筋酸素摂取量からみた筋持久力 トレーニング効果の研究

(昭和44年5月1日受付)

田 口 貞 善

Training Effect of Muscular Endurance with Respect to Muscle Oxygen Intake in Human Forearm

Sadayoshi TAGUCHI

University of Tokyo

Training effect of muscular endurance has been studied with respect to muscle oxygen intake from blood flow and oxygen content in blood. Oxygen of blood was analyzed by Van Slyke apparatus. Blood flow of the forearm was measured by Whitney's gauge. Ultrasonic apparatus was applied to know the amount of the muscle tissues. Five male subjects engaged in a training program once a day for 12 weeks. Training exercise was made by the rhythmic grip contractions (60 contractions/min.) against the weight of 1/3 of maximum strength. This exercise continued up to exhaustion on the hand-ergometer. The measurements were made 5 times through the training period; before training, 3rd, 6th, 9th week as well as at the end of training period.

The number of contractions up to exhaustion increased remarkably from 82.2 to 267.4 at the end of training in the mean. Muscle oxygen intake and blood flow resulted in significant increase from 3.88 to 6.28 (ml./100ml.muscle/min.) ($p<0.01$), and from 32.27 to 49.54 (ml./100ml.forearm/min.) ($p<0.05$) respectively.

It was found that improvement in muscular endurance was associated with increase of muscle oxygen intake. Furthermore, the increase in muscle oxygen intake was more closely related to the increase of blood flow than that of arteriovenous oxygen difference. Oxygen intake per unit mechanical work decreased markedly (from 0.91 to 0.56 ml./kgm), indicating improvement of the mechanical efficiency.

筋持久力トレーニングによる筋持久力のメカニズムについて、猪飼、石井と中村たち(1961, 1964)は、血流量の面から、広く、綿密に探究してきた。そしてトレーニングによつて筋持久力が増加すると同時に筋肉への血流量が増加することみつけ、筋持久力の向上の主要な因子の一つが血流量の増加であることを明らかにした。またこのような持久力を有酸素的筋持久力であるといっている。

Vanderhoof たち(1961), Elsner たち(1962)は、持久力トレーニングによつて、運動直後の血流量が増加し、運動後の増加血流量(Blair たち(1959)はこれを血流負債 "blood flow debt" と

よんでいる。)が減少したと報告している。そしてこのことについて、彼等は、運動時に筋に流れる血流量が増加した結果であろうとのべている。Rother たち(1963)は、トレーニング過程中、運動中の血流量を測定し、5週間の水泳練習によつて前腕の血流量が有意な増加を示したと報告している。

これまでの筋持久力の向上のメカニズムについての多くの研究は、酸素運搬能力としての血流量の面からとらえられてきた。しかし実際には筋活動時に酸素を摂取するのは筋であり、筋持久力のメカニズムを知る上で、次の段階として、酸素消費系の面から筋持久力を明らかにしようという問題がおきた。そして猪飼たち(1967, 1968, 1969)

東京大学

は、作業時の前腕筋の酸素摂取量を測定することによつて筋持久力との関係をみた。そして筋持久力と筋酸素摂取量との間に密接な関係があることを明らかにした。

これまでも人間の体肢組織の作業時の酸素摂取量に関する報告 (Jarisch たち1929, Asmussen たち 1939, Love 1955, Hlavová たち 1966, Wahren 1966) はあるが、トレーニングによる作業時の筋酸素摂取量の変化についての報告は今までに見当たらない。

本研究は猪飼たちの筋持久力に関する一連の研究の発展として、筋持久力のトレーニング効果を筋酸素摂取量の面から明らかにしようとしたものである。また筋酸素摂取量の測定は、従来の方法 (Mottram, 1955) を改善したものであり、Ikai と Fukunaga (1968) が用いた超音波法によつて、前腕の筋量を求めて、単位筋容積当りの筋酸素摂取量を算出した。

実験方法

5名の健康な成人 (23~29才) について、1日1回、週6回の筋持久力トレーニングを12週間にわたつて行なつた。筋持久力として用いた作業は、ハンドエルゴメーターを使用して、最大筋力の1/3の重りを負荷として、1秒1回のリズムで、2cmの距離をオールアウトにいたるまで持ち上げる作業であつた。作業回数は毎日測定された。トレーニング期間は1968年6月から9月までである。図1は筋作業を行う被検者の姿勢を示したものである。

図1 水銀ラバー・ストレーンゲージを装着した被検者の筋作業の姿勢

前腕筋酸素摂取量は、Fick の原理に基づき、血流量を動静脈血酸素較差の積に、超音波装置によつて測定した前腕における筋の占める割合(%)を乗じることによつて算出した。

$$\begin{aligned} \text{筋酸素摂取量} &= (\text{ml./100ml. muscle/min.}) \\ &= \text{動静脈血酸素較差 (ml/ml. blood)} \\ &\quad \times \text{血流量 (ml./100ml. forearm /min.)} \\ &\quad \times (100/\text{前腕における筋の占める割合}\%) \end{aligned}$$

なお筋酸素摂取量は、トレーニング前、トレーニング過程、3, 6, 9と12週間目に測定された。

前腕血流量は、Whitney (1953) の水銀ラバー・ストレーンゲージによる 静脈阻止法で30分間仰臥姿勢で安静にした後と作業後に測定された。また測定法には手の血流を除くために、手首にマンシェットを装着し、220 mmHg の圧を記録前、中に加えた。また静脈血流量を知るためには、上腕に 60mmHg の圧を加えた。図2. は水銀ラバー・ストレーンゲージでオシログラフに記録した安静時と作業直後の血流量の結果である。

図2 オシログラフによる血流量の記録

また血流量の測定と同時に、血液中の酸素含量を分析するために前肘窩静脈から約 3 ml の血液が採血された。採血前には血液凝固を阻止するためにヘパリンで注射筒の内側を軽くぬらした。また空気と血液の接触をさけるために注射針と注射筒の死腔に約 1 ml の流動パラフィンを満たした。採血した血液サンプルは分析まで冷そう庫内に保存した。血液中の酸素含量の分析は、Van Slyke (1924) の検圧法によつて、採血後4時間以内に行なわれた。酸素含量の測定と同一血液サンプルについて、酸素容量を測定し、その95%を動脈血の酸素含量とした。

前腕における筋の占める割合は超音波装置によつて、前腕の10ヶ所の横断面像を測定し、この横断面像から、筋断面積を算出し、各測定部位間を円柱として求められた。

図3 トレーニング期間中の作業回数の変化（5名の被検者）

縦軸：作業回数

横軸：トレーニング期間（週）

結 果

トレーニング前、筋持久力トレーニングの負荷を決定するためにストレインゲージ筋力計で最大筋力が測定された。最大筋力は被検者、F.T., A.H., T.Y., Y.S. と K.W., それぞれ57.0, 49.0, 37.5, 53.0 と 65.0kg であった。そしてこの最大筋力の1/3の負荷の作業がトレーニングとして行なわれた。作業回数は、トレーニングによつて、トレーニング前、平均82回 (S.E.=9.9) から平均267回 (S.E.=91) と有意な増加を示した ($p<0.05$)。

図3. は5名の被検者のトレーニングによる作業回数の増加を示したものである。被検者 A.H. はトレーニング9週目から急激な作業回数の増加を示し、トレーニング前の114回から605回とトレーニング前を100とすると、536%の増加率を示した。また F.T. はトレーニング6週目から著明

な増加を示し、トレーニング前とくらべて432%の増加率を示した。他の3名の被検者もトレーニング後は約200% (176~212%) の作業回数の増加をみた。またトレーニング12週間後の最大筋力は、被検者 F.T., A.H., T.Y., Y.S. と K.W., それぞれ、57.9, 50.0, 39.2, 52.0 と 66.0kg とトレーニング前に比較して有意な差はなかった。トレーニング後の最大筋力の1/3の負荷での作業回数は、平均255回でトレーニング過程で用いた負荷での作業回数とほとんど差はなかった。

超音波装置によつて測定された前腕における筋の占める割合は、F.T., A.H., T.Y., Y.S. と K.W., それぞれ70.5, 68.4, 67.9, 64.1と69.1%であった。

表1. は安静時と作業直後における筋酸素摂取量のトレーニング効果を示したものであり、図4,

表 1 トレーニング前後の安静時と最大作業時の筋酸素摂取量の比較 (ml/100ml. muscle/min.)

Subject	Trainong Poriod (week)									
	Before Trainong		3rd		6th		9th		12th	
	Rest	Ex.	Rest	Ex.	Rest	Ex.	Rest	Ex.	Rest	Ex.
F. T.	0.20	4.15	0.16	4.34	0.18	5.90	0.31	7.09	0.45	8.01
A. H.	0.28	2.65	0.20	3.03	0.11	4.82	0.34	6.27	0.28	6.30
T. Y.	0.16	4.05	0.22	5.32	0.49	6.51	0.50	6.07	0.47	5.89
Y. S.	0.20	3.87	0.12	4.21	0.36	4.95	0.27	4.62	0.39	5.23
K. W.	0.32	4.70	0.45	4.54	0.20	4.93	0.17	6.01	0.36	5.99
mean	0.23	3.88	0.23	4.29	0.27	5.42	0.32	6.01	0.39	6.28

Rest: 30分間仰臥姿勢で安静

Ex.: 作業直後

図 4 最大作業時における筋酸素摂取量のトレーニング前、および期間中の推移

縦軸: 筋酸素摂取量

横軸: トレーニング期間 (週)

はトレーニングによる作業直後の筋酸素摂取量の変化を表わしたものである。安静時における筋酸素摂取量はトレーニング過程で有意な差はみられなかった。しかし作業直後の筋酸素摂取量は、トレーニング前、平均 3.88ml./100ml. muscle / min. からトレーニング後には平均 6.28ml./100ml. muscle / min. と有意な増加を示した ($p<0.01$)。筋酸素摂取量は、トレーニング3週間後から著明な増加を開始したが、T.Y. と Y.S. は6週間後から、A.H. と K.W. は9週間後からトレーニング

終了まで同一水準または非常にわずかな増加にとどまつた。しかし被検者は F.T. はトレーニング終了まで著明な増加を示した。

図 5 最大作業時における血流量と動静脈血酸素較差のトレーニング前、および期間中の推移

縦軸: 血流量(上), 動静脈血酸素較差(下)

横軸: トレーニング期間 (週)

次に図 5. は作業直後における筋酸素摂取量を決定している血流量と動静脈血酸素較差からみ

たものである。動静脈血酸素較差は、トレーニングによつて、ほとんど変化しなかつたが、血流量はトレーニング前に平均 32.28ml./100ml. forearm/min (SE.=2.98) であつたのがトレーニング後には平均49.54ml./100ml. forearm/min.(S.E.=5.05) と有意な増加を示した。とくに被検者 F.T. はトレーニング3週間後からトレーニング終了時まで著明な増加を示した。

図6 トレーニング期間中の1kgmの仕事に要した筋酸素需要量の変化
縦軸：1kgmの仕事に要した筋酸素需要量
横軸：トレーニング期間(週)

図6. は前腕の1kgmの仕事に要した筋酸素需要量(ml/kgm)のトレーニング効果を示した

図7 作業回数、最大作業量における筋酸素摂取量、血流量と動静脈血酸素較差のトレーニング期間中の推移
縦軸：最大作業回数(左上)、筋酸素摂取量(左下)
血流量(右上)、動静脈血酸素較差(右下)
横軸：トレーニング期間(週)

表2 平均値で示した安静時と最大作業時における筋酸素摂取量、血流量、動静脈血酸素較差と最大作業回数のトレーニング期間中の推移 (mean)

	Training Period (week)									
	Before Training		3rd		6th		9th		12th	
	Rest	Ex.	Rest	Ex.	Rest	Ex.	Rest	Ex.	Rest	Ex.
$\dot{V}O_2$	0.23	3.88	0.23	4.29	0.27	5.42	0.32	6.01	0.39	6.28
Blood Flow	3.39	32.28	3.30	34.31	4.86	39.66	5.71	46.08	5.54	49.54
AVO_2D	4.59	8.27	4.62	8.51	3.70	9.40	3.73	8.95	4.85	8.75
No. of Contr.	82		103		122		163		267	

No. of Contr.: 作業回数 $\dot{V}O_2$: 筋酸素摂取量 (ml/100ml. muscle/min)

Blood Flow: 血流量 (ml/100ml. forearm/min) AVO_2D : 動静脈血酸素較差

Rest: 30分間、仰臥姿勢で安静 Ex.: 作業直後

ものである。トレーニング前では平均 0.91ml/kgm (S.E.=0.12) であつたのが、トレーニング9週間で 0.72ml/kgm (S.E.=0.12, $p<0.1$), トレーニング12週間で 0.56ml/kgm (S.E.=0.10, $p<0.05$) と有意な減少を示した。

図7. はトレーニング過程における測定項目のまとめたものであり、作業回数と作業直後における筋酸素摂取量、血流量、動静脈血酸素較差について平均値と標準誤差で表わしたものである。表2はその数値を示したものである。作業回数の増加とともに筋酸素摂取量の増加がみられる。また動静脈血酸素較差はトレーニングによつてほとんど変化しないので、筋酸素摂取量の増加が血流量の増加であることを示している。また平均値でみた作業回数のトレーニング9週間後からトレーニング12週間までの急激な増加は、とくに被検者 A.H. によるものである。

図8 増加率(%)で示した最大作業回数、血流量と筋酸素摂取量のトレーニング前後の比較

縦軸: トレーニング前の値を100としたときの増加率(%)

横軸: 被検者

図8. は作業回数、作業直後における血流量と筋酸素摂取量をトレーニング前を100%として増加率で示したものである。被検者 F.T. と A.H. では著明な作業回数の増加に比べて筋酸素摂取量、血流量の増加率が小さいことが明らかである。このことは図6. における同一作業量に要する酸素摂取量の減少を意味するものである。

論 議

成人男子5人について、筋持久力トレーニングを行なつた結果、著しい作業回数の増加がみとめられた。そして12週間のトレーニング後にも作業回数はなお増加する傾向を示した。作業回数の増加率はトレーニング前にくらべて325%であつた。この結果はこれまでの猪飼たち(1961, 1964)の報告とはほぼ一致するものである。またトレーニング終了時の最大筋力はトレーニング前とほとんど変化なく、トレーニング後の最大筋力の1/3の負荷での作業回数もトレーニングのそれとほとんど差はなく、310%の増加率を示した。したがつて作業回数の増加は筋力の増加によるものではなく、筋持久力の向上であると考えられる。しかし、この増加率にはかなりの個人差がみられた(176~536%)。

筋酸素摂取量が、本研究では超音波装置によつて前腕における筋量を測定することによつて、骨、脂肪、皮膚組織を含む前腕100ml. 当りの酸素摂取量から計算された。前腕における筋の占める割合は、平均68.0%(64.1~70.5%)であつた。これまで Abramson たち(1940)が58.6%, Cooper たち(1955)が解剖学的に63.6%という値を報告している。

筋酸素摂取量に関するトレーニング効果についての報告はこれまに見当たらないが、成人男子の作業時の筋酸素摂取量について Barcroft たち(1963)は $3\text{ml}/100\text{ml. muscle}/\text{min}$, Hlavová たち(1966)は $3.27\text{ml}/100\text{ml. muscle}/\text{min}$, という数値を報告している。また Asmussen たち(1939)は自転車エルゴメーターのオールアウト作業時に、脚酸素摂取量が $11.2\text{ml}/100\text{ml. tissue}/\text{min}$ に増加したとのべている。本実験ではトレーニング前平均 $3.88\text{ml}/100\text{ml. muscle}/\text{min}$. からトレーニング後 $6.28\text{ml}/100\text{ml. muscle}/\text{min}$. と161%の増加を示した。そしてこの増加の傾向は3週間から6週間にかけて著明であつた。また被検者 F.T. を除けば、筋酸素摂取量の増加がとまつた9週間目からも作業回数の増加がみられた。これはトレーニングによつて作業時の筋の酸素摂取量の水準が増加するとともに、筋の効率の改善がなされていることを示していると考えられる。

トレーニングされていない人間では、Ikai たち (1969) は前腕の作業直後における筋酸素摂取量と血流量は非常に密接な関係にあることを報告したが ($r=0.894$, $p<0.001$), トレーニング過程における筋酸素摂取量の増加も血流量と非常に密接な関係にあつた。すなわち、筋酸素摂取量の増加をもたらすものは、動静脈血酸素較差増加ではなく、血流量の増加であつた。このことは、トレーニングによつて、作業中に開口する筋肉毛細血管の数と口腔の増加、毛細血管と筋線維までの距離の短縮によつて、血液と筋肉との接触する面積、すなわち筋の酸素を授受する面積が増加したと考えられる。したがつて、動静脈血酸素較差が増加しなくても、筋酸素摂取量が増加するのは、一定血液量から筋の酸素を抜きとる量が同じであつても、その酸素の抽出面積（酸素拡散面積）が増加したことによつて、全体として筋の酸素摂取量が増加したものと考えられる。Weiss たち (1935) は、激運動時の酸素需要の増加をみだす要因の一つとして、細小動脈と毛細血管の拡大をあげている。

本実験の筋持久力トレーニングでは動静脈血酸素較差の増加はほとんどみられなかつたが、Bevegård たち (1960) はトレーニングされた青年はトレーニングされていない青年よりも動静脈血酸素較差が大きいと述べている。したがつて、トレーニングによつて動静脈血酸素較差の増加がおきるとすれば血流量を増加させるメカニズムの次に、とくに血液から酸素の抜き取り率を高めるようなメカニズムがおきること考えられる。これは筋自体の改善である。Donald たち (1957) は心疾患の患者で脚血流量の少ないものは、作業時に正常人に比較して動静脈血酸素較差が大きいと述べている。これらのことから血流量の増加が限界に達した後に筋の酸化能力を高める筋線維自体の改善が中心になることも考えられる。本実験で用いた12週間というトレーニング期間では、動静脈血酸素較差の増加をもたらすにはいたらなかつた。

要 約

1) 5名の成人男子について、12週間の筋持久力トレーニングが行なわれた。また筋持久力の向上のメカニズムを明らかにするためにトレーニン

グ過程で前腕筋の酸素摂取量が測定された。

2) その結果、作業回数は、平均値でトレーニング前 82回、トレーニング後 267回であり、トレーニングにより約3倍の増加を示した ($p<0.05$)。

3) 筋の酸素摂取量は、平均値でトレーニング前 3.88ml/100ml. muscle/min., トレーニング後 6.28ml./100ml. muscle/min. であり、トレーニングにより約1.6倍の増加をした ($p<0.01$)。

4) トレーニングによつて、作業直後の動静脈血酸素較差はほとんど変化しなかつたが、血流量は、トレーニング前 32.28 ml./100ml. forearm/min., トレーニング後 49.54ml./100ml. forearm/min. であり、トレーニングにより約1.6倍の増加を示した ($p<0.05$)。

5) これらの事実から、筋酸素摂取量の増加は筋持久力向上に大きく寄与していると考えられる。またトレーニング筋酸素摂取量の増加を決定しているものは血流量であるといえる。

終り臨み、指導と校閲を賜つた猪飼道夫教授と、とくに超音波測定に援助を与えられた福永哲夫君、終始協力して下さつた東大体育学研究室諸姉諸兄に感謝致します。

文 献

- 1) Abramson, D.I. and E.B.Ferris (1940): Responses of blood vessels in the resting hand and forearm to various stimuli. *Am.Heart J.* 19: 541-553.
- 2) Asmussen, E., E.H.Christensen and M. Nielsen (1939); Die O_2 -Aufnahme der ruhenden und der arbeitenden Skelettmuskeln. *Skand. Arch. Physiol.* 82: 212-220.
- 3) Barcroft, H., B.Greenwood and R.F. Whelan (1963): Blood flow and venous saturation during sustained contraction of the forearm muscles. *J. Physiol. Lond.* 168: 848-856.
- 4) Bevegård, S., A.Holmgren and B.Johnsson (1960): The effect of body composition on the circulation at rest and during exercise, with special reference to the influence on the stroke volume. *Acta physiol. scand.* 49: 279-298.
- 5) Blair, D.A., W.E.Glover and I.C.Roddie (1959): The abolition of reactive and post-exercise

- hyperaemia in the forearm by temporary restriction of arterial inflow. *J. Physiol. Lond.* **148**: 648-658.
- 6) **Cooper, K.E., O.G. Edholm and R.F. Mottram** (1955): The blood flow in skin and muscle of the human forearm. *J. Physiol. Lond.* **128**: 258-267.
 - 7) **Donald, K.W., P.N. Wormald, S.H. Taylor and J.M. Bishop** (1957): Changes in the oxygen content of femoral venous blood and blood flow during leg exercise in relation to cardiac output. *Clin. Sci.* **16**: 567-591.
 - 8) **Elsner, R.W. and L.D. Carlson** (1962): Postexercise hyperaemia in trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* **17**: 436-440.
 - 9) **Hlavová, A., J. Linhart, I. Přerovský, V. Ganz and A. Froněk**: Leg oxygen consumption at rest and during exercise in normal subjects and in patients with femoral artery occlusion. *Clin. Sci.* **30**: 377-382.
 - 10) **Hlavová, A., J. Linhart, I. Přerovský, V. Ganz** (1966): Circulatory and metabolic changes in the leg in man during and after exercise. "Circulation in Skeletal Muscle" edited by O. Hudlicka, Pergamon Press, 193-203.
 - 11) 猪飼道夫 (1961): 青少年の発育とトレーニング効果について —— とくに筋持久力について ——, 体育学研究. **6**: 337-339.
 - 12) 猪飼道夫, 石井喜八 (1964): 腕エルゴメーターによる筋持久力のトレーニング効果. 体力科学. **13**: 69 P.
 - 13) 猪飼道夫, 中村淳子, 石井喜八 (1964): 筋持久力トレーニング効果について. 体育学研究. **9**: 125 P.
 - 14) 猪飼道夫, 石井喜八 (1964): 筋持久性とそのトレーニング効果の機序に関する研究. 日本生理学雑誌. **26**: 74 P.
 - 15) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子 (1965): 血流量からみた筋持久力 (I~IV) 体育の科学. **15**: 201-206, 281-287, 334-340, 404-410.
 - 16) 猪飼道夫, 田口貞善 (1967): 筋の酸素消費量からみた筋持久力. 日本体力医学協会抄録集 (第21回). : 24-25.
 - 17) 猪飼道夫, 中村淳子, 田口貞善 (1967): 末梢循環からみた筋持久力. 日本生理学雑誌. **29**: 393-394.
 - 18) **Ikai, M.** (1967): Trainability of muscular endurance as related to age. ICHPER 10th International Congress. Vancouver, Canada.: 29-35.
 - 19) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子, 田口貞善 (1967): 筋持久力のトレーニング. 体力科学(特集号): 279 P.
 - 20) 猪飼道夫, 田口貞善 (1968): 筋の酸素消費量と作業能力. 日本生理学雑誌. **30**: 610-611.
 - 21) 猪飼道夫, 福永哲夫 (1968): 身体組成の研究(II) 体育の科学. **18**: 71-76.
 - 22) **Ikai, M. and T. Fukunaga** (1968): Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.* **26**: 26-32.
 - 23) 猪飼道夫, 田口貞善 (1968): 筋の酸素摂取量と作業能力 (I~II). 体育の科学. **18**: 128-134, 188-194, 265-269.
 - 24) **Ikai, M. and S. Taguchi** (1969): A study on muscle oxygen intake following exhaustive exercise in the human forearm. *Research Journal of Physical Education.* **13**: 17-25.
 - 25) **Jarisch, A. and F. Gaisböck** (1929): Über das Verhalten des Kreislaufes bei der postanämischen Hyperämie. *Arch. exp. Path. Pharmacol.* **139**: 159-178.
 - 26) **Love, A.H.G.** (1955): The rate of blood flow and the oxygen saturation of the effluent blood following contraction of the muscle of the human forearm. *Clin. Sci.* **14**: 275-283.
 - 27) **Mottram, R.F.** (1955) The oxygen consumption of human skeletal muscle in vivo. *J. Physiol. Lond.* **128**: 268-276.
 - 28) **Rother, F.D., R.H. Rochell and C. Hyman** (1963): Exercise blood flow changes in the human forearm during physical training. *J. Appl. Physiol.* **18**: 789-793.
 - 29) **Vanderhoof, E.R., C.J. Imig and H.M. Hines** (1961): Effect of muscle strength and endurance development on blood flow. *J. Appl. Physiol.* **16**: 873-877.
 - 30) **Van Slyke, D.D. and J.M. Neill** (1924): The determination of gases in blood and other

solutions vacuum extraction and manometric measurement. (I). J. Physiol. Lond. **61**: 523-573.

- 31) **Wahren, J.** (1966): Quantitative aspects of blood flow and oxygen uptake in the human forearm during rhythmic exercise. Acta. physiol. scand. Suppl. 269, **67**: 1-93.
- 32) **Whitney, R.J.** (1953): The measurement of

volume changes in human limbs. J. Physiol. Lond. **121**: 1-27.

- 33) **Weiss, S. and L.B. Ellis** (1935): Oxygen utilization and lactic acid production in the extremities during rest and exercise in subjects with normal and in those with diseased cardiovascular systems. Arch. Intern. Med. **55**: 665-680.