筋の筋線條を摘出循環装置のなかで懸垂させ、両端に筋張力トランスジューサーとVibration発生器をそれぞれ装着して等尺性の張力発生を起こし、その際中にVibrationを与えて張力の急激な低下を観察したのである。これは生体内の血圧維持下で血管外側からVibrationを与える条件に近似しており、細動脈の血管拡張による急激な血流増大とVibration中止直後からの急激な血流減少の事実を説明できるわけである。一方、このVibration hyperemiaはほとんどHctやProteinの変動すなわちhemoconcentrationを伴わないことからCapillaryを介する水分移動のない、すなわち、Capillary channelを大きく経ることがないのでなかろうかと考えるものである。これとは対

照的に運動中の血流増大時にはHctやProteinは顕著に増加し<sup>5,17,18,19)</sup>、運動中止後のPostexercise hyperemia<sup>5,15)</sup>の大きいことに加えて血流が対照値に復帰するまでHctやProteinが平行した態度をとるのである<sup>18,19)</sup>。すなわち、末梢筋組織の運動による攪乱が安定して調和をえるまで水分移動、栄養物質の交換、ガス交換などに見合った血流量の供給が続くわけであり、組成の変動やその回復となって現われるのである。本論では、Vibration hyperemiaとExercise hyperemiaをそれぞれどちらかのchannelに固定的に決めつけようとするものでない。恐らくVibrationによる酸素消費の伴わない血流増大については主として細動脈の拡張とThoroughfare channelの介在が考えられ、運動性の血流増大については細動脈の拡張に続いてCapillary channelが中心になるものと思われる。ただ、この両者の主体性に時々変化がみられ、これが局所性の血流量を変化させ、血流の不均一性を生んだり両channelの交互性と思われる現象、すなわちPo<sub>2</sub>濃度の周期的な変動を生むものと推測する<sup>19,20)</sup>。

究極には本実験の成果は人間の運動の際にみられる心臓に次ぐ第2の大きな循環ポンプである筋ポンプのはたらきに集約されるものである。そして、全身の筋繊維の収縮とその弛緩の反復性は一種のVibrationでモデル化した現象と同じように、血液還流のポンプとして作用するばかりでなく、中枢の緊急性や末梢の代謝事情に応じた血流の再配分に役立っているものと考ええる。

## 結 語

Vibration hyperemiaの特性を検討することが本研究の目的であった。筋循環に対し外側から与える機械的振動はウサギ後肢の腓腹筋を対象に行った。後肢の血流は筋組織からの流出静脈血を光電式の滴数計で測定する方法で行った。血液組成は主としてHematocrit(Hct)とTotal plasma protein concentration (Protein)を分析した。結果は次の通りである。

1). Vibration hyperemiaの特色はほぼ刺激強度に関係なく初期増大(Max. B. F.)、その後のプラトー(Plat. B. F.)、終了後の急速復帰(After B.F.)がそれぞれみられたことであった。Max. B. F.(ml/min /100g)は刺激頻度の増加で20Hz以外は有意に増大し、対照の $10.4 \pm 2.1$  に対して、10Hzの $13.7 \pm$

$3.9(132\% \text{増})$ から50Hzの $16.7 \pm 4.8(165\% \text{増})$ を得た。Plat. B. F. では同じく対照に対して10Hzで112%、50Hzで127%増であったが有意差はなかった。After B. F. はほぼ対照と同じ値を示し、Postvibration hyperemiaはみられなかった。

2). Hct及びProteinはVibration hyperemia中ほとんど増減をしめさなかった。

3). Exercise hyperemiaの最大値はcontrolの200%増に達し、Postexercise hyperemiaも顕著であった。運動中のHctは20Hz刺激で対照の43%から46%に増加した。

以上の結果より、筋のVibration hyperemiaは細動脈の拡張を主とした筋ポンプ作用により惹きされるように思われ、毛細血管床の拡大は顕著でないことが考えられる。

## 文 献

- 1) Barcroft, H. and A.C. Dornhorst.: Demonstration of the "muscle pump" in the human leg. *J. physiol.* 108, 39, 1949.
- 2) Barcroft, H.: Circulation in skeletal muscle. In *Handbook of Physiology II. Sect.2: 1253-1385, 1963.*
- 3) Folkow, B., P. Gaskell and B. A. Waaler.: Blood flow through limb muscles during heavy rhythmic exercise. *Acta physiol. scand.* 80, 61-72. 1970
- 4) Folkow, B., U. Haglung, M. Jodal and O. Lundgren.: Blood flow in the calf muscle of man during heavy rhythmic exercise. *Acta physiol. scand.* 81, 157-163, 1971
- 5) Haddy, F. J., Scott, J.B. and Grega, J.B.: Peripheral circulation: Fluid transfer across the microvascular membrane. *Cardiovascular Physiology II, 9*, edited by A. C. Guyton and A. W. Cowley, Univ. Park Press, Baltimore; 6-109, 1976.
- 6) Hudlická, O.: Muscle blood flow-its relation to muscle metabolism and function. Swets and Zeitlinger B. V., Amsterdam, 1973.
- 7) Hudlická, O. and A. Wright.: The effect of vibration on blood flow in skeletal muscle in the rabbit. *Clinical Science and Molecular Medicine.* 55, 471-476. 1978.
- 8) Liedtke, A. James, and Phillip G. Schmid.: Effect of vibration on total vascular resistance

- in the forelimb of the dog.  
*J. Appl. Physiol.* 26(1), 95-100. 1969.
- 9) Ljung, B. and R. Sivertsson.: Vibration induced inhibition of vascular smooth muscle contraction.  
*Blood Vessels*.12, 38-52, 1975.
  - 10) Ljung, B., M. Hallback, R. Sivertsson and B. Folkow.: Oxygen consumption and contractile force during vibrations of cat soleus muscle.  
*Acta physiol. scand.*100, 347-353, 1977.
  - 11) 長嶋長節：毛細血管の透過性と局在性血管反応。  
*日本生理誌*, 32(8), 502-520, 1970.
  - 12) Nicoll, P. A., and Webb. R. L.: Vascular patterns and active vasomotion as determiners of flow through minute vessels.  
*Angiology* 6, 291-308, 1955.
  - 13) Nielsen, H. V.: Effect of vein pump activation upon muscle blood flow and venous pressure in the human leg.  
*Acta physiol.scand.* 114, 481-485, 1982.
  - 14) Noddeland, H., Nicolaysen. G. and Aukland. K.: Rhythmic variations of venous pressure in the human foot.  
*Acta physiol. scand.* 113, 125-127 1981.
  - 15) Owen, T. L., I., C. Ehrhart, J. B. Scoot and F. J. Haddy.: A comparison of recovery times from exercise and ischemic dilations at constant pressure and flow (38953).*Proceedings of the society for biology and medicine.* 149, 1040-1043, 1975.
  - 16) Pollack, A. A and E. H.Wood.: Venous pressure in the saphenous vein at the ankle in man during exercise and changes in posture, *J. Appl. Physiol.*1, 649-662, 1949.
  - 17) Poortmans, J. R.: Influence of physical exercise on protein in biological fluids.  
*In Biochemistry of Exercise, Medicine and Sport 3*, edited by J. R. Poortmans, Basel/ New York, Karger, 312-327, 1969.
  - 18) 竹宮隆, 樋口雄三, 長嶋長節：  
 実験的Exercise Hyperemiaの経時変化及びHematocritの増加現象について・*体力科学*, 22(3), 85-93, 1973.
  - 19) Takemiya, T., Higuchi, Y., and Nagashima, ch.: Influence of short, prolonged and ischemic exercise on local blood flow, hematocrit, plasma protein concentration and osmolality of rabbit hindlimbs .  
*Health & Sport Sci., Univ. of Tsukuba* 4, 139-151.1981.
  - 20) Takemiya, T., Higuchi, Y., Maeda, J.: Two patterns of blood flow increase during muscle pump action produced by FM-Stimulation.  
*Health & Sport Sci., Univ. of Tsukuba* 6, 233-244. 1983 .
  - 21) Zweifach, B.W.: Basic mechanisms in peripheral vascular homeostasis. From "Factors regulating blood pressure" eds.: Zweifach, B. W. and Shour, E. *Transaction of the third conference.*: 13-52. 1949.