【綜 説】

高 齢 者 の 筋 作 業 能 力

加 賀 谷 淳 子

MUSCLE WORK CAPACITY IN ELDERLY PEOPLE

ATSUKO KAGAYA

Abstract

This review describes age-related changes in muscle work capacity and muscle blood flow as an indicator of oxygen transport capacity. Maximal endurance time, measured using a given relative load, did not differ between younger and older people; and the strength decline ratio, as a percent of maximal voluntary contraction, remained constant across the middle- and old age groups, or slightly increased with age. A likely explanation would be the age-related modification of muscle fiber composition. In contrast, the recently proposed submaximal test indicated that the breaking point of blood pressure regulation ($BP_{critical}$), during progressively increasing exercise, significantly decreased in the elderly in their 70 s. Concerning muscle blood flow in the elderly, the results are inconsistent. Some studies indicated the muscle blood flow during leg or handgrip exercise can be preserved in the elderly; other studies reported it decreases in older people both at baseline and during exercise. Longitudinal studies on elderly people show that training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older people. In addition, daily physical activity is related to muscle work capacity and gradually decreases with age. Thus, further studies are needed concerning whether the decline of muscle work capacity or the reduction of muscle blood flow with age is due to aging or inactivity in older people.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 Suppl : 47~54)

key word : blood flow, blood pressure, muscular endurance, aging, physical activity

は じ め に

高齢者が質の高い生活をするためには作業能力の高いことが重要である。作業能力には全身的な作業能力と局所的な筋の作業能力とがある。前者は動物としてのヒトの行動能力の根幹となるものであり、主な規定因子は呼吸循環系機能である。それに対して後者は、心臓や肺の機能に最大限の負荷を与えない局所的な筋の作業能力である。どちらも、高齢者がQOLの高い生活を維持し、充実した高齢期を送るために必要な能力である。しかし、加齢に伴う循環系や筋系の機能低下は、全身的作業能だけでなく、局所的な筋の作業能をも低下させるとの報告がされている¹⁾。そこで、本

稿では、局所的な筋の作業能の加齢に伴う変化をまとめると共に、それに対する身体活動量の影響を検討する。

筋作業能は発揮される力とその持続時間で評価される。筋が発揮する力が大きくなると、持続時間は対数関数的に低下するので、作業能力は低負荷での運動持続能に大きく依存している。本稿では、筋の運動持続能、すなわち筋持久力も作業能の指標に含めて検討した。

高齢者の筋作業能を評価する方法

負荷方法

筋作業能を規定する局所的な持久力は、身体の一部の筋群を用いて行う運動の持続能力を指して

いる。

評価する一般的な方法には、以下の2つがあげられる。

1. 一定の負荷を与えて如何に長く仕事を続けられるか、すなわち、疲労困憊までの最大持続時間を測定する。
2. 最大努力で運動を行わせて、一定時間内の仕事率の低下を測定する。

前者では、絶対的に同じ負荷を与える方法と各人の最大筋力に対して相対的に一定の負荷を与える方法とがある。絶対的負荷を用いた場合には最大筋力が規定因子のひとつになる^{2,3)}。発揮筋力と運動持続時間との間には対数関数的関係があり、強度が高くなるにしたがって最大持続時間が短縮する。逆に、負荷が小さくなると持続時間が延長し、ある負荷以下になるとその延長は顕著になる⁴⁾。また、用いる負荷が小さければ有酸素性筋持久力を、負荷が大きければ無酸素性筋持久力を示している。後者は常に最大努力で 1) 最大筋力を発揮させる、2) 最大の関節角度変化を行わせる、3) 最大速度で運動を行わせる、等を行って一定時間内の低下度や総仕事量を測定するものである⁵⁻⁷⁾。文部科学省新体力テストの上体起こしもこれに該当する。

しかし、これらの測定はいずれも被測定者に最大努力を要求するものである。したがって後期高齢者を含む広範囲な対象に実施するには難がある。安全性と動機付けの相違による測定値の信頼性が問題になるからである。

そこで最大下の負荷テストを用い、被測定者の意欲や動機付けに影響されることの少ない評価法について検討する。これまでの研究をみると、最大下負荷テストについて全身的な運動では頻繁に報告されているが、局所的な運動では少ない。Moritani ら⁸⁾は一定強度の運動を持続すると筋放電量が漸増すること、その増加はある強度以上になると急峻になるという現象に着目した。そして、筋放電増加度が急峻になりはじめる負荷強度を疲労閾値と名付けている。

一方、Kagaya ら⁹⁾は、運動時の血圧応答が必ずしも運動強度と直線関係を保って上昇するわけ

Fig. 1. Determination of critical load for blood pressure breaking point ($BP_{critical}$) during incremental static handgrip exercise. (Kagaya et al 2001).

Two regression equations between load and blood pressure are calculated; one from the lower loads and the other from the higher load. The load at the intersection of two lines ($\downarrow$) is identified as $BP_{critical}$.

SBP, MBP, DBP : systolic, mean and diastolic blood pressure

ではなく、ある負荷を超えると顕著な上昇を示す¹⁰⁾ことに着目して、局所的作業能の評価法を提案している。この方法は、負荷漸増の静的掌握運動を行わせて血圧を測定し、低負荷での血圧-負荷関係が崩れる負荷強度を求めるものである (Fig. 1)。著者らはこの負荷を血圧変移点負荷 ($BP_{critical}$) と呼ぶこととした⁹⁾。 $BP_{critical}$ は最大筋力の30~50%で発現するので、テストは最大下負荷によって実施可能である。筋活動時の筋内圧は負荷強度と直線関係を保って上昇するので¹¹⁾、血圧の非直線的増加は、乳酸蓄積、pHの低下、脱酸素化の亢進等による筋からの求心性刺激による血管収縮を背景としていと考えられる^{12,13)}。したがって、負荷の増加に対して血圧が急上昇しはじめる負荷は、筋の代謝性の変移点を示していると考えられることができる。

運動様式

筋持久力のテストには、静的あるいは動的運動のどちらかが用いられている。また対象とした運動としては、前腕の掌握運動^{2,3,14)}、下腿の足底

屈運動¹⁵⁾、上体起こし(文部科学省)等が用いられてきた。しかし、動的運動は、動作範囲、動作スピードの調節が被検者を戸惑わせると共に、固定装置の装着が被検者の運動に影響を与えるので、静的運動に比べて再現性が低いとされている¹⁶⁾。また、Shinohara ら¹⁷⁾が報告しているように、高齢者では非活動肢の活動を抑制する能力が低下している。したがって、運動を局所に限定して実施するスキルが低下していると言える。以上の理由から、高齢者の筋持久力を評価するために行う運動は、できるだけ平易なものである必要がある。その観点からすれば、動的運動よりも静的運動が望ましいし、日頃よく実施している運動を用いることが適切であろう。もちろん、静的運動と動的運動、上肢の筋と下肢の筋の持続能は必ずしも一致していない¹⁾ので、どのような運動様式をテストに選ぶかは目的によって変わる。

いずれにしても高齢者を対象とした局所的作業能のテストは 1) 再現性がある 2) 最大下の負荷テストである、3) 運動様式が簡易であり、特別な練習がなくても実施できる、4) 姿勢が安定していて高齢者でも不安感がないことが重要である。

筋作業能に対する加齢の影響

発育期の子どもの筋持久力は最大筋力とは異なり、年齢による変化は見られないが²⁾、成人でも同様に、年齢による相違がないとされている¹⁴⁾。それによると高齢期前の22～62歳の男性に最大握力の40%MVCの力を保持できる時間を調べると、持久時間は加齢に伴ってやや延長するものの有意差は見られなかった¹⁴⁾。しかし、11歳から79歳までの男女519名を対象とした大中¹⁸⁾の研究では、最大筋力の1/3の重りを保持する静的背筋持久力は加齢と共に延長する傾向を示し、70歳代は20歳代に対して統計的に有意に長かったと報告している(Fig. 2)。

次に最大筋力の低下度から筋作業能に対する加齢の影響をみた研究では、20～74歳男性153名の足底屈、足背屈、指屈曲筋力の低下度¹⁾には年齢による相違はみられていない。また、若年者(平

Fig. 2. Changes in endurance time with age in three different exercise modes. (Ohnaka 1977)

× : Forward holding the weight of 9 kg
● : Chinning
○ : Lifting against the load of 1/3 MVC.

均年齢22歳)と高齢者(平均年齢73歳)に等速性の膝伸展運動を100回繰り返して行かせたところ、Fig. 3のように発揮張力は高齢者で低下したが、相対的な力の低下には相違がみられなかったという⁷⁾。Chan ら¹⁹⁾は、むしろ高齢者は疲労耐性が高く、筋力低下度は小さいと報告している。このような結果が得られた背景として、これらの報告は、筋線維組成の変化、すなわち加齢に伴うtype II線維の萎縮²⁰⁾が相対的にtype I線維の割合を高めた結果、筋力が低下する一方で、筋の有酸素性エネルギー産生が有利になり、疲労耐性が高まるかあるいは若年者と同じレベルが維持された^{21,22)}としている。

一方、Bemben ら¹⁾は拇指内転運動の筋力低下度は高齢者で有意に大きいこと、足底屈、足背屈運動の筋力低下度に比べて、手指屈曲運動や拇指内転運動での筋力低下度の方が大きいことを示しており、筋持久力に部位差のあることを明らかにしている。身体各部の中、加齢に伴って筋持久力が低下する部位とそれが維持される部位を明確にすることは今後の課題のひとつである。

このような作業中の循環系変化を年齢の異なる群間で比較すると、相対的に同じ負荷であっても高齢群では若年者より血圧上昇が大きい^{14,23)}。したがって、運動が持続したときの生理的応答は年齢によって異なることになる。

Fig. 3. Individual profiles, representative for each of the four groups ; young men, young women, old men, and old women. (Lindstrom et al. 1997).

そこで著者らは、たとえ筋活動を持続することができたとしても、その過程で身体の整合性を乱すような生理的変化があれば、日常生活での活動持続はそこで中断されるべきであり、その破綻が起きるまでにどれ位仕事ができただで作業能力を評価することも重要であると考えた⁹⁾。血圧が急上昇する負荷を指標として高齢者の上肢の筋作業能力を提案したのはそのような理由からである。Fig. 4 は負荷増加に対して血圧が急上昇する負荷を高齢女性と中年者を比較して示したものである⁹⁾。高齢者では有意な低下を示している。したがって、高齢者では血圧を上げずに作業を持続できる強度が低下することが明らかである。

筋作業能を規定する筋血流量の加齢による変化
運動の持続を規定する因子はいくつかあるが、ここでは酸素運搬系と酸素利用系に対する加齢の影響を検討する。

局所的な筋のワークキャパシティは、活動筋の酸素摂取量と密接な関係にあり、活動体肢への血

Fig. 4. The critical load for marked blood pressure elevation in older women. (Kagaya et al. 2001)
*, **: $P < 0.05, 0.01$, vs 50 s
: $P < 0.01$, vs 60 s

液供給量が規定因子となる^{24,25)}。そこで、高齢者の局所筋作業能力を酸素供給能の指標である血流量から検討したい。血流量に対する加齢の影響を調べた研究は最近多くなっているが、結果は必

ずしも一致していない。異なる結果が得られた大きな理由として、循環器等の疾患あるいは危険因子の高い対象者が厳密に除外されているか否か²⁴⁾、高齢者群に後期高齢者が含まれているか否か等、対象者の特性の相違があげられる。また、どのような条件下での血流量を調べているかによっても結果は変わる。安静時か運動時か、後者であれば最大下か最大負荷か、また、動脈閉塞後の充血状態から代謝性の最大血管拡張を調べているか、運動時の最高血流量を見ているか等によっても異なる。はじめに、安静時の骨格筋への血流量についてみると、高齢者でも相違はないとする報告^{23,26)}に対し、高齢者で有意に低下するとの報告^{24,27)}もあり (Fig. 5)、結果は一致していない。局所的作業能と最も関係の深いのは運動時の最高血流量か最大血管拡張能である。前者に関して、局所的運動時の活動肢血流量が加齢に伴ってどのように変化するかに関しては、必ずしも一致した見解は得られていない。しかし、これまでの知見をみると、物理的強度が一定で最大に近い強度 (90% $\dot{V}O_2\max$) のサイクリング運動では、運動時下肢血流量が高齢者では減少する²⁸⁾が、日常の身体活動が活発な高齢者では若年者と同様に維持される²⁹⁾とされている。片脚の膝伸展運動時の血流量も若年者と高齢者の間に差はみられない³⁰⁾。上肢の血流量については、掌握運動時の前腕への血流量が若年者と同レベルに保たれている^{23,26,31)}とする報告もある。Fig. 6 は多段階負荷テストによって求めた上腕動脈の最高血流量の

Fig. 5. Femoral artery blood flow at rest in young and older healthy men. (Dinno et al. 1999)

* $P < 0.005$.

年齢比較である。安静時および最高血流量には年齢間に有意差はみられなかった。したがって、心拍出量が影響しないような小筋群運動では高齢者であっても、活動筋への血流量は若年者と同程度に保たれる可能性が高い。しかし、高齢者では血管壁厚が肥大し、それが交感神経活動を亢進させ、血管抵抗が高くなること³²⁾、安静時の筋交感神経活動が亢進し、それは血流量と相関関係にある³²⁾ことに加えて、加齢に伴って血管が硬化すること³³⁾、血管内皮細胞依存の血管拡張能が低下すること³⁴⁾を考え合わせると、酸素運搬能は高齢者では低下する可能性もあると推測される。また、これらの研究が指摘しているように高齢者では血圧が上昇し、血流量の低下を認めない報告においても、高齢者の血管コンダクタンスの低下は認められている^{23,24,26)} (Fig. 6)。したがって、小筋群運動では、高齢者でも (少なくとも60歳代までは) 若年者と同レベルに血流量が確保されているとしても、循環システム全体としてみると高齢者では大きな負担になっていると考えることができる。それは高齢者が局所的な運動持続する能力 (筋作業能) が低いことにつながる。すなわち、高齢者では酸素輸送にとって不利な条件を有して

Fig. 6. Exercise-induced peak blood flow and vascular conductance of brachial artery during hand-grip exercise in younger and older women. (Kagaya and Homma 1997).

いることになる。これまでの研究で対象とすることが少なかった後期高齢者を含めて、さらに検討すべき課題として残されている。

一方、筋での酸素の利用を規定する酸化酵素活性は高齢者では低下するし、筋の酸化能力は高齢者では低くなる^{35,36)}。しかし、その低下は筋特異的であり、部位によって異なる³⁶⁾。また、ミトコンドリア量も有意に減少³⁵⁾する。したがって、高齢者の骨格筋では、若年者と比べて筋での酸素の利用能も低下し、血流量の低下がなくても酸素消費能力を低下させる。血流量の低下があれば、酸素供給能が低下する分、さらに運動持続能にとっては不利な条件になる。

身体活動量が筋作業能に及ぼす影響

疲労閾値以下という低強度の掌握運動を用いたトレーニングはパフォーマンスの向上を起こすことが示されている³⁷⁾。また、規則的なトレーニングは高齢者(60~80歳)の活動筋への血流量を増加させる³⁸⁾。このような知見は、高齢者の筋作業能にトレーニング能力のあることを示している。

次に、日常生活が活動的であれば、筋作業能の低下を防ぐことができるか否かをパフォーマンスとそれを支える酸素運搬能とから検討した。はじめに、血圧が急上昇を開始する負荷と日常的な身体活動量(歩数)との関係を高齢女性について検討した⁹⁾。その結果、両者の間には有意な相関関係が認められた。しかし、身体活動量は加齢に伴っ

て低下する。そこで、高齢者にみられる筋作業能力の低下は、身体活動量の低下によるものか、加齢の影響なのかが検討されている。Olive ら²³⁾は、平均年齢73±7歳の高齢者と26±6歳の若年者を、身体活動活発群と非活発群にわけて動脈閉塞後の大腿動脈最高血流量を比較した(Fig. 7)。安静時には血流量、コンダクタンスともに群間で有意な差がなかったが、最高血流量増加能を除脂肪体重量で正規化すると活動レベルによって有意差が見られた。しかし、年齢とは関係がなかった。また、血流量の回復時間は身体活動状態とは関係なく、年齢と関係し、血管コンダクタンスは活動性と年齢の両方に関係していた。また、持久性トレーニングを行っている高齢者であっても、若年者と比較すると有意な血流量の低下があると報告されている²⁸⁾。したがって、筋の作業能は加齢と身体活動の両因子によって影響を受けると考える方が妥当であろう。

ま と め

本総説では、高齢者の筋作業能力について、評価法、加齢の影響、筋作業能に対する筋血流量の影響、身体活動量の影響に関するこれまでの知見を整理し、問題点と今後の課題を明らかにした。最大筋力に対して相対的に同じ負荷を与えて測定した作業の持続時間や最大筋力を繰り返し発揮してその低下率から作業能を評価すると、高齢者でも若年者と顕著な相違の見られないことが多い。高齢者を対象とした筋作業能の評価は、最大能力

Fig. 7. Maximal blood flow for aging effects on left and activity effects on right (Means ±SD) (Olive et al. 2002).

& : Active and inactive groups are significantly different at $p < 0.001$.

YA : young active, YI : young inactive, OA : older active and OI : older inactive.

よりも、破綻なく作業を続ける能力をとらえる必要があり、そのひとつの方法として、血圧が急上昇する負荷を調べる最大下テストが提案されている。この方法で作業能を見ると、高齢者では有意に減少し、その背景となる様々な生理学的変化が論議されている。その中で酸素運搬能を決める血流量に関しては、安静時および運動時共に、加齢で低下するかどうかに関しては、まだ明確な結論は出ていない。日常生活が活発である集団、あるいは定期的なトレーニングを行っている者でも加齢に伴う筋作業能の低下は避けられないが、低下は抑制される。高齢者の筋血流量の低下は、加齢の影響よりも、日常的な身体活動量の低下による方が大きいことも報告されており、両因子を分離して捉えることが必要である。また、加齢や日常生活の身体活動量の影響は、筋によっても異なることも示されており、その点についても今後の課題である。

本総説に用いた研究成果の一部は、平成11～16年度に実施される文部科学省科学技術振興調整費(代表村上和雄)により実施されたものである。ここに記して感謝する。

文 献

- 1) Bembien, M. G., Massey, B. H., Bembien, D. A., Misner, J. E. and Boileau, R. A. Isometric intermittent endurance of four muscle groups in men aged 20-74 yrs. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1996) **28**, 145-154.
- 2) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子. 血流量からみた筋持久力. *体育の科学* (1965) **15**, 201-206.
- 3) Start, K. B. and Graham, J. S. Relationship between the relative and absolute isometric endurance of an isolated muscle group. *Res. Quart.* (1964) **35**, 193-204.
- 4) Monod, H. and Scherrer, J. : The work capacity of synergic muscular group. *Ergonomics* (1965) **8**, 329-338.
- 5) 加賀谷淳子, 岩村英吉 : 筋力低下曲線と1/3MVC負荷による最大作業回数からみた筋持久力の比較. *体育科学* (1989) **17**, 1-7.
- 6) Mosso, A. : *Über die Gesetze der Ermüdung Untersuchungen an Muskeln der Menschen.* *Arch. f. Physiol.* (1890) Leipzig, 89-168.
- 7) Lindstrom, B., Lexell, J., Gerdle, B., Downham, D. Skeletal muscle fatigue and endurance in young and old men and women. *J. Gerontol.* (1997) **52A**, B59-B66.
- 8) Moritani T, Takaishi T, Matsumoto. T. Determination of maximal power output at neuromuscular fatigue threshold. *J Appl Physiol* (1993) **74**, 1729-1734.
- 9) Kagaya, A., Muraoka, Y., Matsuda, M., Kuno, S., Shimizu, S., Yamamoto, Y., Kera, N. and Kimura, Y. Forearm work capacity in association with age and daily physical activity in elderly women. *Proceedings of the 4th symposium on inactivity.* edited by Gunji, A. (2001) pp 61-66, Seigakuin University Press.
- 10) Kagaya, A. and Kuno, M. Brachial arterial blood flow, measured using Doppler ultrasound method, and blood pressure during static handgrip contraction at different exercise intensities. *J. Exerc. Sci.* (1993) **3**, 13-20.
- 11) Sejersted, O. M., Hargens, A. R., Kardel, K. R., Blom, P., Jensen, O. and Hermansen, L. Intramuscular fluid pressure during isometric contraction of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1984) **56**, 287-295.
- 12) Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, P. and Cerretelli, P. Blood lactate accumulation and muscle oxygenation during incremental exercise. *J. Appl. Physiol.* (1999) **87**, 348-355.
- 13) Syström, D. M., Kanarek, D. J., Kohler, S. J., Kazemi, H. ³¹P nuclear magnetic resonance spectroscopy study of the anaerobic threshold in humans. *J. Appl. Physiol.* (1990) **68**, 2060-2066.
- 14) Petrofsky, J. S., and Lind, A. R. Aging, isometric strength, endurance and cardiovascular responses to static effort. *J. Appl. Physiol.* (1975) **38**, 91-95.
- 15) Kagaya, A. Maximal exercise-induced vasodilatation and pulmonary oxygen uptake during dynamic forearm and calf exercise. *J. Exerc. Sci.* (1994) **4**, 55-62.
- 16) Lee, G. K., Chan, C. C. and Hui-Chan, C. W. Consistency of performance on the functional capacity assessment: static strength and dynamic endurance. *Am. J. Phys Med Rehabil* (2001) **80**, 189-195.
- 17) Shinohara, M., Keenan, K. G. and Enoka, R. M. Contralateral activity in a homologous hand muscle during voluntary contractions is greater in old adults. *J. Appl. Physiol.* (2003) **94**, 966-974.
- 18) 大中政治. 静的筋持久力の性差・年齢差について. *体力科学* (1977) **26** : 159-164.
- 19) Chan, K. M., Raja, A. J., Strohscheinm F. J., and Lechelt, K. Age-related changes in muscle fatigue resistance in humans. *Can J Neurol Sci.* (2000) **27**, 220-228.
- 20) Clarkson, P. M., Kroll, W., and Melchionda, A. M. Age, isometric strength, rate of tension development and fiber type composition. *J Gerontol* (1981) **36**, 648-653.
- 21) Grimby, G., Danneskiold-Samsøe, B., Hvid, K., and Saltin, B. Morphology and enzymatic capacity in arm and leg muscles in 78-81 year old men and women. *Acta Physiol Scand* (1982) **115**, 125-134.
- 22) Bilodeau, M., Henderson, T. K., Nolte, B. E., Pursley,

- P. J., Sandfort, G. L. Effect of aging on fatigue characteristics of elbow flexor muscles during sustained submaximal contraction. *J Appl Physiol* (2001) **91**, 2654-2664.
- 23) Olive, J. L., DeVan, A. E. and McCully, K. K. : The effects of aging and activity on muscle blood flow. *Dynamic Medicine* (2002) 19 Dec (<http://www.dynamic-med.com/content/1/1/2>)
- 24) Dinunno, F.A., Jones, P. P., Seals, D. R., and Tanaka, H. Limb blood flow and vascular conductance are reduced with age in healthy humans : relation to elevations in sympathetic nerve activity and declines in oxygen demand. *Circulation* (1999) **100** : 164-170.
- 25) 猪飼道夫, 田口貞善. 筋の酸素摂取量と作業能力. *体育の科学* (1968) **18**, 128-134.
- 26) Kagaya, A. and Homma, S. Brachial arterial blood flow during handgrip in young and elderly women. *J. Exerc. Sci.* (1997) **7**, 18-26.
- 27) Martin, W. H., Ogawa, T., Kohrt, W. M., Malley, M. T., Korte, E., Kieffer, P. S., and Schechtman, K. B. Effects of aging, gender, and physical training on peripheral vascular function. *Circulation* (1991) **84**, 654-664.
- 28) Proctor, D. N., and Joyner, M. J., Reduced leg blood flow during dynamic exercise in older endurance-trained men. *J. Appl. Physiol.* (1998) **85**, 68-75.
- 29) Proctor, D. N., Newcomer, S. C., Koch, D. W., Le, K. U., MacLean, D. A., and Leuenberger, U. A. Leg blood flow during submaximal cycle ergometry is not reduced in healthy older normally active men. *J Appl Physiol* (2003) **94**, 1859-1869.
- 30) Magnusson, G., Kaijser, L., Isberg, B., and Saltin, B. : Cardiovascular responses during one- and two-legged exercise in middle-aged men. *Acta Physiol Scand.* (1994) **150**, 353-362.
- 31) Jasperse, J. L., Seals, D. S. and Callister, R. Active forearm blood flow adjustments to handgrip exercise in young and older healthy men. *J. Physiol.* (1994) **474**, 353-360.
- 32) Dinunno, F. A., Jones, P. P., Seals, D. R., and Tanaka, H. Age-associated arterial wall thickening is related to elevation in sympathetic activity in healthy humans. *Am. J. Physiol. Heart and Circulation* (2000) **278** : H1205-H1210.
- 33) Vaitkevicius, P. V., Fleg, J. L., Engle, J. H., O'Connor, F. C., Wright, J. G., and Lakatta, L. E. : Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation* (1993) **88** : 1456-1462.
- 34) DeSouza, C. A., Shapiro, L. F., Clevenger, C. M., Dinunno, F. A., Monahan, K. D., Tanaka, H., and Seals, D. R. Regular aerobic exercise prevents and restores age-related decline in endothelium-dependent vasodilatation in healthy men. *Circulation* (2000) **102**, 1351-1357.
- 35) Conley, K. E., Jubrias, S. A., Esselman, P. C. Oxidative capacity and ageing in human muscle. *J Physiol.* (2000) **526**, 203-210.
- 36) Houmard, J. A., Weidner, M. L., Gavigan, K. E., Tyn dall, G. L., Hickey, M. S., and Alshami, A. Fiber type and citrate synthase activity in the human gastrocnemius and vastus lateralis with aging. *J Appl Physiol.* (1998) **85**, 1337-1341.
- 37) 本間幸子, 加賀谷淳子 : 疲労閾値以下のトレーニングが循環・代謝機能に及ぼす効果. *デサントスポーツ科学* (1995) **16** : 242-251.
- 38) Beere, P. A., Russell, S. D., Morey, M. C., Kitzman, D. W., and Higginbotham, M. B. Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation* (1999) **100** : 1085-1094.