体幹筋における持続的な等尺性筋収縮時の循環応答 加速度脈波指標を用いた解析

大 下 和 茂^{1,2)} 柳 本 有 二²⁾ 川 上 雅 之¹⁾
戎 利 光³⁾ 押 田 芳 治⁴⁾

THE CIRCULATION RESPONSE DURING CONTINUOUS ISOMETRIC CONTRACTION ON TRUNK MUSCLE — ANALYSIS BY A SECOND DERIVED OF PHOTOPLETHYSMOGRAM WAVEFORM INDEX —

KAZUSHIGE OSHITA, YUJI YANAGIMOTO, MASAYUKI KAWAKAMI,
TOSHIMITSU EBISU and YOSHIHARU OSHIDA

Abstract

The purpose of this study was to investigate the circulation responses(heart rate(HR), systolic blood pressure(SBP)and second derivative of photoplethysmogram waveform index($|d/a|$)) during 90 seconds continuous isometric contraction on trunk muscle. Subjects were 10 healthy male(22 ± 1 years). Subjects performed 90 seconds continuous isometric contraction on Rectus Abdominus. Contraction intensity was $55.4 \pm 13.8\%$ maximal voluntary contraction.

HR and SBP were a significant increase after contraction beginning, immediately. $|d/a|$ (one of the peripheral blood vessel contraction index) was a significant increase at 60 seconds after contraction beginning. After that, HR was an increase more, $|d/a|$ showed a decline tendency. But, SBP was an increase more.

The followings are suggestive by these results. When the contraction beginning, HR was increased immediately by central command, muscle mechano reflex and so on. The other hand, the peripheral blood vessel contraction was late by the accumulation of metabolism product from active muscle was late. When the prolong contraction time, the peripheral blood vessel was extension. But, SBP was increased more by increasing the cardio output, muscle tension and so on.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2006, 55 : 513~520)

key word : isometric contraction, second derivative of photoplethysmogram, circulation response, trunk muscle

I . は じ め に

等尺性筋収縮時の循環反応について報告した研究は多い^{1~12)}。これらの報告は、上肢筋群(ハンドグリップ運動や肘屈曲運動など)^{1~7)}や下肢筋群(膝

伸展運動や足関節底屈運動など)^{8~10)}をモデルとしている。もっとも、実際の運動は、これらの筋群のみで遂行されることは少なく、体幹筋をはじめとする大筋群が動員されると考えられる。しかし、体幹筋における等尺性筋収縮時の循環応答について報告

¹⁾倉敷芸術科学大学大学院 人間文化研究科 人間文化専攻人間・環境科学系
〒712-8505 岡山県倉敷市連島町西之浦2640

(有)うみのほし 内(特)うえるねす・コア 21
〒674-0063 兵庫県明石市大久保町八木字家の北654-3

²⁾兵庫大学 健康科学部 健康システム学科
〒675-0195 兵庫県加古川市平岡町新在家2301

³⁾福井大学 教育地域科学部
〒910-8507 福井県福井市文京3-9-1

⁴⁾名古屋大学 総合保健体育科学センター
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

Graduate School of Science and the Humanities, Kurashiki University of Science and the Arts

UMINOHOSHI Co., Ltd.

Faculty of Health Science, Hyogo University

Lab. of Human Sciences, Department of Lifelong Learning, Faculty of Education and Regional Studies, University of Fukui
Research Center of Health, Physical Fitness, and Sports, Nagoya University

した研究は少ない^{11,12)}。

運動時の筋活動様式は、大きく静的筋収縮および動的筋収縮に分けることができる。このうち静的筋収縮は、動的筋収縮に比べ筋交感神経活動(MSNA)の変化が大きいことが報告されている^{1,8)}。また、血圧は、活動筋における最大筋収縮力の比率(%MVC)²⁾、活動筋の大きさ^{3,11)}、そして活動筋群の数⁹⁾に影響される。そのため、体幹筋をモデルとした等尺性筋収縮時の循環応答は、多くの研究で用いられている四肢の筋群をモデルとした運動と異なる変化を示すことが考えられる。白土らは、20秒間の体幹回旋筋等尺性収縮と心拍数および収縮期血圧について報告している¹¹⁾。また、運動時間が延長した場合について、大下ら¹²⁾は、90秒間の体幹筋等尺性筋収縮と心拍数および収縮期血圧について報告している。血圧は、心拍出量と末梢血管抵抗の変化に影響されるが、これらの報告は、心拍数と血圧を調べており、体幹筋等尺性筋収縮時の血管反応を含めた循環応答は明確でない。

そこで本研究は、90秒間の体幹筋における等尺性筋収縮時の循環応答について、心拍数、血圧そして加速度脈波指標^{13~18)}を用い、血管壁の機能的緊張度について検討を加えた。

Ⅱ. 対 象

対象は、実験の内容について事前に説明を行い、同意の得られた男子学生10名(平均年齢 22 ± 1 歳)であった(Table 1)。被験者には、事前に実験趣旨を説明した上で、書面にて同意を得た。なお、本研究は、ヘルシンキ宣言の趣旨に則り(特)うるねす・コア21 健康科学研究室実験指針に従い実施した。

Table 1. Physical and physiological characteristics of subjects.

Age (yrs)	22 ± 1
Height (cm)	171.4 ± 4.7
Weight (kg)	63.2 ± 3.9
Heart Rate (beats/min)	59.0 ± 5.7
Systolic Blood Pressure (mmHg)	113.8 ± 11.8
d/a	0.08 ± 0.06
%MVC (during contraction on Rectus Abdominus)	55.4 ± 13.8

(N=10)

(Values are mean ± S. D.)

Figure 1. Experimental protocol.

The arrows indicate that measured HR, SBP and DP, respectively.

Ⅲ. 方 法

実験は、大下らの研究¹²⁾より以下のように行った。

A. 被験者に対し、以下のような実験を行った (Figure 1)。

- 1) 仰臥位において安静を保つ。
- 2) 膝を立てた仰臥位において、両腕を胸の前に組み、腰背部を浮かせた状態を90秒間維持する。
- 3) 仰臥位において120秒間の安静を保つ。なお、対象者には、体幹筋等尺性収縮時のバルサルバ現象を避けるため、呼吸を止めないよう指示した(Picture 1)。

B. 循環応答の評価

循環応答は、心拍数(HR)、収縮期血圧(SBP)および加速度脈波を運動前安静時、運動開始30, 60および90秒後、運動終了30, 60および120秒後に測定した。HRは、基礎医学研究システム、Bio Log (DL-1000, S & ME)より心電計を用い、胸部双曲誘導より得られた心電図より算出した。SBPは、脈波コロトコフ音記録計(GP-303; PARAMA-

Picture 1. The form of isometric contraction on trunk muscle.

TECH)を用いて、左上腕にカフを装着し計測した。加速度脈波は、加速度脈波計(SDP-100; FUKUDA DENSHI)を用いて、脈波センサを右第二手指に装着し、指尖容積脈波および得られた指尖容積脈波を二次微分した、加速度脈波を同時に求めた。得られた加速度脈波は、Figure 2 に示すように、初期陽性波が a 波、それに続く陰性波が b 波、再上昇波が c 波、再下降波が d 波、さらに続く上昇波が e 波である。これら各波形は、a および b が、左心室から血液駆出に対して発生した圧波の部分(駆動圧波)を反映し、c および d が、その駆出圧が末梢に伝搬し、反射して戻ってきた圧波(反射圧波)の部分(反射圧波)を反映している¹³⁾(Figure 2)。このうち、駆動圧波に対する反射圧波の割合、すなわち $|d/a|$ は、血管壁の機能的緊張度を示す^{13~17)}ことが報告されており、本研究では、末梢血管抵抗の一指標として本指標を採用した。

指尖容積脈波と加速度脈波の左右差を調べた研究¹⁸⁾では、左に比べ右で若年パターンを示すことが報告されているため、その点を考慮する必要がある。さらに、同研究において、体位の違いを検討した結果、座位および仰臥位において一定の傾向は見

Figure 2. Second derivative of the plethysmogram waveform and mechanism.

a wave : early systolic positive wave

b wave : early systolic negative wave

c wave : late systolic re-increasing wave

d wave : late systolic re-decreasing wave

“a & b wave” are included in the early systolic time phase, and are the pressure wave that occur as the initial response of the blood vessels to the ejection of blood from the left ventricle. “c & d wave” are the descending of the pressure wave that re-ascends as the result of a reflected wave¹³⁾.

られなかったと報告しているため、仰臥位での測定は、問題がないと思われる。

C. 筋活動の評価

筋活動は、基礎医学研究システム, Bio Log (DL-1000, S & ME)より、表面筋電図を用い測定した。被験筋は腹直筋とし、測定部位は左側とした。最大随意等尺性筋収縮(MVC)の測定は、以下のように行った。膝を立てた仰臥位にて、肩甲骨を浮かせた状態から、体幹部を最大に屈曲しようとする力発揮に対し徒手抵抗で負荷をかける。これを3秒間行い筋放電が一定水準に達した1秒あたりの平均筋放電量を採用した。

全てのEMGは、直径15mmのディスプレイ電極を電極間距離20mmで被験筋に貼付し、双曲誘導により測定した。なお、サンプリング周波数は、1000 Hzとした。

得られたEMG信号は、パーソナル・コンピューターにおいて、専用ソフト(m-Scope ver 1.7.3.1)を用い、全波整流した後、単位時間当たりの平均積分値(iEMG)を算出した。運動中のiEMGは、MVC発揮中のiEMGで正規化(%MVC)することで、筋活動水準として利用した。

D. 統計処理

統計処理は、統計処理ソフト Stat Flex(ver 5.0)を用いた。

各循環系指標は、安静時に対する各ステージとの比率を一標本t検定により比較検討を行った。なお、統計的有意水準は、5%未満とした。

IV. 結 果

筋収縮中における腹直筋の筋活動水準は、 $55.4 \pm 13.8\%$ であった(Table 1)。

HRは、筋収縮開始から収縮終了まで上昇を続け、安静時と比べ収縮開始から終了まで、また、収縮開始30秒目と90秒目との間に有意差がみられた。収縮後30秒目では、収縮中に比べ低下し、収縮後120秒目に安静時とほぼ同じ値になった(Figure 3)。

SBPは、筋収縮開始から収縮開始90秒目まで有意な上昇を示し、収縮後30秒目では、収縮中に比べ低下するが、収縮後120秒目においても安静時より高い値を示した(Figure 4)。

Figure 3. Changes in heart rate during and after 55.4% MVC isometric contraction on trunk muscle from pre contraction.

* indicate significant difference between "pre contraction", † indicate significant difference between "contraction 30", ‡ indicate significant difference between "contraction 60" and ¶ indicate significant difference between "contraction 90", $P < 0.05$, respectively.

Figure 4. Changes in systolic blood pressure during and after 55.4% MVC isometric contraction on trunk muscle from pre contraction.

* indicate significant difference between "pre contraction", † indicate significant difference between "contraction 30", ‡ indicate significant difference between "contraction 60" and ¶ indicate significant difference between "contraction 90", $P < 0.05$, respectively.

$|d/a|$ は, 筋収縮開始から収縮開始60秒目まで上昇を続け, それ以降低下する傾向を示し, 安静時と比べ収縮開始60秒目および90秒目で有意に高い値を示した. 収縮後30秒目では, 安静時とほぼ同じ値まで低下し, 収縮後120秒目では, 安静時より低い値を示した (Figure 5).

V. 考 察

本研究は, 体幹筋等尺性筋収縮時の循環応答について調べる事であった. 体幹筋における等尺性筋収縮と循環応答に関する先行研究では, 心拍数と血圧の変化を観察している^{11,12)}. しかし, 血圧を決定

Figure 5. Changes in $|d/a|$ during and after 55.4% MVC isometric contraction on trunk muscle from pre contraction.

* indicate significant difference between "pre contraction", † indicate significant difference between "contraction 30", ‡ indicate significant difference between "contraction 60" and ¶ indicate significant difference between "contraction 90", $P < 0.05$, respectively.

する要因の一つである, 末梢血管抵抗については, 明らかでない. そこで, 本研究は, 90秒の腹直筋における約 55%MVC 強度の等尺性筋収縮時の循環応答として, 心拍数および血圧に加え, 加速度脈波指標を末梢血管抵抗の一指標として検討を加えた.

A. 加速度脈波指標について

加速度脈波は, 指尖容積脈波を二次微分したもので, 左心室からの血液駆出に対する末梢血管の変化を示しており, Figure 2 の様な波形が得られる. この各波形より, a および b は, 左心室から血液駆出に対して発生した圧波の部分(駆動圧波)を反映し, c および d は, その駆出圧が末梢に伝搬し, 反射によって再上昇した脈波の降下脚の状態を反映(反射圧波)している¹³⁾. 反射波は, 血管内圧の上昇を主体とした機能的血管壁緊張により強くなる. 以上から, 駆動圧波に対する反射圧波の割合, すなわち $|d/a|$ は, 血管壁の機能的緊張度を示す^{13~18)}ことが報告されている (Figure 2). 例えば, $|d/a|$ は, 年齢, 心周期, 平均血圧と高い関係性を示す¹⁵⁾. Takazawa et al.¹⁴⁾や Simek et al.¹⁵⁾の研究結果から, $|d/a|$ は, 20歳で0.1程度, 50歳で0.3程度, 75歳で0.5程度である事が読みとれる. また平均年齢54歳の男女を対象に nitroglycerin(末梢血管拡張剤)を舌下投与にすると, 反射波圧が小さくなり, $|d/a|$ の平均値が0.4から0.25に低下(先行研究では, d/a を採用している. d 波は負であるため d/a は, -0.4 から -0.25 へと増加する)し, 逆に angiotensin(末

梢血管収縮剤)を静注すると、反射波圧が大きくなり、 $|d/a|$ の平均値が0.4から0.62に増加(d/a の場合、 -0.4 から -0.62 へと低下)する事などが報告されている¹⁴⁾。以上から、本研究では、この指標を末梢血管抵抗の一指標として採用した。その結果、平均年齢22歳の男性が対象で、安静時の $|d/a|$ は、0.08であった。この値は、先行研究と同等か少し低いと考えられる。方法でも述べたように、加速度脈波の左右差を調べた研究¹⁸⁾において、左で測定した場合に比べ右で測定した場合は、若年パターンを示すことが報告されている。そのため、本研究においてもこの影響があったと考えられる。

B. 筋収縮開始初期の循環応答

運動開始に伴う循環応答として、血液を送り出す側である心拍出量は、運動開始に伴い、セントラルコマンド^{19,20)}や筋機械受容器反射²¹⁾を介し素早く増加する。本研究において、心拍出量の測定は行っていないが、HRは筋収縮開始30秒目で安静時より有意に増加を示した(Figure 3)。

一方、末梢においては、活動筋収縮による機械的圧迫²²⁾、筋交感神経活動などを介する非活動部位等の血管収縮⁵⁾および局所的な血管拡張作用²³⁾などにより、調節が行われる。本研究では、体幹筋収縮に対して、指尖の血管壁緊張度を測定したため、非活動部位の血管反応を反映していると考えられる。運動開始直前・直後における筋交感神経活動は、一過性に抑制されたり無反応期を示す事から、この時のセントラルコマンドは、骨格筋血管に対しては有意な働きをしていないと考えられている²⁴⁾。また、運動開始初期は、筋交感神経活動を高める活動筋からの反射を引き起こす代謝産物(例えば、乳酸など)の蓄積が遅れるため、筋交感神経活動は大きく高まらないと考えられている⁶⁾。30%MVC強度の静的掌握運動時の循環応答を調べた研究では、運動開始30秒において、筋交感神経活動や平均血圧の増加は見られなかったと報告している⁶⁾。しかし本研究において、SBPは、安静時に比べ運動開始から有意な増加を示し、血管壁機能的緊張度を示す $|d/a|$ は、安静時に比べ有意ではないものの上昇する傾向がみられた(Figure 4, 5)。これは、先行研究が30%MVCの掌握運動であったのに対し、本研究では、約55%MVCの腹直筋における運動という、

先行研究よりも高強度で大筋群の運動であった事から、代謝産物の蓄積が大きく非活動部位の血管壁機能的緊張度を増加させたことが考えられる。実際、MVC強度の掌握運動時における、筋交感神経活動や平均血圧は、運動開始20秒や30秒で高まることが報告されている^{6,7)}。また、白土ら¹¹⁾は、健康成人男性6名を対象に等尺性体幹回旋運動を20秒間行った結果、収縮期血圧は、安静時に比べ運動開始5秒後に増加傾向を示し、10秒後以降で有意に上昇したことを報告している。

C. 筋収縮開始60秒以降の循環応答

本研究において、HRは、筋収縮開始60秒目は、30秒目よりも有意ではないが増加傾向を示し、90秒目は、30秒目よりも有意に高くなった(Figure 3)。一般的に心拍出量は、運動強度が一定の場合、ある程度上昇するが、その後定常状態になる。本研究において、収縮90秒目においても、HRは上昇を続けていた事から、定常状態になる途上段階であったと考えられる。また、筋収縮による代謝産物の過度の蓄積が、化学受容器を介して心臓収縮性の向上などに作用していた²⁵⁾可能性も考えられる。

一方、非活動部位の血管壁機能的緊張度を示す $|d/a|$ は、筋収縮開始60秒以降、安静時よりも有意に増加するが、90秒目では、60秒目より低下する傾向がみられた(Figure 5)。この低下は、動脈圧反射による血管拡張作用²⁶⁾、血流増加による血流依存性の血管拡張作用²⁷⁾および疲労誘発性の生理的振戦¹⁰⁾などにより血管拡張因子が高まった可能性が考えられる。また、代謝産物の過度の蓄積が血管内皮細胞に働き、筋交感神経を介する血管収縮作用よりも血管拡張作用が高まった可能性も考えられるが、本研究結果からは、推測の域を超えない。

しかしSBPは、収縮開始から90秒目まで有意な上昇を続けた(Figure 4)。すなわち、収縮90秒目において、HRは増加し、非活動部位の血管壁機能的緊張度が低下したにも関わらず、SBPは、有意な上昇を続けた事になる。血圧は、心拍出量(一回拍出量 $\times$ 心拍数)と総末梢血管抵抗の積により決定される。このうち、心拍数は、収縮60秒目と比べ90秒目で若干の増加が見られる事から、一回拍出量も増加した可能性が考えられる。一方、末梢血管抵抗は、本研究で測定した $|d/a|$ をはじめとする血管の収

縮などの生理因子の他に, 筋の張力発揮による機械的圧迫などの物理因子が関係する. このうち後者として, 静的筋収縮を一定強度で持続した場合の筋放電活動は, 時間の経過に伴って増加することが知られている²⁸⁾. そのため, 活動筋収縮による張力発揮の亢進が機械的圧迫の増加を招き, 血管抵抗亢進により, 結果的に SBP を上昇させる一因になった可能性が考えられる. また, この作用は, 心臓への血液流入量を増加させ, 心拍出量を増加させたのかもしれない. いずれにせよ, これらの点に関して, 本研究結果から言及する事は難しく, 今後明らかにすべき課題であろう.

VI. ま と め

本研究は, 体幹筋における持続的な等尺性筋収縮時の循環応答を調べる事であった. 対象は, 10名の健常男子学生(22±1歳)であり, 約55%MVC強度の腹直筋等尺性筋収縮を90秒間行った. その結果, 心拍数(HR)および収縮期血圧(SBP)は, 収縮開始直ぐから増加した. 一方, 血管壁機能的緊張度($|d/a|$)は, 収縮開始60秒以降, 安静時と比べ有意な増加となる. 収縮開始時, HR は, セントラルコマンドや筋機械受容器反射などにより, すぐに増加すると考えられる. 一方, 非活動部位の末梢血管壁緊張度は, 筋交感神経活動を高める活動筋からの反射を引き起こす代謝産物の蓄積が遅れるため, 収縮開始から少し遅れ増加すると考えられる. 収縮を続けると, HR は増加し, $|d/a|$ は低下する傾向を示すが, SBP は増加した. これは, 一回拍出量の増加や活動筋収縮による機械的圧迫などの血管抵抗亢進に起因すると考えられる.

謝 辞

本研究に協力頂いた, 兵庫大学 健康科学部 健康システム学科の皆様へ深謝いたします.

(受理日 平成18年8月28日)

文 献

- Victor, R. G., Bertocci, L. A., Pryor, S. L., Nunnally, R. L. and Seals, D. R. Sympathetic nerve discharge is coupled to muscle cell pH during exercise in humans. *J. Clin. Invest.* (1988) **82**, 1301-1305.
- Seals, D. R. Sympathetic neural discharge and vascular resistance during exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* (1989) **66**, 2472-2478.
- Seals, D. R. Influence of active muscle size on sympathetic nerve discharge during isometric contractions in humans. *J. Appl. Physiol.* (1993) **75**, 1426-1431.
- Watanabe, H., Iwase, S. and Mano, T. Responses of sympathetic nerve activity to static biceps brachii contraction in humans. *Jpn. J. Physiol.* (1995) **45**, 123-135.
- Saito, M., Naito, M. and Mano, T. Different responses in skin and muscle sympathetic nerve activity to static muscle contraction. *J. Appl. Physiol.* (1990) **69**, 2085-2090.
- 斉藤 満, 酒井俊郎, 間欠的繰り返しハンドグリップ運動時の心循環応答と筋交感神経活動. *体力科学*, (2001) **50**, 417-424.
- Saito, M. and Sakai, T. Cardiovascular and muscle sympathetic nerve response during repeated static grip exercise. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* (2001) **50**, 417-424 (in Japanese).
- Hashimoto, M. and Saito, M. Initiation of increase in muscle sympathetic nerve activity delay during maximal voluntary contraction. *Acta. Physiol. Scand.*, (1998) **164**, 293-297.
- Saito, M. and Mano, T. Exercise mode affects muscle sympathetic nerve responsiveness. *Jpn. J. Physiol.*, (1991) **41**, 143-151.
- 丸山 仁, 負荷方法の相違による生理的反応. *運動生理*, (1988) **3**, 239-242.
- 田巻弘之, 荻田 太, 竹倉宏明, 斉藤和人, 倉田 博, 芝山秀太郎, 北田耕司, 中澤公孝, 静的筋収縮持続時の生理的振戦による筋放電活動並びに循環応答の変化. *日生誌*, (2003) **65**, 397-405.
- 白土瑞穂, 田中正一, 檜原貴雄, 明日 徹, 等尺性体幹回旋運動時の循環動態変動. *理学療法学*, (1994) **21**, 365-370.
- Shiratsuchi, M., Tanaka, S., Narahara, T. and Akebi, T. Cardiovascular Responses to Isometric Trunk Rotatory Exercise (in Japanese).
- 大下和茂, 柳本有二, 川上雅之, 体幹筋における, 持続的な等尺性筋収縮時の心拍数および血圧応答. *岡山体育学研究*, (2006) **13**, 21-24.
- Oshita, K., Yanagimoto, Y., Kawakami, M., The heart rate and blood pressure responses during continuous isometric contraction on trunk muscle (in Japanese).
- Oh-i, T., Okuda, T., Shimazu, H. and Watanabe, A. An experimental study of vascular dynamics by an acceleration plethysmogram using artificial circulation devices. *Life Sciences* (2002) **71**, 1655-1666.
- Takazawa, K., Tanaka, N., Fujita, M., Matsuoka, O., Saiki, T., Aikawa, M., Tamura, S. and Ibukiyama, C. Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative photoplethysmogram waveform. *Hypertens.* (1998) **32**, 365-370.
- Simek, J., Wichterle, D., Melenovsky, V., Malik, J.,

- Svacina, S. and Widimsky, J. Second derivative of the finger arterial pressure waveform: An insight into dynamics of the peripheral arterial pressure pulse. *Physiol. Res.*(2005) **54**, 505-513.
- 16) 小沢禎治, 反応性充血中の容積脈波, 速度脈波, 加速度脈波の変化による血管内皮機能の評価. *日本臨床生理誌*, (2001), **31**, 207-218.
Ozawa, T. Non-invasive assessment of vascular endothelial function using the fingertip photoplethysmogram during reactive hyperemia(in Japanese)
- 17) 高沢謙二, 池谷敏郎, 勝田新一郎, 血圧評価における脈波記録の有効性. *Medical Tribune*, (2004), **37**, 36.
- 18) 今野千秋, 久保井幸代, 内藤悦子, 太田喜夫, 高沢謙二, 藤田雅巳, 伊吹山千晴, 指尖容積脈波(PTG) と加速度脈波における体位の影響と左右差について. *日本臨床生理誌*, (1997), **27**, 90.
- 19) Decety, J., Jeannerod, M., Durozard, D. and Baverel, G. Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *J. Physiol.*, (1993) **461**, 549-553.
- 20) Mitchell, J. H. and Victor, R. G. Neural control of the circulation during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1990) **22**, 141-154.
- 21) Hollander, A. P. and Bouman, L. N. Cardiac acceleration in man elicited by a muscle-heart reflex. *J. Appl. Physiol.*(1975) **38**, 272-278.
- 22) Sheriff, D. D. and Bibber, R. V. Flow-generation capability of the isolated skeletal muscle pump. *Am. J. Physiol.*(1998) **27**, H1502-H1508.
- 23) Delp, M. D. and Laughlin, N. H. Regulation of skeletal muscle perfusion during exercise. *Acta. Physiol. Scand.*(1998) **162**, 411-419.
- 24) Saito, M. Transient responses of heart rate, skin, and muscle sympathetic nerve activity to muscle contraction. *Ann. Physiol. Anthropol.*(1992), **11**, 231-239, 1992.
- 25) O'Leary, D. S. and Augustyniak, R. A. Muscle metaboreflex increases ventricular performance in conscious dogs. *Am. J. Physiol.*(1998) **275**, H220-H224.
- 26) Sheriff, D. D., O'Leary, D. S., Scher, A. M. and Rowell, L. B. Baroreflex attenuates pressor response to graded muscle ischemia in exercising dogs. *Am. J. Physiol.*(1990) **258**, H305-H310.
- 27) Green, D., Cheeltham, C., Mavaddat, L., Watts, K., Best, M., Taylor, R. and O'Discoll, G. Effect of lower limb exercise on forearm vascular function: contribution of nitric oxide. *Am. J. Physiol.*, (2002), **283**, H899-H907.
- 28) Edwards, R. G. and Lippold, O. C. J. The relation between force and integrated electrical activity in fatigued muscle. *J. Physiol.*(1956) **132**, 677-681.