体軸の傾斜に伴う前腕の持久的 作業能の変化

藤 田 公 和 (中京大学体育学部運動生理学研究室)

山 本 高 司 (中京大学体育学部運動生理学研究室)

藤 松 博 (中京大学体育学部運動生理学研究室)

朝 比 奈 一 男 (中京大学体育学部運動生理学研究室)

(昭和55年10月6日 受付)

Effects of Body Tilting on Forearm Muscular Work Capacity

Kimikazu Fujita¹

Takashi Yamamoto¹

Hiroshi Fujimatsu¹

Kazuo Asahina¹

Abstract

The purpose of the present study is to observe the effects of body tilting on circulatory responses and forearm muscular endurance. Thirty-four subjects participated in the study. Body positions used in this study were three kinds: horizontal-supine, head-down and head-up positions. Each subject performed hand grip exercise in three different body positions. Forearm and lower leg blood flow was measured by using mercury-in-rubber strain-gauge method. Blood samples were obtained from cubital vein and brachial artery in selected ten subjects. The results were summarized as follows:

1. The significant difference in forearm resting blood flow was observed among three body positions ($p < 0.05$).
2. In the case of work load of 1/3 of maximal grip strength, significant difference in performance was not observed among three body positions, but in 1/6 of max. strength, significant difference was observed between head-up and other two body positions.
3. As to the forearm peak blood flow, difference between head-up and other two body positions was statistically significant ($p < 0.05$).
4. Blood lactate and arterial-venous oxygen difference immediately after exercise (work load of 1/3 max. strength) showed the highest value in head-up position compared with other

¹ Laboratory for Exercise Physiology and Biomechanics, School of Physical Education, Chukyo University, Kaizu-cho, Toyota, Aichi (470-03)

body positions.

5. Circulatory responses accompanying body tilting seem to have influence on muscular work capacity. The longer the work time is, the more remarkable the influence seems to be.

(Kimikazu Fujita, Takashi Yamamoto, Hiroshi Fujimatsu, and Kazuo Asahina, "Effects of body tilting on forearm muscular work capacity," *Jap. J. Phys. Educ.*, 26—1 : 57—64, June, 1981)

緒 言

重力は、ヒトが立位姿勢を維持している時にはその体軸方向に作用し、仰臥位の場合には体軸と直角の方向に作用している。これら体軸と重力の作用方向との相互関係が循環系の機能に影響をおよぼすことは、tilt table を用いた従来の実験^{1), 3), 4), 7), 9), 10)}によっても知られている。これらの体軸傾斜に伴う循環系の生理的反応は、持久的作業能にも影響をおよぼすことが考えられ、その研究は、重力を利用したトレーニング法の開発にもつながる。しかし、体軸傾斜に伴う作業能の変化に関する実験的検証は極めて少ない⁵⁾。そこで本研究では、tilt table を用いて、身体各部の相対的位置関係を変えずに体軸を傾斜させた時の前腕の持久的作業能および循環応答（血流量、血液性状）を観察し、重力生理学の立場から考察を加えた。

方 法

A 被 検 者

被検者は、年齢 20.5 ± 2.9 歳（平均値±標準偏

Fig. 1 Photographic illustration of the experimental conditions.

差、以下同様）の健康な男子体育学部学生および教官であり、延べ34名であった。被検者の身体特性は、身長 170.8 ± 4.9 cm、体重 60.8 ± 7.1 kg であり、運動クラブには所属していなかった。

B 体軸の傾斜

安静および作業時の姿勢を設定するために、特別に作製した四肢作業用可傾ベッドを用いた。この装置は±70度の傾斜範囲を有し、上肢を横に水平にのばした状態で手の掌握作業が可能になっている（Fig. 1）。本実験で用いた姿勢は Fig. 2 に示してある。左側から horizontal-supine position（S 姿勢と略記、以下同様）、水平から体幹を40度後方に倒した姿勢 head-down position（D 姿勢）、および水平から前方へ40度起こした姿勢 head-up position（U 姿勢）の3種類であった。また、これに加えて、体肢の周径囲と血流量の変化を測定するため、後方へ20度倒した姿勢、前方へ20度および60度起こした姿勢もとらせた。D 姿勢では、被検者は腰に巻いたベルトと両肩にあてた支持台によって姿勢を保持した。U 姿勢では、被検者はベッド上に取りつけてあるサドルに腰をおろし、できる限り下肢に体重がかからないようにして姿勢を維持した。

C 血流量の測定

安静時および作業終了後の血流量の測定には、Whitney¹⁴⁾ の水銀封入ラバーストレインゲージ

Fig. 2 Schematic illustration of three different types of body tilting adopted in the experiment.

による venous occlusion 法を用いた。右側の手首と足首, 上腕と大腿にそれぞれ血圧測定用のカフ (cuff) を巻き, それぞれのカフに自動的に空気を注入し加圧できるようにした。手首と足首のカフには 220 mmHg の空気圧を, 上腕と大腿のカフには各姿勢で測定した拡張期血圧に等しい圧力をそれぞれ加えた。

作業後の血流量は作業終了後15秒, 40秒, 1分目に測定し, 1分以後は1分毎に15分目まで測定した。

D 血液性状の分析

作業前後の血中乳酸 (LA) を測定するため, 安静時と作業終了後30秒, 3分, 5分, 10分目にそれぞれ右腕の肘静脈から血液を採取した。乳酸は酵素法で分析した。同様に血液ガス濃度 (O_2 および CO_2) を測定するため, 作業前後に右側の上腕動脈および肘静脈から採血した。血液ガスの分析にはナテルソン (Natelson) 微量血液中ガス分析装置を用いた。

E 実験手順

各被検者は, それぞれの姿勢で10分間の安静後前腕屈筋群による最大掌握作業を行なった。作業負荷は各被検者の最大握力の $\frac{1}{3}$ および $\frac{1}{6}$ に相当する重量とし, 1分間に60回の頻度で錘を 22mm 持ち上げる作業を疲労困憊まで行なった。疲労困憊の判定規準は被検者が規定の距離まで錘を持ち上げることができなくなった時か, 規定の収縮頻度が維持できなくなった時とした。実験日は1日1姿勢の作業とし, 次の測定まで4~5日間の間隔を置いた。室温は実験期間中 $22^{\circ}C \sim 25^{\circ}C$ であった。

結 果

A 安静時の血流量, 血圧および体肢の周径囲

Fig. 3 は U, S および D の各姿勢を10分間維持した時のそれぞれの前腕 (右側) 血流量の値を示したものである。U姿勢では $2.12 \pm 0.68 \text{ ml/100 ml/min}$, S姿勢では $3.61 \pm 0.70 \text{ ml/100 ml/min}$, D姿勢では $4.79 \pm 1.09 \text{ ml/100 ml/min}$ であった。t 検定の結果, U姿勢とS姿勢との間には1%の危険率で, S姿勢とD姿勢では5%の危険率で有意差がみられた。

Fig. 3 Changes in resting forearm blood flow accompanying body tilting. The symbols 'U', 'S' and 'D' mean head-up, horizontal-supine and head-down positions, respectively. The same rule for the symbols applies correspondingly to the following. Values are means and standard deviations ($n=10$).

Fig. 4 Changes in the circumferences of upper and lower limbs induced by body tilting. The ordinate indicates the rate (%) of increase in the circumference as compared with horizontal-supine position. Values are means ($n=3$).

最高/最低血圧は, U姿勢で $108.7 \pm 8.0/65.1 \pm 8.9 \text{ mmHg}$ (10名の平均値 $\pm$ 標準偏差), S姿勢で $115.2 \pm 3.3/67.2 \pm 4.7 \text{ mmHg}$, D姿勢で $125.0 \pm 8.8/81.8 \pm 5.7 \text{ mmHg}$ であった。

Fig. 5 Changes in resting blood flow in upper and lower limbs related to the angle of body tilting. Values are means ($n=3$).

Fig. 6 Changes in the number of muscular contractions related to the different body positions. The numbers of subjects are 14 in work load of $1/3$ maximal grip strength and 17 in $1/6$ max. Values are means and standard deviations.

Fig. 4 は S 姿勢を基準とし、体軸を傾斜させた時の右側上下肢の周径囲の変動率を示したものである。測定部位は、大腿、下腿、足、上腕および前腕の 5 ケ所である。

横軸は D 姿勢（傾斜角は 40 度、20 度）、S 姿勢、U 姿勢（20 度、40 度、60 度）を示している。縦軸は、S 姿勢時の周径囲を ± 0 とし、体軸傾斜時の周径囲の増減をパーセントで表わしたものである。D 姿勢では上肢の周径囲は増加するが下肢の周径囲は減少する。逆に U 姿勢では下肢の周径囲

が増加し、上肢では減少する。

Fig. 5 は、前腕と下腿血流量を同時に測定した結果である。前腕血流量は、傾斜角 40 度の D 姿勢で最も多く、体軸を回転させ立位姿勢にすると減少する。下腿血流量は S 姿勢で最も多く、D および U のいずれの姿勢においても血流量が減少した。

B パフォーマンス

Fig. 6 は最大握力の $1/3$ と $1/6$ の負荷で最大作業を行なった時の作業回数を示している。 $1/3$ max 作業 ($n=14$) において、作業回数は 3 姿勢間でほとんど差異がみられなかった (U 姿勢で 62.4 ± 12.5 回、S 姿勢で 64.6 ± 14.5 回、D 姿勢で 66.5 ± 12.9 回)。

$1/6$ max 作業 ($n=17$) ではかなりの個人差がみられたが U 姿勢 (160.4 ± 38.7 回) と S 姿勢 (197.0 ± 55.3 回) との間には 0.1% の危険率で、U 姿勢と D 姿勢 (190.4 ± 49.8 回) では 1% の危険率でそれぞれ有意差がみられた。S 姿勢と D 姿勢の間には有意差がみられなかった。

C 作業後最大血流量

Fig. 7 は最大掌握作業を行なった被検者から 5 名 ($1/3$ max) と 7 名 ($1/6$ max) を無作為に抽出して

Fig. 7 Maximal blood flow after exercise in three different body positions. The numbers of subjects were 5 in work load of $1/3$ maximal grip strength and 7 in $1/6$ max. Values are means and standard deviations.

作業後の前腕最大血流量を測定した結果である。 $\frac{1}{3}\max$ および $\frac{1}{6}\max$ のいずれの作業においても, U姿勢と他の2姿勢との間に5%の危険率で有意差がみられた。S姿勢とD姿勢との間にはいずれの作業においても有意差がみられなかった。

D 血液性状

Fig. 8 は最大握力の $\frac{1}{3}$ の負荷で最大作業を行った後の血中乳酸の最高値 ($n=5$) を示したものである。U姿勢では $40.8 \pm 6.6 \text{ mg/dl}$, S姿勢では $38.6 \pm 7.3 \text{ mg/dl}$, D姿勢では $34.1 \pm 6.8 \text{ mg/dl}$ であった。回復時の最高値は, ほとんどの被検者で作業終了30秒後に得られた。統計的な有意差はU姿勢とD姿勢との間にだけ認められた。

Fig. 9 は各姿勢下における作業前後の動脈および静脈血中の O_2 と CO_2 濃度を示したものである。動脈血中の O_2 濃度は姿勢の差異および作業の前後にかかわらずほとんど同じであった。動脈血中の CO_2 濃度についても同様であった。静脈血中の O_2 および CO_2 濃度の変化は動脈血中におけるものと異なっていた。

Fig. 10 は動静脈酸素較差の変化の様相を示したものである。安静時, 作業終了後ともにU姿勢で最も高く, S姿勢, D姿勢の順に低くなった。したがって血流量と動静脈酸素較差の変化はほぼ逆の傾向を示した。

Fig. 8 Comparison of blood lactate immediately after exercise in three different body positions. Values are means and standard deviations ($n=5$).

Fig. 9 Blood gases (CO_2 , O_2) concentration at rest and after exercise. Blood samples were obtained from right cubital vein and brachial artery. Values are means ($n=5$).

Fig. 10 A- VO_2 difference before and after exercise related to different body positions. Values are means and standard deviations ($n=5$).

論 議

A 体軸の傾斜と循環調節

体軸の傾斜に伴って前腕血流量に変化の生じることは, Brigden, et al.⁴⁾, Brigden and Sharpey-Schafer³⁾, Roddie and Shepherd⁹⁾, Roddie, et al.¹⁰⁾ および Mengesha, et al.⁷⁾ によって報告されている。本実験においても, 従来の報告と同様の結果が得られた。Brigden, et al.⁴⁾ によれば, 正常人では, tilt table を用いて, 仰臥位から立位に体軸を変えると, 最高血圧は一定に保たれているのに, 前腕の血流量, 右心房内圧および心拍出量は減少するという。そして, 同時に, 前腕への交感神経が遮断されている被検者では前腕血流量の変化が起こらないことから, 体軸の傾斜に伴う前腕血流量の変化は, 血管運動反射によって生じたものであるとした。しかし, この現象がどのような反射経路によって起こるかは明らかでなかった。後に, Roddie, et al.¹⁰⁾ は, 19—36歳の健康成人を用いて, この現象の起こるメカニズムについて次のように説明している。ヒトの骨格筋は, 血管収縮神経と血管拡張神経によって支配されている。犬とネコでは, 筋を支配している血管拡張神経は cholinergic の機序で働くが, 筋にアトロピン (atropine) を投与すると, この働きが block される。このことから, もしヒトの下肢の受動的挙上に伴う前腕の血管拡張作用が血管拡張神経によってもたらされるなら, 前腕の組織にアトロピンを投与した時に, この血管拡張作用は起こらないかあるいは減弱されるであろうと予想した。そして, 彼等¹⁰⁾ は, 0.4mg の硫酸アトロピンの上腕動脈への注入が下肢の受動的挙上に伴う前腕血流量の増加への影響を調べ, 何の影響もなかったことを報告している。このことは, 前腕血流量の増加が, 血管拡張神経の働きによって起こるものではなく, 血管収縮神経の活動の抑制によって起こることを示唆するものである。また, 彼等¹⁰⁾ は, 一側の前腕の深部神経を局所麻酔して, 下肢を受動的に挙上したところ, 麻酔しない方の前腕の血流量および筋から出ている静脈の血中 O_2 飽和度は, 麻酔した方の前腕の血流量および O_2 飽和度に近づくが, それを超えることはないこと

を報告している。前腕の深部神経を麻酔すれば, 血管収縮神経の働きは完全にブロックされるのに対して, 麻酔しない方の前腕には血管収縮神経の作用が存在することからこのような差異の生じたことが説明されるわけである。さらに, 彼等¹⁰⁾ は, 受動的に挙上した下肢の大腿部をカフで圧迫し, 静脈還流を阻止すると, 前腕の血流量の増加は起こらないことを観察した。このような実験結果をもとにして, 彼等¹⁰⁾ は, 下肢の受動的挙上時に前腕におこる血流量の増加が血管収縮神経の活動の抑制によって起こるものであり, また, この血管拡張反射の受容器は胸廓内血管床の低圧部に存在するとした。

下肢における循環調節をみると, Fig. 5 から明らかなように, 水平仰臥位の姿勢の時, 下腿血流量が最も多くなっている。これは, 水平仰臥位では, 心血管系は重力に対して無重量状態にあるのと極めて近似した状態にあるためと考えられる⁸⁾。下半身が上方にくるように体軸を傾けると下腿血流量が少なくなるが, これは, 心血管系に対する重力の影響が考えられる。

体軸傾斜に伴う体肢の血流量の変化の様相は, 上肢と下肢とで異なる点が幾つかみられる。Fig. 5 において, 体軸を横軸に示されているように, 下半身を上方に向けた状態から下方に向けた状態に変化させた場合, 前腕血流量は指数函数的に減少するのに対して, 下腿血流量は, 水平仰臥位に近づくにつれて増加し, 立位状態に近づくにつれて再び減少した。この原因としては二つの事柄が考えられる。一つは, 重力の作用方向に対する上肢の血管の走行方向が, 下肢におけるものと同一でないことである。すなわち, 下肢から体軸に沿ってのばされているのに対し, 上肢は体軸と直角の方向にのばされた状態にあることである。下肢と同じ状態をとろうとすれば, 上肢を体側においた方が適当と考えられる。前腕と下腿との血流動態の異なるもう一つの原因としては, それぞれの部位での循環調節機構の異なることが考えられる。上半身を下方に傾けた時と下半身を下方に傾けた時とでは, 静水力学的には同じような原理が働いているのに, 上肢と下肢において血流量の変化の様相が異なることである。Fig. 4 に示されて

いるように、四肢の周径囲からみれば、上肢と下肢における変化のパターンは、大まかに言えば、対称的である。しかし、下肢を下方に傾けた状態では、その周径囲は水平仰臥位に比較して増加しているのに、血流量は逆に減少している。本実験では、体軸を傾ける時に、体幹をベルトで支えて下肢に力が入らないようにした。このような時には、佐川¹¹⁾によって紹介されているように、筋ポンプが働かず (Allen, et al.¹²⁾、心拍出量が著しく減少するという (Wang, et al.¹³⁾)。逆に、その場かけ足などによって静脈還流は著しく増すという (Stegall¹²⁾)。したがって、本実験の場合にも、下肢を下方に傾けた状態では下肢の静脈還流が十分でなく、血液貯留の起きたことを示している。しかし、下肢に、上肢でみられたような血管拡張現象が全く存在しないのか否かについては今後検討を要する問題である。

B 体軸の傾斜に伴うパフォーマンスの変化の生理的背景

体軸の傾斜に伴う前腕の掌握作業回数は、作業負荷の大きさによって若干異なっていた。すなわち、 $\frac{1}{3}$ 負荷では、三姿勢間でのパフォーマンスの差はほとんどみられなかったのに対し、 $\frac{1}{6}$ 負荷では、一部差がみられるようになった。 $\frac{1}{6}$ 負荷の時の作業時間 (14名の平均値 $\pm$ 標準偏差) は、U姿勢で 62.4 ± 12.5 秒、S姿勢で 64.6 ± 14.5 秒、D姿勢で 66.5 ± 12.9 秒であった。このことから、約1分余りで all-out になるような無酸素的要素の強い作業の場合には、体軸傾斜がパフォーマンスに与える影響は極めて少ないと考えられる。しかし、血流量および血液性状からみると、その内容は必ずしも同じではない。U姿勢時の作業後最大血流量は、SおよびD姿勢時のものに比較して有意に小さかった。作業後血中乳酸および動静脈酸素較差は、U姿勢で最も大きく、次に、S姿勢、D姿勢の順であった。Roddie and Shepherd⁹⁾は、19—35歳の健康な男子を被検者とし、その仰臥中の下肢を受動的に挙上すると、前腕の血流量および筋から派生している静脈血中の O_2 含量がともに増加することを報告した。また、彼等⁹⁾は、同時に、手部の血流量および皮膚からの静脈血中の O_2 含量の減少することを報告した。本実験に

おいて、下半身が上方になるように体軸を傾けて作業した後にも、彼等⁹⁾の結果と同様の傾向がみられた。しかし、作業自体が無酸素的要素の強かったために、このような生理的背景がパフォーマンスに影響をおよぼすまでには至らなかったものと考えられる。これに対して、 $\frac{1}{6}$ 負荷では、U姿勢の時に、他の二姿勢に比較して有意にパフォーマンスが小さかった。S姿勢とD姿勢とでは、パフォーマンスにはほとんど差がなかった。作業時間 (17名の平均値 $\pm$ 標準偏差) でみると、U姿勢では 160.4 ± 38.7 秒、S姿勢では 197.0 ± 55.3 秒、D姿勢で 190.4 ± 49.8 秒であった。すなわち、作業時間は約3分前後であり、 $\frac{1}{6}$ 負荷作業に比較して、より有酸素的な作業になっていると言える。U姿勢でのパフォーマンスは、他の二姿勢のものに比較して有意に小さかったが、この現象の生理的背景としては、安静時にみられたような体軸傾斜に伴う生理的反応の差異が影響しているものと考えられる。

C 作業能の拡大と重力

循環系に対する重力の相対的作用方向を変える一つの方法として、体軸傾斜法がある。体軸を傾斜させると、重力の作用によって、種々の生理的反応の起きることはすでに述べた^{1), 3), 4), 7), 9), 10)}。そして、これらの生理的反応が作業能にも影響のおよぼすことを述べた。すなわち、現在有している作業能はある特定の姿勢における作業能であり、別の姿勢をとった時には、その作業能は変化する可能性が多分にある。したがって、現在有している作業能を一時的に最大限発揮するにはどのような姿勢が適当かを調べる必要がある。本研究の意義の一つはここにある。

また、体軸を傾斜させると、体肢の血流量が変化した。特に、U姿勢では、その他の姿勢に比較して前腕の作業後血流量が少なく、血中乳酸および動静脈酸素較差は逆に高かった。このことは、U姿勢では筋の組織に、より低酸素の状態を作り易いことを示すものである。したがって、このような状態におけるトレーニングがそうでない場合に比較してヒトの作業能を著しく増加させる可能性が示唆されるのである。すなわち、重力を積極的に利用したトレーニング法の開発が展望される

のである。本研究の第二の意義はここにある。

要 約

tilt table を用いて、身体各部の相対的位置を変えずに体軸を傾斜させた時の前腕の持久的作業能および循環応答（血流量、血液性状）を観察した結果、次のような事柄が明らかとなった。

1 安静時前腕血流量は、head-down position（D姿勢）で最も高く、次に horizontal-supine position（S姿勢）、head-up position（U姿勢）の順であり、いずれの間においても統計的有意差が認められた。

2 $\frac{1}{3}$ max. 負荷での前腕掌握作業回数は、三姿勢間で有意な差がみられなかったが、 $\frac{1}{6}$ max. 負荷での作業ではU姿勢と他の二姿勢との間に有意差（ $P < 0.01$ ）がみられた。

3 作業後最大血流量は $\frac{1}{3}$ および $\frac{1}{6}$ max. 負荷のいずれの作業においても、U姿勢と他の二姿勢との間に有意差（ $P < 0.05$ ）がみられた。

4 安静時および $\frac{1}{3}$ max. 負荷作業終了後の血中乳酸値および動静脈酸素較差は、いずれの場合でもU姿勢で最も大きく、次に、S、D姿勢の順であった。

5 体軸の傾斜に伴う循環応答は、前腕の持久的作業能に影響をおよぼすこと、および作業時間が長ければそれだけ影響の大きいことが示唆された。

本研究は、文部省総合研究A「重力生理学領域における環境適応」佐伯班の研究の一部である。本研究の一部は、第30回日本体育学会⁶⁾および文部省科研費総合研究A合同研究発表会²⁾において口頭発表した。

引用・参考文献

- 1) Allen, S. C. C., Taylor, C. L. and Hall, V. E., "A study of orthostatic insufficiency by the tilt board method", *Am. J. Physiol.*, 143: 11-20, 1945 (佐川喜一 (11) から引用).
- 2) 朝比奈一男・山本高司・藤田公和, 「重力が作業能におよぼす影響」, 文部省科学研究費補助金総合研究A合同研究発表会抄録集, 1980. p. 7.
- 3) Brigden, W. and Sharpey-Schafer, E. P., "Pos-

tural changes in peripheral blood flow in cases with left heart failure", *Clin. Sci.*, 9: 93-100, 1950.

- 4) Brigden, W., Howarth, S. and Sharpey-Schafer, E. P., "Postural changes in the peripheral blood flow of normal subjects with observations on vasovagal fainting reactions as a result of tilting the lordotic posture, pregnancy and spinal anesthesia", *Clin. Sci.*, 9: 79-90, 1950.
- 5) Dean, H. M. and Skinner, S. L., "The effect of increased muscle blood flow on exercise hyperaemia in the human forearm", *Aust. J. exp. Biol.*, 38: 413-418, 1960.
- 6) 藤田公和・湯浅景元・藤松博・山本高司, 「作業姿勢が筋持久力および血流量におよぼす効果」, 第30回日本体育学会大会号, 1979. p. 249.
- 7) Mengesha, Y. A. and Bell, G. H., "Forearm and finger blood flow responses to passive body tilts", *J. Appl. Physiol.*, 46: 288-294, 1979.
- 8) 大島正光「無重量状態と人体」, 吉村寿人・高木健太郎・猪飼道夫(編), 適応協関の生理学, 生理学大系, 第9巻, 医学書院, 1970. pp. 686-94.
- 9) Roddie, I. C. and Shepherd, J. T., "The reflex nervous control of human skeletal muscle blood vessels", *Clin. Sci.*, 15: 433-440, 1956.
- 10) Roddie, I. C., Shepherd, J. T. and Whelan, R. F., "Reflex changes in vasoconstrictor tone in human skeletal muscle in response to stimulation of receptors in a low-pressure area of the intra-thoracic vascular bed", *J. Physiol.*, 139: 369-376, 1957.
- 11) 佐川喜一, 「静脈還流」, 松田幸次郎(編), 循環の生理学, 生理学大系, 第3巻, 医学書院, 1970. pp. 737-74.
- 12) Stegall, H. F., "Muscle pumping in the dependent leg", *Circulation Res.*, 19: 180-90, 1966 (佐川喜一 (11) から引用).
- 13) Wang, Y., Marshall, R. J. and Shepherd, J. T., "The effect of changes in posture and of graded exercise on stroke volume in man", *J. Clin. Invest.*, 39: 1051-61, 1960 (佐川喜一 (11) から引用).
- 14) Whitney, R. J., "The measurement of volume changes in human limbs", *J. Physiol.*, 121: 1-27, 1953.