

Journal of
E*xercise*
S*cience*

Vol. 20

Research Institute of Physical Fitness
Japan Women's College of Physical Education

日本女子体育大学附属
基礎体力研究所紀要

2010

日本女子体育大学基礎体力研究所紀要

Journal of Exercise Science

Vol. 20 2010

目 次

〈研究報告〉

Very short-term maximal handgrip training does not alter conduit venoconstriction of the inactive limb during static exercise in women

…Anna Ooue, Marina Yoneya, Ai Hirasawa, Kohei Sato and Tomoko Sadamoto …… 1

Prior activation history effects on motor unit activity during constant force contraction at a low level

……………Mifuyu Kamo …… 8

ランニングにおける“ばね能力”の役割に関する研究～一過性のリバウンドジャンプ練習が呼吸循環機能に及ぼす影響に着目して～

……………佐伯 徹郎 …… 14

〈第20回研究フォーラム報告〉

基礎体力研究所における研究の動向と展望—学術フロンティア事業を踏まえて—

……………定本 朋子 …… 22

若手研究者による新たな挑戦

運動時における非活動肢の導管動脈と静脈の血流応答特性

……………大上 安奈 …… 30

運動時の脳血流調節におけるセントラルコマンドの役割

……………佐藤 耕平 …… 33

運動時の代謝・内分泌応答を手がかりにしたトレーニングの科学

……………後藤 一成 …… 35

筋発揮張力維持法（スロートレーニング）の効果とそのメカニズム

……………谷本 道哉 …… 38

特別講演

身体運動は生活習慣病予防にどこまで貢献できるか—運動疫学研究のエビデンスから—

……………澤田 亨 …… 40

〈ワークショップ報告〉

超音波で筋・皮脂厚を測る～超音波 B-mode 法による筋厚・皮下脂肪厚の測定～

.....村岡 慈歩..... 44

〈学術フロンティア推進事業報告（平成 16 年度～平成 20 年度私立大学学術研究高度化推進事業）〉

「運動時における循環調節機構の統合的解明－スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築に向けて－」最終成果報告書から抜粋

46

〈平成 21 年度事業報告〉

平成 21 年度事業報告

60

平成 21 年度研究業績

61

〈Journal of Exercise Science 寄稿規程〉

68

〈日本女子体育大学附属基礎体力研究所規程〉

69

〈研究報告〉

Very short-term maximal handgrip training does not alter conduit venoconstriction of the inactive limb during static exercise in women

ANNA OOUÉ, MARINA YONEYA, AI HIRASAWA, KOHEI SATO, and TOMOKO SADAMOTO

Abstract

The purpose of this study was to investigate whether very short-term maximal-intensity resistance training influence the superficial conduit venoconstriction of the inactive limb during static exercise. The training regimen involved 10-s static handgrip contractions performed at maximal effort, repeated 10 times between 10-s intervals for three sets per day, everyday for 1-wk. We determined the nondominant arm as trained hand, and dominant arm as control hand. Before (PRE) and after (POST) resistance training, subject performed following handgrip exercise test with trained and control hands randomly. 11 young female subjects performed 2-min isometric handgrip exercise at 35%MVC, and then the occlusion cuff rapped on exercising upper arm was inflated to supersystolic pressure (post-exercise muscle ischemia: PEMI). The cross sectional area (CSA) of the basilic vein of the inactive upper arm was measured by ultrasound technique. Maximal voluntary contraction (MVC) in the trained hand increased after training. During static exercise test in trained hand, heart rate (HR) and mean arterial pressure (MAP) during exercise increased significantly from baseline level ($P < 0.05$), and then HR returned to baseline level during PEMI, but the higher level of MAP remained during PEMI ($P < 0.05$). The venous CSA decreased significantly from baseline level during exercise ($P < 0.05$), and then returned to baseline level during PEMI. There were no significant differences in these variables between PRE and POST. During static exercise with control hand, the changes in all variables were similar to those in trained hand. These results suggest that 1-wk maximal-intensity resistance training does not alter the degree of superficial conduit venoconstriction of the inactive limb during static exercise.

Key words: Central command, Metaboreflex, Ultrasound technique

Introduction

Superficial conduit venous vessels of the inactive limb constrict during static exercise, and this venoconstriction is abolished

by the administration of the alpha-blocking agent phenoxybenzamine (Lorentsen 1975). In addition, *in vitro*, superficial venous vessels constrict by the direct stimulation of sympathetic nerve and treatment of norepinephrine (Abdel-Sayed et al. 1970; Webb-Peploe

and Shepherd 1968). Based on these studies, superficial conduit venoconstriction during exercise is thought to be modulated by sympathetic nerve system. During exercise the increase in sympathetic nerve activity is thought to be caused by central neural mechanism (central command) (Goodwin et al. 1972; Mitchell et al. 1989; Mitchell 1990) and reflex neural mechanism which is activated by exercise muscle reflexes (Mark et al. 1985; Rowell and O'Leary 1990; Victor et al. 1989).

Resistance training develops muscle force and delays the onset of muscle fatigue, which is probably mediated by both peripheral and central neural factors (Rube and Secher 1990; Sale 1988). Moreover, Saito et al. (2009) reported that short-term and maximal-intensity resistance training increased muscle sympathetic nerve activity during isometric handgrip, and the enhanced sympathetic nerve activity probably involves activation of the central nervous system rather than alteration of the metaboreflex. From these studies, short-term resistance training may lead the increase in central neural activity (i.e., central command) and result in greater sympathoexcitatory during exercise. Since the maximal voluntary contraction (MVC) should significant increase within 1-wk by resistance training (Del Balso and Cafarelli 2007), we hypothesized that the 1-wk maximal-intensity resistance training also increases in central neural activity and sympathetic nerve activity, and thereby alters the degree of superficial conduit venoconstriction of inactive limb during static exercise.

To verify our hypothesis, we evaluated the cross sectional area (CSA) of the inac-

tive upper arm during static exercise and post-exercise muscle ischemia (PEMI) before and after 1-wk maximal-intensity resistance training. Because both central command and exercise pressor reflex act during voluntary exercise, in order to dissociate their contributions, PEMI was carried out.

Methods

Subjects

Eleven healthy female volunteers participated in this study. Their mean age, height and weight were 21.2 ± 0.4 (SD) years, 159.0 ± 4.6 cm and 52.9 ± 7.4 kg, respectively. The purpose, procedures, and risks of the study were explained to the subjects and their informed consent was obtained. The study was approved by the Human Ethics Committee of the Japan Women's College of Physical Education, and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Maximal voluntary contraction

Before handgrip exercise test, all subjects performed two maximal voluntary contractions using a handgrip dynamometer and a higher value was defined as MVC to determine the relative workload (%MVC).

Resistance training

Subjects performed resistance training with the nondominant hand, and the dominant hand was used as control. The training regimen consisted of 10 repetitions of 10-s isometric handgrip contractions at maximal effort with a 10-s interval for three sets per day, everyday per week.

Handgrip exercise test

Before (PRE) and after (POST) resistance

training, subject performed handgrip exercise test with trained and control hands. Subjects rested in the sitting position for 20 min. After rest period, baseline data were recorded for 5-min and then each subject performed 2-min isometric handgrip exercise at 35%MVC. Immediately after static exercise, the occlusion cuff rapped on exercising upper arm was inflated to super-systolic pressure (220 mmHg). The trials with trained and control hands were performed randomly. In all trials, subjects controlled the respiratory frequency at 10 or 15 breaths/min by using a metronome, because the movements of respiration influence the sympathetic nerve activity.

Measurements

Mean arterial pressure (MAP) was measured noninvasively by photoelectric plethysmography with a Finometer (Finapres Medical Systems BV, Arnhem, The Netherlands). Furthermore, heart rate (HR) was determined from the blood pressure waveform using the Modelflow software program, incorporating sex, age, height and weight (Beat Scope 1.1; Finapres Medical Systems BV).

The longitudinal and transversal diameters (D_{long} and D_{trans}) in the basilic vein of the inactive upper arm were measured from images of transversal venous vessel using B-mode ultrasound with a mean transmission frequency of 8.7 MHz (Vivid e, GE Healthcare Japan, Tokyo, Japan). We attached carefully the probe to the skin in order not to compress the veins. After venous vessel images were recorded continuously, D_{long} and D_{trans} were determined three points per 30s during exercise and 60s during PEMI at random, and then

these points were averaged. The CSA was calculated from the formula; $CSA \text{ (mm}^2\text{)} = (D_{long}/2) * (D_{trans}/2) * \pi$.

Overall RPE and exercising arm (Arm) RPE at the end of protocol were monitored.

Data analysis and statistics

HR, MAP and venous CSA were averaged for 60-240 s before exercise as baseline value. The relative changes in these variables during exercise and PEMI from baseline was calculated. Data are expressed as the mean \pm standard deviation (SD).

To assess the baseline data of HR, MAP and venous CSA between PRE and POST, paired-t test was used. To compare the time-course changes in HR, MAP and venous CSA during handgrip exercise test, a two-way ANOVA with repeated measurements was applied to each parameter, using exercise time and conditions as fixed factors. To compare the values of HR, MAP and venous CSA from baseline to exercise, a one-way ANOVA was performed (Dunnnett tests when F values were significant). A value of $P < 0.05$ was considered significant.

Results

Table 1 shows the baseline data of HR, MAP and venous CSA for PRE and POST. At handgrip exercise test with trained and control hands, the baseline data of HR, MAP and venous CSA were similar between PRE and POST.

The MVC in trained hand increased significantly from PRE to POST (27.5 ± 4.3 to 29.6 ± 4.6 kp, $P < 0.05$), although the MVC

Table 1 The baseline values of HR, MAP and venous CSA before (PRE) and after (POST) resistance training.

	Trained hand		Control hand	
	PRE	POST	PRE	POST
HR (bpm)	70.3 ± 7.6	72.3 ± 10.6	70.6 ± 10.7	67.8 ± 8.1
MAP (mmHg)	79.1 ± 8.4	84.2 ± 7.5	81.7 ± 17.0	76.2 ± 8.2
CSA (mm ²)	23.7 ± 7.8	20.8 ± 7.1	23.0 ± 10.3	20.2 ± 6.2

Values are mean ± SD.

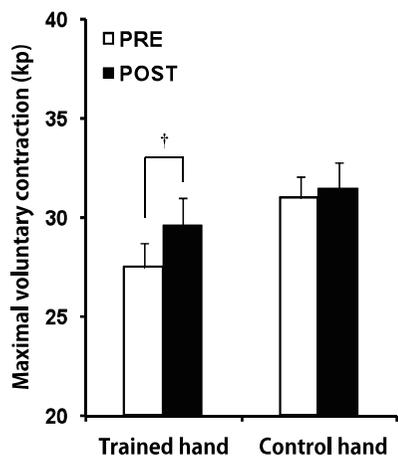


Fig. 1 The maximal voluntary contraction (MVC) before (PRE) and after (POST) resistance training. Values are means ± SD. †: $P < 0.05$, difference between PRE and POST.

in control hand was not different from PRE to POST (31.0 ± 5.2 to 31.4 ± 4.3 kp) (Fig. 1).

Fig. 2 shows the Overall RPE and Arm RPE. In both handgrip exercise test with trained and control hands, these RPEs were unchanged from PRE to POST.

Fig. 3 shows the HR, MAP and basilic venous CSA responses to the handgrip exercise test in PRE and POST. In handgrip exercise test with trained hand, HR increased significantly from baseline level during exercise ($P < 0.05$), and then returned to baseline level during PEMI at both PRE and POST. MAP increased significantly from baseline level during exercise ($P < 0.05$), and the higher value of MAP

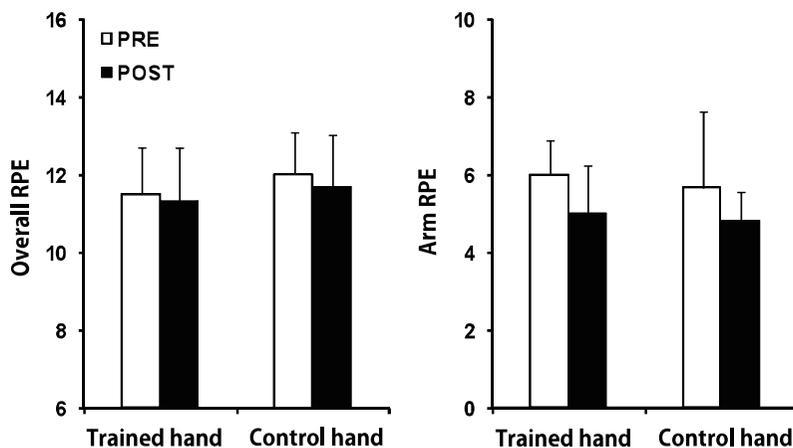


Fig. 2 Overall and exercising arm (Arm) rating of perceived exertion during static exercise before (PRE) and after (POST) resistance training. Values are means ± SD.

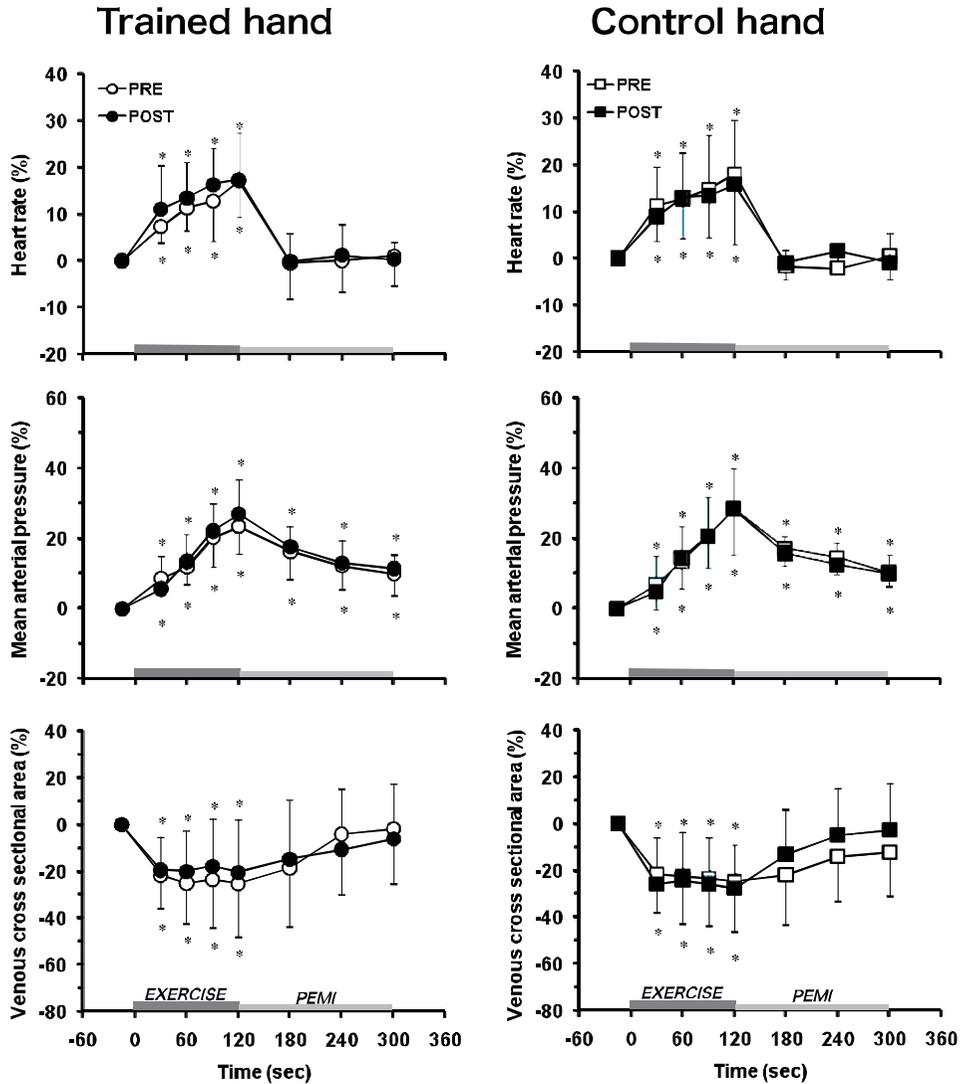


Fig. 3 The time courses of the heart rate, mean arterial pressure and venous cross sectional area of the inactive upper arm during static exercise and post exercise muscle ischemia (PEMI).

Values are mean \pm SD. * : $P < 0.05$, difference from baseline level.

remained during PEMI ($P < 0.05$) at both PRE and POST. There was no significant difference of HR and MAP between PRE and POST. In handgrip exercise test with trained hand, the venous CSA of the inactive upper arm decreased significantly from baseline level during exercise ($P < 0.05$), and then returned gradually to baseline

level during PEMI at both PRE and POST. The change in venous CSA also had no significant difference between PRE and POST. In handgrip exercise test with control hand, the changes in HR, MAP and venous CSA were similar to those in trained hand. And there were no significant difference between PRE and POST.

Discussion

We examined the effect of very short-term maximal-intensity resistance training on the superficial conduit venoconstriction of the inactive limb during static exercise. The primary finding in this study was that the changes in HR, MAP and venous CSA of the inactive limb during static exercise were similar before and after the 1-wk maximal-intensity resistance training, although the MVC in the trained hand increased after the training. These results suggest that the very short-term resistance training does not alter conduit superficial venoconstriction of the inactive limb during static exercise.

During handgrip exercise test with trained and control hands, venous CSA during static exercise decreased significantly from baseline level, but returned to baseline level during PEMI. The venomotor response is modulated actively by the sympathetic nerve system, and the increase in sympathetic nerve activity during exercise is thought to be caused by central neural mechanism (central command) (*Goodwin et al. 1972; McCloskey 1981; Mitchell et al. 1989; Mitchell 1990*) and reflex neural mechanism which is activated by exercise (mechano- and metabo-reflex) (*Mark et al. 1985; Rowell and O'Leary 1990; Victor et al. 1989; Wallin et al. 1989*). Because the venous CSA during PEMI was not different from baseline level, the decrease in venous CSA during static exercise might reflect active venoconstriction which is induced by the enhanced sympathetic nerve activity via central command and/or muscle mechanoreflex.

The MVC in trained hand was significantly greater in POST than that in PRE. The increased MVC in trained hand in the present study was not accompanied by neither HR and MAP responses nor CSA response. These results suggest that the adaptive time courses were different between somatic systems and autonomic systems. Because the superficial conduit venomotor is probably modulated by sympathetic nerve system (*Abdel-Sayed et al. 1970; Webb-Peploe and Shepherd 1968*), the training period in our study might be too short to cause the significant adaptation in sympathetic nerve activity and thereby in CSA.

Saito et al. (2009) reported that high-intensity resistance training causes the increase in muscle sympathetic nerve activity response during fatigue isometric handgrip, which probably involves activation of the central nervous system. Although our study used the static exercise at a constant duration, if the fatigue exercise was used, the enhanced sympathetic nerve activity via the increase in central command might be obtained, which is possible to induce the greater conduit venoconstriction of the inactive limb during exercise. Therefore we have to investigate furthermore the superficial conduit venomotor response of the inactive limb during fatigue exercise.

The venomotor response is controlled by not only sympathetic nerve system but also the change in transmural pressure (*Öberg 1967*). We cannot exclude the effect of change in transmural pressure on the venoconstriction during exercise.

In conclusion, circulatory and venous

CSA responses during static exercise did not change before and after 1-wk maximal-intensity resistance training, in spite of increase in MVC of the trained hand after training. These results suggest that very

short-term maximal-intensity resistance training does not alter superficial conduit venoconstriction of the inactive limb during static exercise.

References

- Abdel-Sayed, W.A., Abboud, F.M. and Ballard, D.R.*: Contribution of venous resistance to total vascular resistance in skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, **218**: 1291-1295, 1970.
- Del Balso, C. and Cafarelli, E.*: Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *J. Appl. Physiol.*, **103**: 402-411, 2007.
- Goodwin, G.M., McCloskey, D.I. and Mitchell, J.H.*: Cardiovascular and respiratory responses to changes in central command during isometric exercise at constant muscle tension. *J. Physiol.*, **226**: 173-190, 1972.
- Lorentsen, E.*: The venomotor response to static muscular exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **35**: 789-794, 1975.
- Mark, A.L., Victor, R.G., Nerhed, C. and Wallin, B.G.*: Microneurographic studies of the mechanisms of sympathetic nerve responses to static exercise in humans. *Circ. Res.*, **57**: 461-469, 1985.
- McCloskey, D.I.*: Centrally-generated commands and cardiovascular control in man. *Clin. Exp. Hypertens.*, **3**: 369-378, 1981.
- Mitchell, J.H.*: Neural control of the circulation during exercise. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **22**: 141-154, 1990.
- Mitchell, J.H., Reeves, D.R. Jr., Rogers, H.B., Secher, N.H. and Victor, R.G.*: Autonomic blockade and cardiovascular responses to static exercise in partially curarized man. *J. Physiol.*, **413**: 433-445, 1989.
- Öberg, B.*: The relationship between active constriction and passive recoil of the veins at various distending pressures. *Acta Physiol. Scand.*, **71**: 233-247, 1967.
- Rowell, L.B. and O'Leary, D.S.*: Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflex and mechanoreflexes. *J. Appl. Physiol.*, **69**: 407-418, 1990.
- Rube, N. and Secher, N.H.*: Effect of training on central factors in fatigue following two- and one- leg static exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, **141**: 87-95, 1990.
- Saito, M., Iwase, S. and Hachiya, T.*: Resistance exercise training enhances sympathetic nerve activity during fatigue-inducing isometric handgrip trials. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **105**: 225-234, 2009.
- Sale, D.G.*: Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **20**: S135-S145, 1988.
- Victor, R.G., Pryor, S.L., Secher, N.H. and Mitchell, J.H.*: Effects of partial neuromuscular blockade on sympathetic nerve responses to static exercise in humans. *Circ. Res.*, **65**: 468-476, 1989.
- Wallin, B.G., Victor, R.G. and Mark, A.L.*: Sympathetic outflow to resting muscles during static handgrip and postcontraction muscle ischemia. *Am. J. Physiol.*, **256**: H105-H110, 1989.
- Webb-Peploe, M.M. and Shepherd, J.T.*: Response of large hindlimb veins of the dog to sympathetic nerve stimulation. *Am. J. Physiol.*, **215**: 299-307, 1968.

〈研究報告〉

Prior activation history effects on motor unit activity during constant force contraction at a low level

MIFUYU KAMO

Abstract

The effect of prior activation history on motor unit (MU) activity was studied in vastus lateralis muscles of seven healthy volunteers during constant force contraction at a low level. The surface electromyography (EMG) in a 3% of maximal voluntary contraction (MVC) (CONT) was compared with that in a 3%MVC following 40%MVC (HIS) in knee extension. The MU activity was estimated using the integrated value of surface electromyography (IEMG). The IEMG in HIS was significantly lower than that in CONT even though the same force was developed. Furthermore, the lower IEMG in HIS remained until 3 min during the contraction. These results suggest that a low force contraction following a middle force contraction is conducted with less MU activity, probably because of hysteresis of muscle mechanical properties.

Key words: Electromyography, Muscle mechanical property, Hysteresis

Introduction

Motor unit (MU) activity is a result of the net effect of interaction between descending signals, intrinsic properties of neurons, and afferent feedback. Kimura et al. (2003) demonstrated that surface EMG in agonists were lower in the descending phase than in ascending phase during sinusoidal contraction at a low level (the amplitude of force between 0 and 15 %MVC) (cf. Fig. 2). This result is interpreted as evidence that the main factors dictating MU activity in the descending phase are the mechanical properties of muscles such as the tension

potentiation of twitch or tetanic muscle fibers and/or changes in contractile properties of muscle fibers with hysteresis in tendons. Suzuki et al. (1988) showed that, during sustained low-level contraction that was superimposed a brief middle-level contraction in elbow flexion, surface EMG in the biceps brachii muscle were significantly greater at the contraction following the middle-level contraction. The reason for the divergent finding is unclear. In the latter study, potentiation in muscle spindle afferent discharge was proposed to account for the increased MU activity because middle-level contraction produces little to no potentiation in muscle fiber contractile response

(Vandervoot *et al.* 1983). Consequently, the effect of prior contraction on MU activity during low-level contraction remains unclear.

This study was undertaken to determine effects of the middle-level force on surface EMG during low-level sustained contraction following the descending phase during triangular middle-level contraction.

Methods

Subjects

The subjects of this study were seven healthy women volunteers, aged 20.7 ± 0.5 years. The purpose and procedures were explained to the subjects before their consent to participate in the study was obtained. The Ethical Committee of the Japan Women's College of Physical Education (approval numbers 2003-2, 2005-4) approved all procedures used for this study, which were in accordance with the Declaration of Helsinki.

Experimental setting and force recording each subject was seated on a stool with the hip and knee joint at 90 deg. To record the force of knee extension force isometrically at the ankle, the lower leg was fastened with a metal plate connected at the ankle to a strain gauge (U3b1; Shinkoh Electronics Co. Ltd., Tokyo, Japan, 0.01V/N). The strain gauge output was fed into an amplifier (6M84; NEC San-ei Instruments Ltd., Tokyo, Japan).

EMG recording

A surface disc electrode (Ag/AgCl with 5 mm diameter) arrangement was used to record an EMG signal from the vastus lateralis muscle (VL). One electrode was

placed on the VL belly 10 cm above the superior border on the patella. The electrode was connected to the positive input of a differential amplifier (DPA2008PS; Dia Medical System, Tokyo, Japan). Its negative input was connected to an electrode placed on the skin surface overlying the patella. The EMG signals were amplified and filtered between 3 and 1 kHz.

Protocol

First, subjects performed three brief (3 s) maximal knee extensions, the highest of which was used to establish the maximal voluntary contraction (MVC). Intensity of a middle-level force preceding a low-level force and the subsequent low-level force were set at almost the same as Suzuki *et al.* (1988). **Fig. 1A** shows experimental protocols. The target force was 3%MVC. The subjects gradually increased muscle force to the target force at a rate of $1\%MVC \cdot s^{-1}$, and subsequently sustained the target force for 30 s (CONTpre). After CONT, a 4-s ramp up to 40%MVC was made, after which the force was decreased to the target value held constant for 3 min 10 s (HIS). The CONTpre and HIS were separated by a resting period of 3 min or longer. Additionally, on separate days, the subjects performed the target force sustained for 3 min 10 s following ascending ramp contraction at the same rate of force increment as CONT (CONTpro). The subjects voluntarily controlled the developing force on the target level through visual feedback provided from an oscilloscope placed in front of them. Several practice contractions were given to ensure that each subject was able to develop the force smoothly.

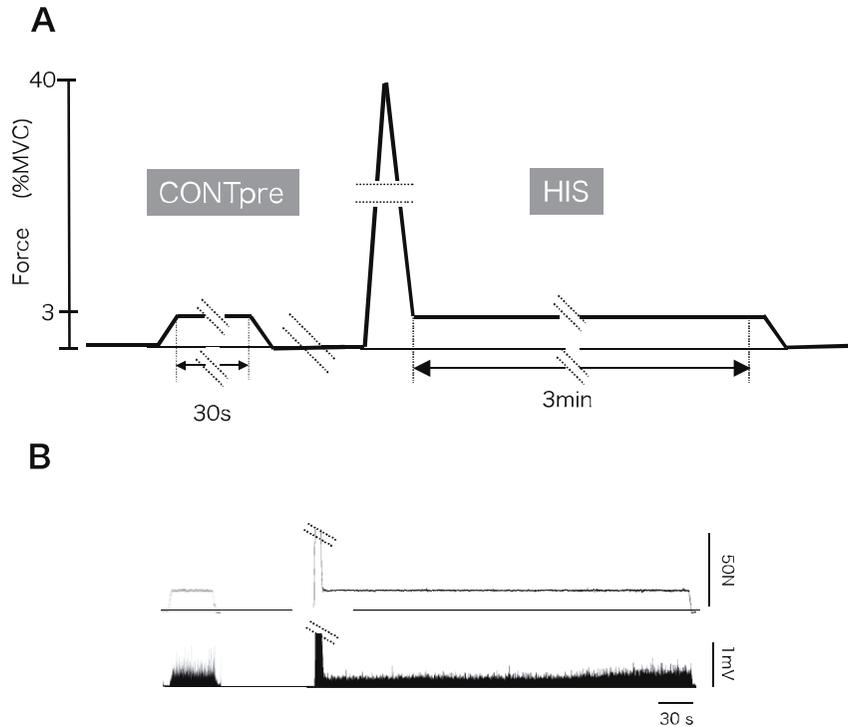


Fig. 1 A, Schematic representations of the experimental protocols (see the text for details); B, Representative data of CONTpre and HIS. Top and bottom traces, respectively, represent force and rectified EMG.

Table 1 Integrated value of EMG at initial phase during low-level sustained contraction

	CONTpre	HIS-INITIAL
IEMG ($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)	100.3 ± 30.8	75.1 ± 41.3

Values are means \pm SD

Data analysis

The EMG and force were digitized at 2 kHz and 100 Hz, respectively, using a 16-bit analog-to-digital converter (ADA16; Contec Co. Ltd., Osaka, Japan), and stored in a personal computer. The EMG were full-wave rectified. The integrated value (IEMG) was calculated for a period of 5 s at the onset during constant force contraction (INITIAL) in CONT, CONTpre, and HIS conditions, and at 3 min during constant force contraction (END) in CONT and HIS

(Fig. 1).

Statistical analysis

The difference of IEMG between CONTpre and HIS-INITIAL was evaluated using one sample t-test because the IEMG standardized value in CONTpre but MVC. In addition, one sample t-test was used to identify the significant difference between INITIAL and END because the increase in IEMG from INITIAL to END during the contraction represented in terms of value at INITIAL. The level of significance was defined as $P < 0.05$.

Results

The MVC was 383.8 ± 70.5 N (mean \pm SD, $n=7$). Table 1 shows IEMG value in

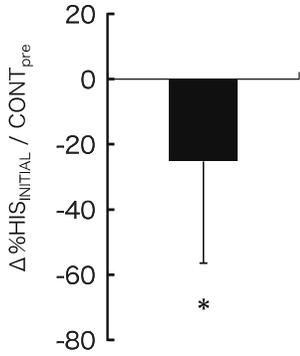


Fig. 2 Comparison of IEMG at the onset of constant force between CONT_{pre} and HIS. The downward column shows that IEMG were lower during HIS. The black column represents mean ± SD. The asterisk denotes a significant difference from the CONT_{pre} value.

CONT_{pre} and HIS-INITIAL. The differences in IEMG between CONT_{pre} and HIS-INITIAL are presented in Fig. 2. Five of the seven subjects had a lower IEMG in HIS-INITIAL. The remaining two showed an increase. The mean IEMG in HIS-INITIAL was significantly lower than that in CONT_{pre}.

Fig. 3 shows changes in the IEMG for 3 min during contraction in both CONT_{pre} and HIS. The IEMG was expressed in terms of the INITIAL value in each condition. The IEMG at END was significantly larger than that of INITIAL in CONT. In the HIS_{pro} condition, IEMG tended to increase with time, but no significant difference was found between INITIAL and END.

Discussion

Results of this study showed that surface EMG during low-level sustained contraction following middle-level contraction were lower than control contraction. The effect persisted for at least 3 min. These

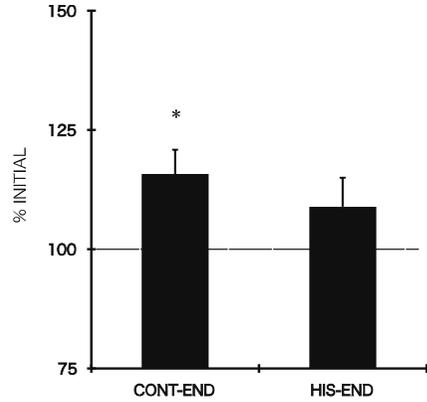


Fig. 3 Changes in IEMG from INITIAL to END during constant force contraction. Each column shows mean ± SD. The asterisk denotes a significant difference from INITIAL.

findings suggest that the main factor dictating MU activity during low-level sustained contraction following middle-level contraction may be enhancement of force production in muscle fibers.

The IEMG in HIS was significantly lower than in CONT, which indicates that lowered MU activity achieves the target force during HIS. Reportedly, during sinusoidal contraction, EMG was lower in the descending phase than in the ascending (Kimura *et al.* 2003). Consequently, it is possible that the same factors contribute to MU activity during both contractions. Three factors have been advanced as candidates, causing lower MU activity in the descending phase during triangle contraction: post-tetanic potentiation, tendon hysteresis, and nonlinear summation of twitches (e.g., Burke *et al.* 1976; Binder-Macleod and Clamann 1989; Maganaris and Paul, 1999). In our study, the target force during sustained contraction was 3 %MVC. Consequently, it is unlikely that post tetanic potentiation affects MU activity because slow MU,

which are known to exhibit little or no potentiation (*Bagust et al. 1974*), are activated during a low force contraction. Meanwhile, it remains possible that the remainder of these factors i.e., enhancement of force production in muscle fibers, contribute to MU activity during HIS. The lower IEMG remained for at least 3 min in HIS. This result may reflect that these two factors affect MU activity either directly and historically (indirectly).

Although muscle force levels were similar between those found in an earlier study by Suzuki et al. (1988) and this study, we did not observe that EMG during HIS was significantly higher than that during control contraction. Therefore, the muscle force level can not be a major factor to the MU activity during low-level contraction following middle force contraction. The reason remains unclear. However, it might be attributable to the difference in speed of force decline in descending phase following middle force contraction, i.e. about 75%MVC/s reported as reported from a study (estimate from **Fig. 3**; *Suzuki et al. 1988*) and 10%MVC/s in this study, because MU activity is well known to depend on the speed of increase and decrease in force (e.g. *Morimoto and Hasegawa, 1976*). In addi-

tion, it may also be necessary to observe EMG across synergists and consider unintended posture change during the contraction in order to clarify the discrepancy between studies.

Surface EMG includes information about the number of active MU and the interval at which they discharge. However, each factor is extracted quantitatively from surface EMG with difficulty. Recording of single MU action potential is needed to observe each factor. Information about a single MU activity may not be necessary to clarify the mechanism responsible for the lower MU activity. However, because effect of the possible factors on MU activity would diminish over time, observation of changes in single MU activity during low-level contraction may be useful to clarify the mechanism.

In conclusion, the EMG in a low force contraction following a descending phase during a triangular contraction was lower than the same force following ascending ramp contraction. Therefore, it remains possible that the main factor dictating MU activity even during low-level sustained contraction following middle-level contraction is enhancement of force production in muscle fibers.

References

- Bagust, J., Lewins, D.M. and Luck, J.C.*: Post-tetanic effects in motor units of fast and slow twitch muscles of cat. *J. Physiol.*, **237**: 115-121, 1974.
- Binder-Macleod, S.A. and Clamann, H.P.*: Force output of cat motor units stimulated with trains of linearly varying frequency. *J. Neurophysiol.*, **61**: 208-217, 1989.
- Burke, R.E., Rudomin, P. and Zajac, F.E.*: The effect of activation history on the tension production by the individual muscle units. *Brain Res.*, **109**: 515-529, 1976.
- Kimura, T., Yamanaka, K., Nozaki, D., Nakazawa, K., Miyoshi, T., Akai, M. and Ohtsuki, T.*: Hysteresis in corticospinal excitability during gradual muscle contraction and relaxation in human. *Exp. Brain*

Res., **152**: 123-132, 2003.

Maganaris, C.N. and Paul, J.P.: *In vivo* human tendon mechanical properties. *J. Physiol.*, **521**: 207-313, 1999.

Morimoto, S. and Hasegawa, H.: Some properties of single motor units at voluntary muscle contraction and relaxation. *J. Physical Fitness Japan*, **25**: 113-117, 1976 (in Japanese).

Suzuki, S., Kaiya, K., Watanabe, S. and Hutton, R. S.: Contraction-induced potentiation of human motor unit discharge and surface EMG activity. *Med. Sci. Sport Exerc.*, **20**: 391-395, 1988.

Vandervoort, A.A., Quinlin, J. and McComas, A.J.: Twitch potentiation after voluntary contraction. *Exp. Neurol.*, **81**:141-152, 1983.

〈研究報告〉

ランニングにおける“ばね能力”の役割に関する研究
～一過性のリバウンドジャンプ練習が呼吸循環機能に及ぼす影響に着目して～

A study of “spring ability” on running : in the viewpoint of the effects of transitory practice of rebound jump on cardiorespiratory

佐伯 徹郎

Abstract

The purpose of this study was to clarify the effects of the practice of rebound jump exercise on cardiorespiratory during the submaximal running.

Eight female students participated in this study, whose measurement values included cardiorespiratory ($\dot{V}O_2$, R, VE, HR) and RPE during the submaximal running and the rebound jump index. In this study, 2 stage (3-min \times 2) submaximal running were examined before and after the practice of rebound jump.

The results were as follows ;

- Running economy was unchanged.
- Respiratory ratio and heart rate during the running significantly increased after the practice of rebound jump.
- RPE after the running significantly decreased after the practice of rebound jump.

These results suggested that rebound jump will be effective for activating cardiorespiratory during the running and making the running less stressful.

Key words: ランニング, ばね能力, リバウンドジャンプ, 呼吸循環機能

はじめに

長距離走では、「大きなエネルギーを長時間にわたって出力すること」と「効率よく経済的に出力すること」(岡子と平田 1999)が重要であり、前者は最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を指標とする有酸素性能力や、各種筋力・パワー値および乳酸値などを指標とする無酸素性能力などにより評価され、後者は最大下走

のエネルギー消費量(酸素摂取量)を指標とする走の経済性などを用いて評価される。この両者は両立が難しい能力と考えられるが、これまでの研究において、筋力・パワーといった「大きなエネルギーを出力する」能力が、「効率よく経済的に出力する」能力に貢献する可能性も示唆されており(Johnston *et al.* 1997; Paavolainen *et al.* 1999; 三本木ら 2005)、筋力・パワートレーニングが長距離走パフォーマンスを向上させる可能性がある。さらに、

最近の研究では、筋力・パワー指標の一つであり、できるだけ短い接地時間で高く跳ぶ能力を評価するリバウンドジャンプ (RJ) 能力と、中長距離走のパフォーマンスや走の経済性などとの関連性も報告されている。

図子と平田 (1999) は、個人の RJ 能力が高い日の 5000 m の記録はよく、低い日の記録は悪い結果を示し、男子長距離走者のパフォーマンスとばね能力の関係性を報告している。また、図子 (2006) は、プライオメトリックトレーニングにより、数年間記録が低迷していた大学男子長距離ランナーの記録が向上したり、最大下負荷運動時における酸素摂取量の低下が認められたことから、ばね能力の向上によるパフォーマンスの向上や運動効率の改善の可能性を示唆している。RJ 能力と走の経済性との関係については、佐伯 (2006) が男子長距離走者において有意な関係を認めており、RJ 能力が長距離走パフォーマンスの優劣に影響する可能性を示している。また、佐伯 (2008) は、大学女子中長距離走者を対象として、RJ 能力が優れるほど、最大下走行における換気量や $\dot{V}O_2\max$ が低いことを示し、ばね能力が呼吸循環機能に余裕をもって走ることに貢献している可能性を報告している。このような可能性が考えられる要因として、RJ とランニングに共通する動きにおける大きな地面反力の利用、弾性エネルギーおよび伸張反射の利用による筋収縮のエネルギー消費の節約などが考えられている (佐伯 2006; 図子 2006)。

上述の先行研究は、ばね能力の向上が走パフォーマンスや走の経済性に影響している可能性を示唆するものである。そこで本研究では、一過性のリバウンドジャンプ練習が最大下走行時の呼吸循環応答に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

方 法

1) 対象者

対象者は、女子体育大学で活動している中長距離走者 5 名、短距離走者、テニス選手、ジョギング愛好者が各 1 名の計 8 名であった。対象者には、研究の目的、意義、実施上の危険性、自由意志による参加などについて、十分に説明し同意を得た。

2) 測定項目

測定項目は、最大下走行における呼吸循環機能 (酸素摂取量: $\dot{V}O_2$, 呼吸交換比: R, 換気量: VE, 心拍数: HR など), 主観的運動強度 (RPE), リバウンドジャンプ (RJ) における接地時間, 空中時間, RJ 指数などであった。また、走運動の効率を最大下走行の酸素摂取量で示す走の経済性として評価した。

呼吸循環機能は、自動呼気ガス分析器 (AE-300S, ミナト医科学社製) を用いて測定した。

RJ 能力は、マットとタイマーを接続したマットスイッチシステム (竹井機器社製) を用いて、その場 5 回連続リバウンドジャンプ (5RJ) による接地時間と空中時間から RJ 指数を算出し ($1/8 \times 9.81 \times \text{空中時間}^2 \div \text{接地時間}$) (図子と高松 1995), 5 回のうち最も高い指数となる接地時間と空中時間の組み合わせを代表値として用いた。5RJ では、手を腰に当てて腕振り動作を使わずに、バランス、タイミングをとりつつ、できるだけ素早く高く跳ぶように指示した。

3) プロトコール

実験は、十分なウォーミングアップの後、1 回目の 5RJ 測定を実施し、その後、1 回目のトレッドミル走、次に、練習を含めた 2 回目の 5RJ 測定 (2~3 回の試行)、そして、2 回目のトレッドミル走、3 回目の 5 RJ 測定の順で行った (図 1)。2 回目の 5RJ 測定において、データ分析に用いたのは 2~3 回の試行のう

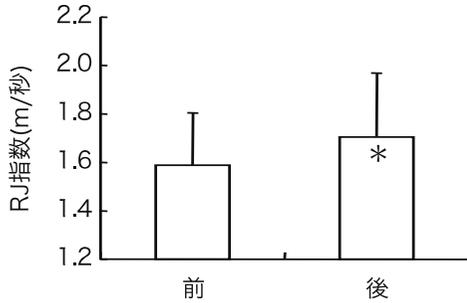


図2 リバウンドジャンプ練習前後のRJ指数の変化
*: P < 0.05.

示した。RJ指数は、リバウンドジャンプ練習の前後で有意に向上した（練習前 1.587 ± 0.216 vs. 練習後 1.704 ± 0.265 m/s）。

図3には、リバウンドジャンプ練習前後の各測定値を示した。走の経済性を示す指標である最大下走行時の酸素摂取量（ 41.3 ± 3.5 vs. 42.0 ± 4.5 ml/kg/min）に有意な変化は認められなかった。呼吸数（ 37.4 ± 12.4 vs. 42.9 ± 12.6 回/分）、心拍数（ 169.2 ± 14.9 vs. 176.0 ± 11.5 拍/分）は有意に増加し、RPE（ 11.3 ± 1.4 vs. 10.6 ± 1.6 ）は有意に低下した。

図4には、換気量および換気効率（ $\dot{V}O_2/VE$ ）の値を示した。どちらも増加傾向にあったが有意な差ではなかった（ 55.4 ± 10.2 vs. 60.3 ± 12.7 L/分； 40.4 ± 5.8 vs. 37.9 ± 5.9 ml/L）。

なお、本研究では、最大下走行の負荷としてAT以下の強度設定を意図した。心拍数が対象者の年齢から推定される最大心拍数200拍/分に対して約85%であること、RPEが11前後であることから、ねらい通りの負荷がかかっていることを確認した。

考 察

これまでの研究で、リバウンドジャンプ能力に優れることは、効率よく走れること、長距離走パフォーマンスを高める可能性のある

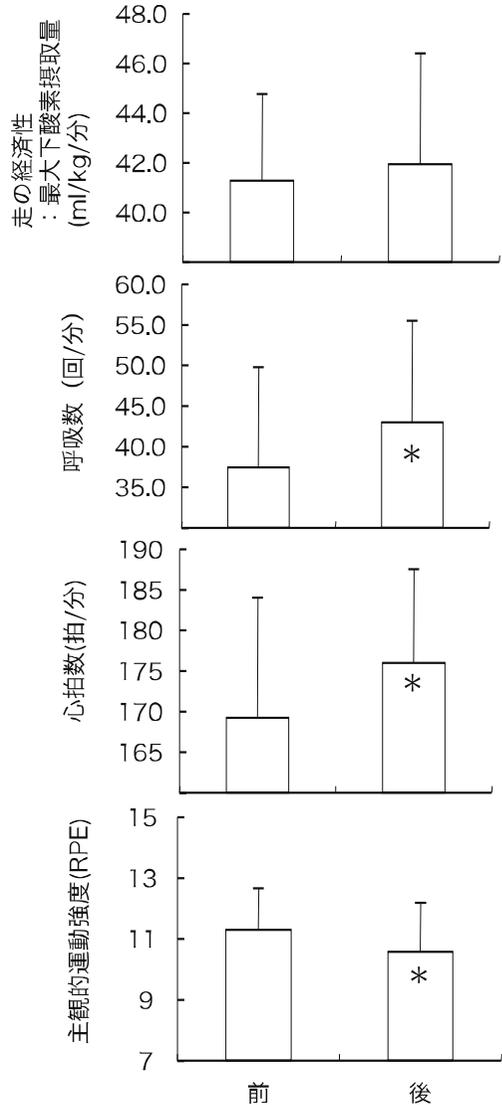


図3 リバウンドジャンプ練習前後における走の経済性、呼吸数、心拍数、RPEの変化
*: P < 0.05

ことが示されている。また、筋力・パワートレーニングによって、効率よく走れるようになった研究報告もある。本研究では、実際にばね能力を高めることによって効率よく楽に走れるようになるかどうかについて検討するために、一過性のリバウンドジャンプ練習が最大下走行の呼吸循環機能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

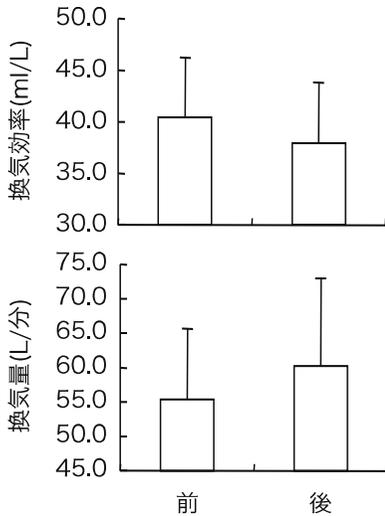


図4 換気量および換気効率の変化

本研究の結果、一過性のリバウンドジャンプ練習により、ばね能力の指標であるRJ指数は向上したが(図2)、走の経済性の指標である酸素摂取量に有意な変化は認められなかった(図3)。一方、リバウンドジャンプ練習後の最大下走行において心拍数、呼吸数などの生理的負担度が増加したにもかかわらず、主観的な負担度を示すRPEは低下した(図3)。

先行研究では、中長期のトレーニングによる筋力・パワーの向上が走の経済性を高めることが報告されているが、本研究による一過性のリバウンドジャンプ練習では走の経済性に変化はなかった。このような先行研究との不一致は、おそらくトレーニング期間の違いや、対象者の走技術の差に起因すると思われる。さらに、走の経済性を規定する要因は、バイオメカニクスの要因だけではなく、生理学的な要因も関係する。この点については、今後の検討が必要である。

リバウンドジャンプ練習後の最大下走行において、生理的負担度が増したにもかかわらず、RPEは減少した。このことは、感覚的には楽に走れていることを示すものであり、ばね能力が向上したことにより、ランニング感

覚の改善につながったのではないだろうか。ランニング時の対象者のコメントに「よりよい動きになっている」「いわゆる動けている、走れている状態」というものがあったことも、このような可能性を示唆する材料であると考ええる。このような結果から、ばね能力の向上により代謝が活性化され、感覚的に楽に走れるようになり、そのことが、より速く走れる、また、遅いペースであればより長く走れることに有利になることが考えられないだろうか。

本来、呼吸数および心拍数が増加している、すなわち生理的な負担度が増えていれば、酸素摂取量も増大する、すなわち、走の経済性が低下し、疲労感も高まるはずであるが、本研究ではこれらがリンクしていなかった。このことから、ばね能力が高まることは、代謝を活性化しながらも、無駄なエネルギーは消費せず、走パフォーマンスを高めるうえで有利に働いている、つまり、エネルギー代謝を高めつつ効率も高めている、と考えることもできるのではないだろうか。TanakaとSwensen(1998)は、レジスタンストレーニングを実施したランナーは、筋線維がより大きな力を産生できるようになるために、各活動筋原線維からの力の貢献度を減らすこと、あるいはより少ない筋原線維によって、最大下の絶対的仕事率でより長く運動することが可能であること、つまり、走の経済性あるいは走スピードの増大につながる可能性を示している。本研究では、リバウンドジャンプ練習により筋出力が増したことも推察され、このような研究の知見も、ばね能力の向上による走パフォーマンス向上の可能性を示唆するものと考えられる。

本研究の結果は、一過性のリバウンドジャンプ練習によって、ばね能力を高めることができること、また、このようなばね能力の向上が、呼吸循環機能を活性化しつつ、走の経済性を損なうことなく、より楽に走れることに貢献している可能性を示唆するものである。

中長距離走パフォーマンスに優れるためには、より多くのエネルギーの獲得と、より効率よいエネルギーの利用という、矛盾する両者を高いレベルで両立させることが必要である。このように考えると、ばね能力は、この両者を高めることに貢献するトレーニング課題として新たな視点を提示するものといえるのではないだろうか。

本研究では、対象者の数も少なく、ばね能力の向上による呼吸循環機能などへの影響について、生理学的、バイオメカニクスの詳細に検討していない。今後さらに、さまざまな走力のレベルとタイプの対象者を用いて、より長く走ること、より速く走ることなど、より多くの実験条件を設定して、リバウンドジャンプ練習の内容とともに検討する必要がある。これらの課題を検討することによっ

て、ばね能力の優劣および練習による変化、呼吸循環機能の優劣および変化、走パフォーマンスとの関係、およびそれらのメカニズムを明らかにすることによって、ランニングパフォーマンスの向上に寄与するばね能力の高め方に関する知見を提示することが期待されよう。

結 論

本研究では、リバウンドジャンプ練習による一過性のばね能力の向上が、最大下運動時における主観的運動強度の低下をもたらした。このことは、ばね能力の向上が、運動時の疲労感の低下や運動感覚の改善に有効である可能性を示唆するものである。

文 献

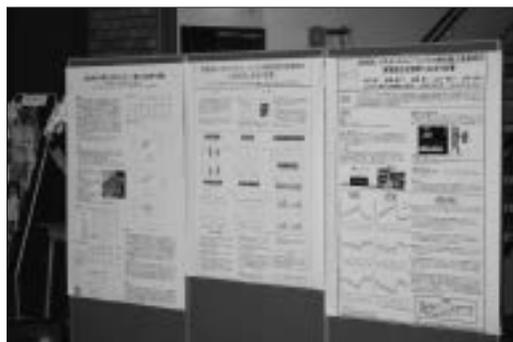
- Johnston, R.E., Quinn, T.J., Kertzer, R. and Vroman, N.B.: Strength training in female distance runners: impact on running economy. *J. Strength Cond. Res.*, **11**: 224-229, 1997.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A. and Rusko, H.: Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.*, **86**: 1527-1533, 1999.
- 佐伯徹郎：長距離走パフォーマンスとエネルギー代謝からみた「効率」との関係—効率の追求とより多くのエネルギー獲得の両立を考える—。バイオメカニクス研究, **10**: 253-261, 2006.
- 佐伯徹郎：大学女子中長距離走者の“ばね能力”に関する研究～走の経済性との関係に着目して～。日本陸上競技学会第7回大会, 2008.
- 三本木温, 佐伯徹郎, 高松 薫：筋力・筋パワーからみた長距離走による脚筋疲労に関する研究。ランニング学研究, **16**: 14-24, 2005.
- Tanaka, H. and Swensen, T.: Impact of resistance training on endurance performance. *Sports Med.*, **25**: 191-200, 1998.
- 図子浩二, 高松 薫：バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因—筋力および瞬発力に着目して—。体力科学, **44**: 147-154, 1995.
- 図子浩二, 平田文夫：下腿の神経・筋・腱系の状態が長距離走者の競技成績に及ぼす影響。第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集, バイオメカニクス研究概論, pp. 172-176, 1999.
- 図子浩二：ランニングパフォーマンスの向上に対するプライオメトリックスの可能性。ランニング学研究, **18**: 15-24, 2006.

〈第 20 回研究フォーラム報告〉

日本女子体育大学附属基礎体力研究所
開所 20 周年記念公開研究フォーラム
「20 周年目からの始動- きらり輝く展開を求めて-」

日 時：2009 年 11 月 28 日（土）13：00～17：10

会 場：日本女子体育大学本館 1 階 E101 教室



プログラム

開 会 13:00

Session 1 13:05～13:35

基礎体力研究所における研究の動向と展望- 学術フロンティア事業を踏まえて-

定本 朋子 (日本女子体育大学附属基礎体力研究所)

Session 2 13:35～15:35

〈若手研究者による新たな挑戦〉

運動時における非活動肢の導管動脈と静脈の血流応答特性

大上 安奈 (日本女子体育大学附属基礎体力研究所)

運動時の脳血流調節におけるセントラルコマンドの役割

佐藤 耕平 (日本女子体育大学附属基礎体力研究所)

運動時の代謝・内分泌応答を手がかりにしたトレーニングの科学

後藤 一成 (早稲田大学スポーツ科学学術院)

筋発揮張力維持法 (スロートレーニング) の効果とそのメカニズム

谷本 道哉 (順天堂大学スポーツ医学研究所)

Session 3 15:35～16:10

〈ポスター発表〉

Session 4 16:10～17:10

〈特別講演〉

身体運動は生活習慣病予防にどこまで貢献できるか- 運動疫学研究のエビデンスから-

澤田 亨 (東京ガス健康開発センター)

閉 会

基礎体力研究所における研究の動向と展望 － 学術フロンティア事業を踏まえて－

定本 朋子

(日本女子体育大学附属基礎体力研究所・所長)



1. はじめに

本研究所は「体力づくりに関する基礎的研究，体力の維持・増進並びに競技力向上に関する施策や方法を開発すること」を設立趣旨として1989年11月に設置された。この趣意に沿って，1 運動に対する身体適応機序に関する生理学的研究，2 子どもの身体特性に関する研究，3 中高年者のための運動処方に関する研究，4 女性競技選手の身体特性に関する研究，という4つのアプローチから研究を進めている(図1)。第1のアプローチは「動くからだのメカニズムの解明」を目指した基礎的研究であり，その時期における先端的装置を導入し，特に持久力を担う酸素運搬系や循環機能の調節に焦点をあてた研究を推進してきた。続く第2，3，4のアプローチは，子ども，中高年，女性を対象とした身体特性，

運動処方，および競技力向上に関する応用的研究である。このようにサイエンスとしての基礎的研究とそれを発展させた応用的研究との双方が成果を上げることを目標に，種々のプロジェクトをこれまで進めてきたといえる。

そして平成16年度には，基礎体力研究所のエポックメイキングとなる私立大学学術研究高度化推進事業(学術フロンティア事業)「運動時における循環調節機構の統合的解明－スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築に向けて－」が採択され，共同研究プロジェクトを実施する運びとなった。本事業は「優れた研究実績を上げ，将来の研究発展が期待される卓越した研究組織を〈学術フロンティア拠点〉に選定し，内外の研究機関との共同研究に必要な研究施設，研究装置・設備の整備に対し，重点的かつ総合的な支援を行う」

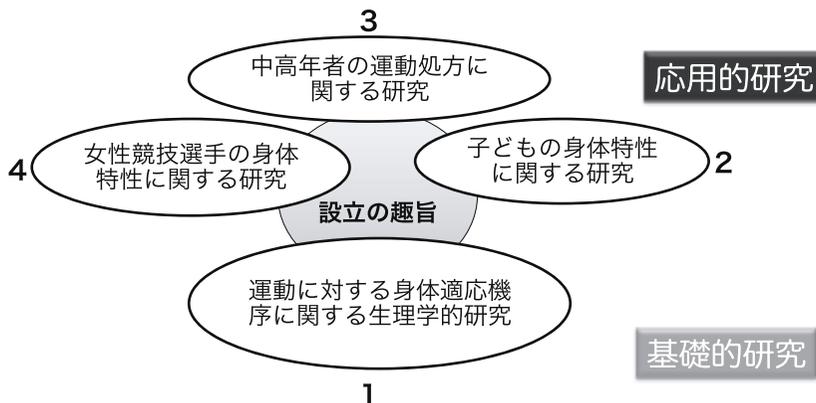


図1 基礎体力研究所の設立趣旨と4つのアプローチ

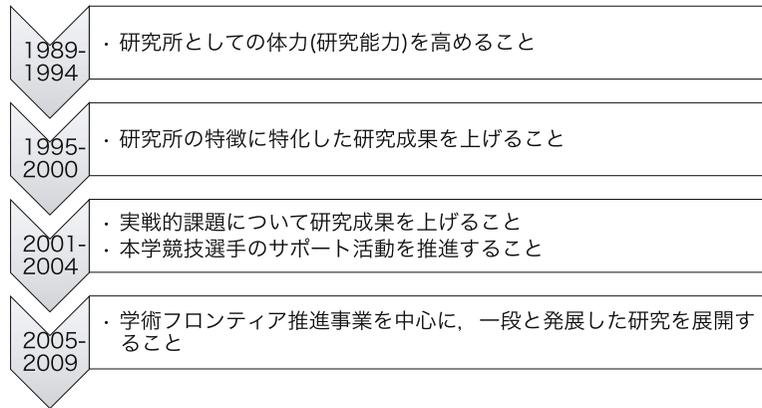


図2 開所から学術フロンティア事業までにいたる基礎体力研究所の努力目標の推移（加賀谷 2005 より引用）

として、文部科学省が平成9年に創設したものである。本学では、研究所を中心に、国内3大学、国外1大学の研究者と協力してこの学術フロンティア事業を実施することになった。本稿では、学術フロンティア事業にいたるまでの研究所の歩み、学術フロンティア事業における研究成果、そして学術フロンティア事業を踏まえた今後の努力目標と研究展開についてまとめたいと思う。なお学術フロンティア事業開始前における開所から15周年目までにおける基礎体力研究所の歩みおよび研究成果については、加賀谷が詳しく報告しているので参照されたい（加賀谷 2005）。

2. 基礎体力研究所の努力目標の推移

本研究所では、図2にみられるように、約5年間を一つのスパンとして各時期の努力目標を掲げて、種々の事業を推進してきたといえる。開所5年目までは「研究所としての体力（研究能力）を高めること」を目標とし、続く6～10年目までは「研究所の特徴に特化した酸素運搬系や呼吸循環系の基礎体力に関する研究成果をあげること」を目標にしてきた。そして11～15年目までの目標は、「実践的応用的課題に関する研究成果をあげること」であった。そして続く16～20年目までの5年間の学術フロンティア事業期間は「学術フ

ロンティア事業を中心に、一段と発展した研究を展開すること」を目標とした（加賀谷 2005）。

二階堂学園および大学教職員の理解と支援を受けて、開所15周年目に学術フロンティア事業の実施にいたったことは、後述するように、大きな成果と資産を研究所に残したといえる。そのようなフロンティア事業への申請にいたる経緯を、加賀谷（2005）は次のように述べている。それを引用してこれまでの研究所および大学の関係者がこの学術フロンティア事業にかけた熱い思いを振り返っておきたい。

……開所10年以上の歴史を経過し、より一層の発展を目指すには、施設設備はもとより人材確保の上でも限界になっていた。そこで私立大学学術研究高度化推進事業（学術フロンティア）へ申請することになった …（中略）… また学内におけるフロンティア事業の位置づけとして、本学は、『確かな専門性と豊かな教養をもつ人材』養成を目的としているが、確かな専門性を保証するひとつとして、『科学的理解』を重視してきた。本研究所は、そのための学内拠点となることが開所当時の設置者の考えであった（宇土

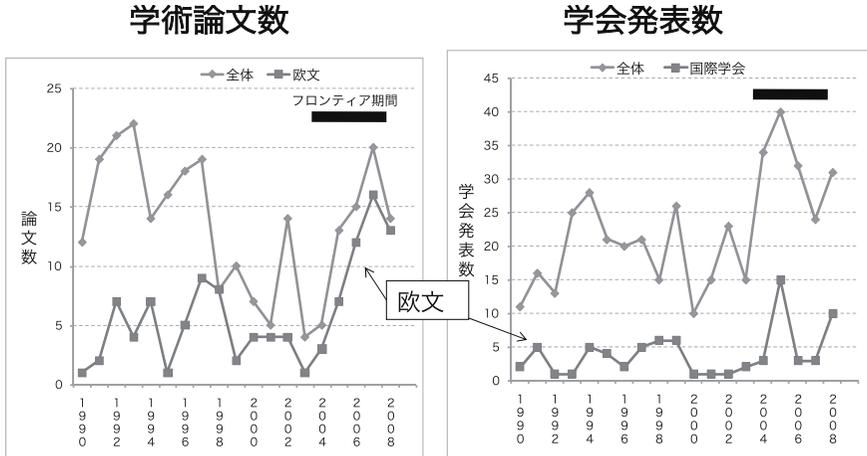


図3 基礎体力研究所における研究成果（学術論文数と学会発表数）の推移
2005～2009年が学術フロンティア事業期間にあたる。

1991; 前田 1991; 山川 1991).

3. 学術フロンティア事業による成果

学術フロンティア事業の全体構想および研究成果概要の抜粋を本誌の最後に記した (46～59 ページ). より詳しい研究成果や実験データの内容については、各年度の年次報告書『Integrative study of circulatory regulation during exercise; Contribution to developing optimal program for health promotion and physical fitness through sports and exercise』4冊 (平成 16 年度～19 年度), 中間報告書 1 冊 (平成 18 年度), 最終成果報告書 1 冊 (平成 20 年度) において述べられているので参照されたい.

3-1 欧文論文数の増加

数値的観点からみると、フロンティア事業により学術論文 84 篇, 著書 10 篇, その他の論文数 35 篇, 学会発表 130 回という成果をもたらせた. これまでの研究所の歩みと学術フロンティア期間における成果を比較してみると (図 3), フロンティア事業は和文誌のみならず, 国際誌における欧文論文数を増加さ

せる原動力になったことがわかる. この時期における「一段と発展した研究を進める」という努力目標の一端が叶ったといえる. また, 国内外での学会発表数がそれまでの年次に比べて著しく増加していることも学術フロンティアの成果である. ただし学会発表数の増加は嬉しいことである反面, 論文として公表すべき宿題が山積されていることであり, 所員およびプロジェクトメンバーとしては重い責任と受け止めている. 学術論文としての早期公表への一層の努力が必要である.

3-2 研究の質の評価

学術研究の成果には研究の質も重要である. 学術フロンティア事業期間に出された 2 つの学会発表が第 8 回アジアスポーツ医学会優秀論文賞 (大森英美子: 受賞時技術職員, 2005 年. Blood flow after contraction of short duration reaches its peak by 3rd cardiac cycle. Ohmori, F., Shimizu, S., Hamaoka, T. and Kagaya, K. Tokyo, 2005.5) および第 60 回日本体力医学会大会最優秀賞 (通称: マスカット賞優秀賞) (加茂美冬: 随意最大筋力発揮における表面導出した運動単位活動電位波

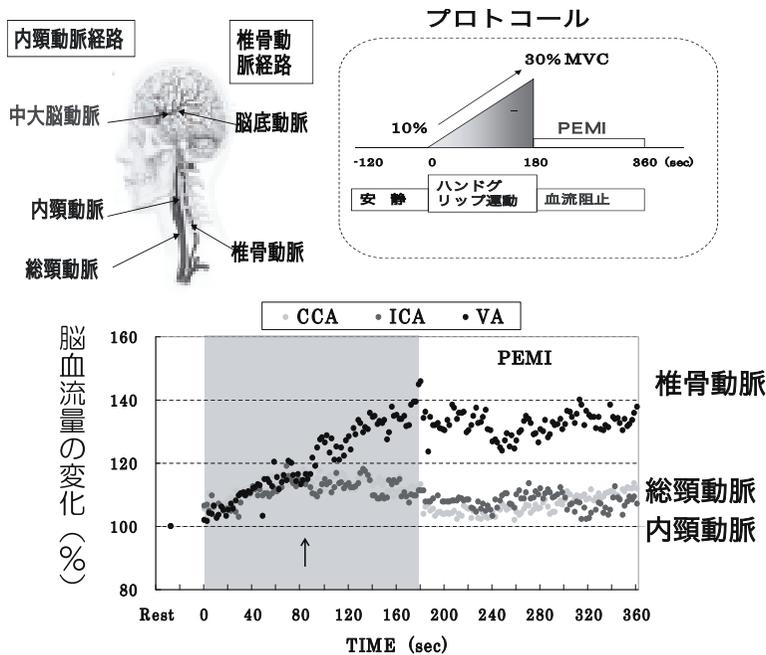


図4 2つの経路からみた運動時の脳血流調節

静的運動時における内頸動脈経路（内頸動脈，総頸動脈）と椎骨動脈経路（椎骨動脈）における血流量応答が異なる。内頸動脈経路では血流量の頭打ちを示すが椎骨動脈では血流量が漸増する。

形の変化。加茂美冬，森本 茂，岡山，2005.9）を受賞した。また平成16～18年度までの学術フロンティアの研究代表者であった加賀谷淳子氏が第10回秩父宮記念スポーツ医科学賞（功労賞）を受賞した。このような受賞は学術フロンティア期間における研究成果の質が評価されたことを示すものと捉えられる。

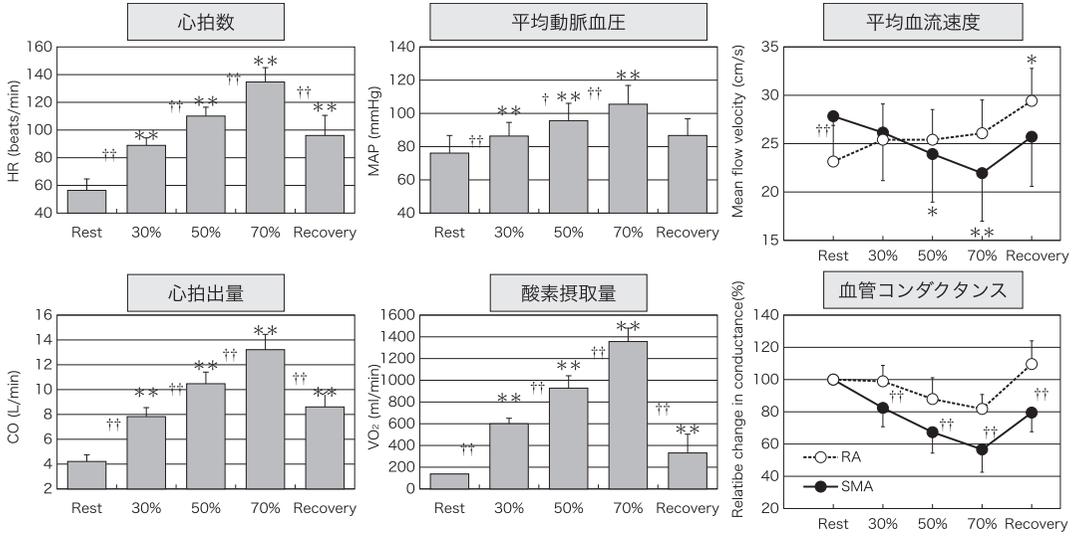
3-3 研究拠点としての社会貢献

関連領域の学術拠点としての社会貢献ができたことも大きな成果である。平成16年度の第1回国際シンポジウム，平成18年度の間報告会と国内シンポジウム，平成20年度の第2回国際シンポジウム，平成20年度の最終成果報告会といった4回の研究会議の開催をしたことに加えて，若手研究者・大学院生のための学術セミナーやワークショップは10回にのぼる開催となった。これらの会には学外からの参加者が多く，この分野の学術交流の活

性化に貢献したといえる。また，実験データの提供や取材協力（NHKためしてガッテン，毎日新聞），日本学術会議シンポジウムや市民公開講座での講演等も積極的に行い，社会的インパクトをもつ研究拠点としての成果が得られたといえる。

3-4 大型事業のための組織体制づくり

学術論文数のようにクローズアップされる『表』の成果のみならず，学術フロンティア事業は研究を進める体制づくりに関する，いわば『裏方』の資産をもたせたとと思われる。事務局の協力を得てつくった研究成果の評価システムはその一例である。プロジェクトメンバーによる評価方法や基準，内部評価委員会および外部評価委員会の設置とその運営のノウハウなどは，今後の研究所の発展に貢献する資産を形成したといえる。



**, 安静時値との差 (P<0.01) ; ††, 前負荷値との差 (P<0.01) ; †††, †, RAとSMA間の差 (†† P<0.01 ; † P<0.05)

図5 多段階の動的運動時における腎動脈と上腸間膜動脈の血流応答
 自転車作業の運動負荷が上がると腎動脈 (RA, renal artery) の血流速度は低下し、血管コンダクタンスも低下する。一方、消化器官への血液を送る上腸間膜動脈 (SMA, superior mesenteric artery) の血流速度および血管コンダクタンスは、運動強度が上昇しても腎動脈のような著しい低下がない。運動刺激に対する内臓血流調節は器官・臓器による地域差が示されている。

4. 今後の努力目標- 学術フロンティア事業の成果を活用した新しい挑戦-

4-1 未解決課題に迫る展開

学術フロンティア事業の研究成果を踏まえて、次のスパンである20～25年目における研究所の努力目標は、「基礎的研究および応用的研究において、フロンティア事業で得た成果をさらに飛躍させるような新しい挑戦をする」ということである。フロンティア事業の実施は、次のような今後取り組むべき未解決課題を浮き彫りにさせたといえる。

基礎的研究のアプローチとしては、フロンティア事業により得られた運動時の脳循環調節 (図4) や内臓循環調節 (図5) に関する成果をもとに、さらに進んだ新しい学術成果を発信したいと考えている。また、運動時のセントラルコマンドに関する研究および静脈側からみた運動時の酸素運搬機能の分野も新たに挑戦すべき課題である。同様に、応用的研究のアプローチについても検討すべき未解決

課題が鮮明になったといえる。まず小筋群を用いた局所運動に関する研究である。ジョギングやウォーキングといった大筋群を用いる全身運動の研究はエビデンスが集積され、既に運動プログラムとしても確立されている。しかし全身運動が困難な低体力者や高齢者も多く、誰もが実施できる運動プログラム構築のためにこの分野の研究が不可欠である。したがって、局所運動を用いた運動プログラム開発に資する応用的研究を行い、特に種々の対象者におけるエビデンスを得る必要がある。また子どもの心機能、血管機能、筋機能といった発達過程に関する興味深いデータを得ていることから (図6)、子どもの体力についても挑戦すべき課題としてあげられる。

4-2 均衡が保たれた研究展開

体育・スポーツ関連領域における学術動向から考えると、ライフサイエンス全体の研究は二極化の方向を示している (定本 2005)。

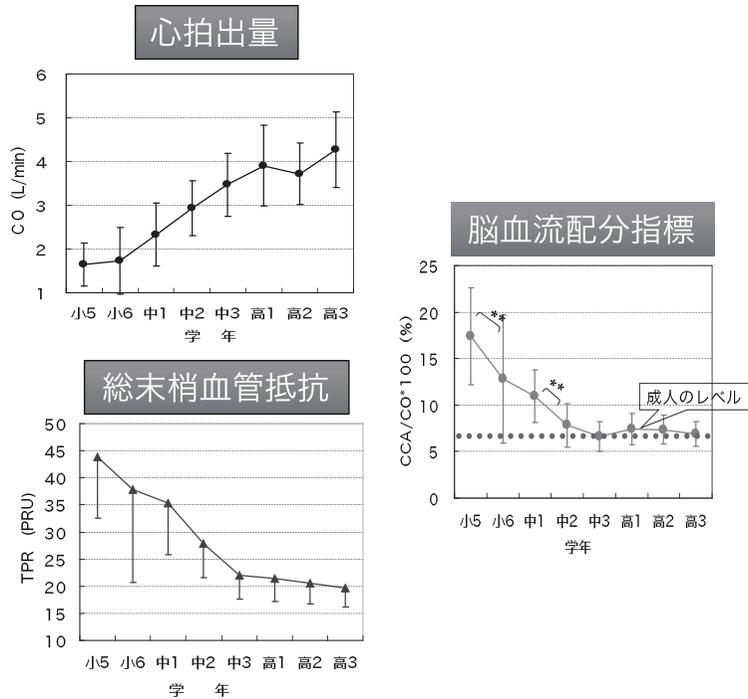


図6 発育期の子どもの循環機能の発達

小学5年生から高校3年生までの発育期女子における心機能（推定心拍出量）、血管機能（総末梢血管抵抗）、脳血流配分指標（総頸動脈血流/心拍出量のパーセント比）が発達する時期は、小学高学年から中学生の時期である。

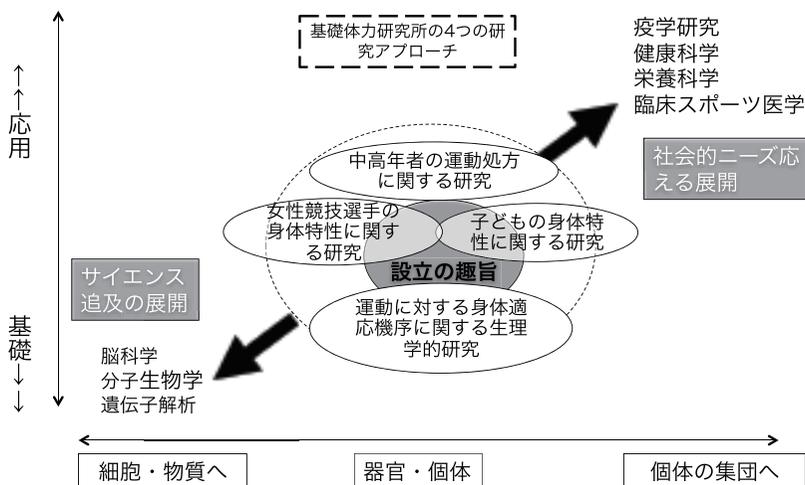


図7 体育・スポーツ関連領域の学術動向と研究所の研究方向



図8 大学地域交流事業における三鷹市老人クラブ連合の「健康増進教室」における活動

三鷹市との連携事業の一環である高齢者を対象にした体力測定などの企画運営に携わっている。体力テスト、筋量、脳血流量、頸動脈内中膜複合体の厚さなどの測定を実施し、約10年間のデータが蓄積されつつある。

一つの方向は、細胞から物質へとといったミクロな基礎的分野に向かう「サイエンス追求への展開」であり、他方は個体から集団へとマクロな応用分野に向かう「社会的ニーズに応える展開」である（図7）。基礎体力研究所における研究成果は、個体・器官レベルにおける基礎と応用の両方に位置づいているが、二極化する学術情勢の中で、一極に傾くことなく全体の均衡を図る努力が必要である。

研究所である限り、新しい発見や学術成果を生み出すことが命題であり、最も力点を置く必要がある。しかしながら、このような「サイエンス追求」を目指した基礎的研究のみならず、子ども、中高年、女性アスリートに関する幅広い応用研究をバランスよく展開し、「体育大学における研究所」としての役割を担う必要がある。現在、本研究所では社会的要請に応える活動として、大学地域交流事業として実施している三鷹市老人クラブ連合の「健康増進教室」における体力測定を行っている（図8）。また東京都競技力向上スポーツ医・科学サポート事業の一環として、カヌーおよび陸上競技の高校生選手に対するコンディショニングサポートを平成21年度より開始している（図9）。このサポートは、東京都が策定した「東京都競技力向上基本方針・実施計画」に基づいて、日本女子体育大学はじめ日本体育大学および国士舘大学の3大学が連



図9 東京都スポーツ医・科学サポート事業における活動
東京都の高校生国体強化選手（カヌー、陸上競技）を対象に筋厚、筋力、最大酸素摂取量、血中乳酸などを測定し、選手のコンディショニングサポートを行っている。

携して行っている支援事業である。これらの測定協力や支援事業の活動を、上述した基礎的研究との均衡をとりつつ、より一層進展させていきたいと考えている。

5. おわりに

学術フロンティア事業を含む20年間の歴史を踏まえて、研究所は新たな一步を踏み出しつつある。開所以来代々引き継がれている研究所のモットーは、「小さくても特徴のある研究所」、「デパートメントストアではなく質の高い専門店」そして「きらりと輝く研究」である。この標語に違わぬように、興味深い研究成果を社会に発信し、さらなる飛躍を目指して所員一同鋭意努力する所存である。これまで研究所の活動を支援して下さった学校法人二階堂学園と日本女子体育大学に謝意を表し、また研究所の発展に尽力いただいた歴代所長はじめ教職員、学生・院生を含む研究所

の関係者の皆様に深く感謝を申し上げる。そして今後も一層のご理解とご支援を賜るようお願いする次第である。

文 献

宇土正彦：創刊を祝して. J. Exerc. Sci., 1: 1-2, 1991.

加賀谷淳子：日本女子体育大学基礎体力研究所15年の成果と学術フロンティア「運動時の循環調節」共同研究プロジェクトの発足. J. Exerc. Sci., 15: 20-27, 2005.

前田充明：ごあいさつ. J. Exerc. Sci., 1: 3-4,

1991.

定本朋子：運動生理学分野の研究動向. 体育の科学, 55: 892-895, 2005.

定本朋子：運動時における内臓器官および脳の血流動態とその調節機構. 文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業（学術フロンティア推進事業）研究成果報告書（平成16-20年度）「運動時における循環調節機構の統合的解明- スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけて-」, 日本女子体育大学基礎体力研究所, pp. 58-64, 2009.

山川 純：基礎体力研究所発足の経緯. J. Exerc. Sci., 1: 9-19, 1991.

○若手研究者による新たな挑戦 I

運動時における非活動肢の導管動脈と 静脈の血流応答特性

大上 安奈

(日本女子体育大学附属基礎体力研究所)



ヒトが運動を行った場合、心拍出量が身体各部位へ適切に分配されることで運動の継続が可能となる。このことは、活動筋における血流応答だけでなく、その他の非活動部位（非活動肢や内臓など）における血流応答を理解することも重要であることを示している。短時間運動時には活動筋への血流は増大し、非活動肢や内臓などでは血流は低下する。しかし、長時間運動時には非活動肢の血流も増大し、活動筋との競合が生じている。ヒトの運動時の機械効率は約 20 % であり残りの 80 % は熱に変換されるため、長時間運動時には体内に多量の熱が蓄積される。この熱が体外に放散されないとすると深部体温（直腸温や食道温など）は 1 分間に 0.1 °C 上昇していくことになり、30 分間で運動遂行が困難となる 40 °C に達するが、ヒトには発汗反応や皮膚血流反応といった熱放散システムが備わっているため、実際には深部体温の上昇は約 1 °C 程度に抑えられる。つまり、長時間運動時における非活動肢の血流増大は皮膚血流応答を反映したものであるとされているが、非活動肢には皮膚だけでなく筋も存在しているため、両部位の血流応答を合わせて熱放散反応を考慮する必要があると考えられる。しかし、両部位の血流を分離することが困難であることから、そのような検討が少ないのが現状である。

上腕部の導管血管（動脈：約 4 mm，静脈：2～9 mm）に着目してみると、動脈は

1 種類であるのに対し、静脈は深在性静脈と表在性静脈の 2 種類存在する。深在性静脈は筋層を動脈と並走しており、主に前腕部の筋からの血液を還流している。一方、表在性静脈は皮膚から比較的浅い位置を単独で走行しており、主に前腕部の皮膚と手部からの血液を還流している。このようなことから、われわれは上腕部の導管血管の血流応答を検討することで、前腕部の皮膚と筋の血流応答を推定できるのではないかと考え、運動に伴う深部体温上昇時において導管血管の血流がどのように変化するのか明らかにしようとした。また、運動を行い深部体温が上昇した場合と、安静状態で外的な温熱負荷を加えることで深部体温が上昇した場合では、深部体温の上昇に対する皮膚血流応答は異なることが示されていることから、両条件における血流応答を比較することで運動時の血流応答特性を明確にしようとした。

実験 I 脚自転車運動時における上腕部の導管動脈と静脈の血流応答 (Ooue et al. 2008)

仰臥位姿勢の被験者（健康な男女 14 名）に最大酸素摂取量の 40 % 強度（低強度）および 60～69 % 強度（高強度）で自転車運動を実施させ、上腕動脈（導管動脈）、尺側皮静脈（表在性静脈）および上腕静脈（深在性静脈）の血流速度と血管径を超音波法を用いて測定し、両パラメータから血流量を算出した。深部体温上昇初期において、導管動脈および表

在性静脈の血流量はわずかに低下し運動強度間に差がみられたが、それ以降の深部体温上昇に伴い両血管の血流量は増大し、これは運動強度の影響を受けなかった。両血管における血流速度の変化は血流量のそれと類似していたが、運動強度間に差はみられなかった。また、導管動脈の血管径はいずれの強度とも深部体温上昇に伴い大きく変化しなかったが運動強度間に差がみられ、表在性静脈の血管径は高強度時において深部体温上昇初期に大きく低下し、低強度時よりも有意に小さい値を示した。一方、運動中、いずれの強度においても深部体温の上昇に伴い深在性静脈の血流応答は大きく変化しなかった。

実験2 安静温熱負荷時における上腕部の導管動脈と静脈の血流応答 (Ooue et al. 2007)

仰臥位姿勢の被験者(健康な男女20名)に全身性の温熱負荷(皮膚温を37~38°Cに維持)を行い、脚自転車運動時と同様の導管血管の血流パラメータを測定した。深部体温上昇に伴い導管動脈および表在性静脈の血流量は増大し、このとき、深部体温上昇に伴う両血管の血流速度の変化は血流量のそれと同様であったが、血管径はほとんど変化しなかった。一方、深部体温上昇に伴う深在性静脈血流応答の大きな変化はみられなかった。

脚運動時および安静温熱負荷時とも深部体温上昇に伴い、導管動脈と表在性静脈の血流量は増大したが、同一深部体温時の血流量は安静温熱負荷時が脚運動時よりも大きくなった。このような条件間の差がみられた理由として、1)平均皮膚温の違い(温熱性要因)と2)運動自体の影響(非温熱性要因)が考えられた。脚運動時の平均皮膚温はベースライン値と比較して変化しなかったが、安静温熱負荷時のそれは約3°C上昇した。深部体温と前腕部血流量の対応関係は平均皮膚温の上昇により左方に移動することから(Nadel et al. 1979;

Wenger et al. 1975)、本実験でもこれと同様の変化がみられたと考えられる。さらに、運動時には活動筋への血流を維持するために非活動筋へのそれは制限される。運動開始初期の非活動筋血流量は低下すること(Blair et al. 1961; Johnson and Rowell 1975)、深部体温と前腕部皮膚血流量の対応関係は安静温熱負荷時と比較して運動時に右方に移動することから(Johnson and Park 1981; Kellogg et al. 1991)、本実験において運動開始初期に動脈と表在性静脈の血流量はわずかに低下したと考えられる。このように、深部体温上昇初期において、脚運動時には血流が低下し、温熱負荷時には血流が増大したため、両条件間で血流応答に差異が生じたと推察される。一方、脚運動時でも安静温熱負荷時でも深部体温上昇に伴い深在性静脈の血流応答は大きく変化せず、条件間にも差はみられなかった。

以上のことから、運動時でも安静温熱負荷時でも深部体温が大きく上昇した場合、それに伴い導管動脈と表在性静脈の血流量は増大するが、深部体温上昇初期では両条件における血流量の変化は異なることが、一方、深在性静脈の血流量はいずれの条件も深部体温上昇に伴い大きく変化しないことが示された。このことから深部体温が大きく上昇している場合、これら上腕部の導管血管の血流量の変化から前腕部の皮膚と手部の血流量および前腕部の筋血流量をある程度分離して推定できる可能性が示された。

参考文献

- Blair, D.A., Glover, W.E. and Roddie, I.C.: Vasomotor responses in the human arm during leg exercise. *Circ. Res.*, **9**: 264-274, 1961.
- Johnson, J.M. and Park, M.K.: Effect of upright exercise on threshold for cutaneous vasodilation and sweating. *J. Appl. Physiol.*, **50**: 814-818, 1981.
- Johnson, J.M. and Rowell, L.B.: Forearm skin and muscle vascular responses to prolonged leg exercise in

- man. *J. Appl. Physiol.*, **39**: 920-924, 1975.
- Kellogg, D.L. Jr., Jhonson, J.M. and Kosiba, W.A.*: Control of internal temperature threshold for active cutaneous vasodilation by dynamic exercise. *J. Appl. Physiol.*, **71**: 2476-2482, 1991.
- Nadel, E.R., Cafarelli, E., Roberts, M.F. and Wenger, C.B.*: Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *J. Appl. Physiol.*, **46**: 430-437, 1979.
- Ooue, A., Ichinose, T.K., Inoue, Y., Nishiyasu, T., Koga, S. and Kondo, N.*: Changes in blood flow in conduit artery and veins of the upper arm during leg exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **103**: 367-373, 2008.
- Ooue, A., Ichinose, T.K., Shamsuddin, A.K., Inoue, Y., Nishiyasu, T., Koga, S., Kondo, N.*: Changes in blood flow in a conduit artery and superficial vein of the upper arm during passive heating in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **101**: 97-103, 2007.
- Wenger, C.B., Roberts, M.F., Stolwijk, J.A. and Nadel, E.R.*: Forearm blood flow during body temperature transients produced by leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, **38**: 58-63, 1975.

2010)における中大脳動脈平均血流速度をTCD法により評価すると、運動時間の延長に伴い増加することが観察されている。脳循環調節にはさまざまな要因が含まれるが、運動中のCBFはどのように調節されているのだろうか。血流は基本的にオームの法則により決まり脳循環も例外ではない。つまりCBFは灌流圧(perfusion pressure)と脳血管の緊張度(vascular tone)のバランスによって調整されている(Ogoh and Aislie 2009)。しかしながら、運動時におけるCBFの増加は、それに伴う血圧の増加によりすべて説明できるものではない。つまり、vascular toneがCBFの調節に密接に関係していると考えられる。

2. セントラルコマンドと脳血流調節

脳神経活動により脳の局所血流が増加することは知られている。しかしながら、脳神経活動がより亢進すると考えられる高強度運動時や疲労困憊時において、運動強度に比例したCBFの増加が認められないことは(Querido and Sheel 2007)、神経活動以外の生理学的要因がより運動時のCBF調節に関係していることを示唆している。この運動に伴う局所での脳神経活動および代謝亢進とCBFの増加が関連するか否かは不明である。運動に伴う脳活動は、セントラルコマンドといわれ、運動中に起こる心拍数と血圧の上昇メカニズムの一つとして一般化されている。セントラルコマンドの起源としては現在までのところ謎であるが、島皮質(insular cortex)や前帯状回皮質(anterior cingulate cortex)が関連領域であることが示唆されている(Williamson et al. 2003)。Williamsonら(2003)は、随意運動のみならず運動イメージ・催眠時に循環応答の増加に伴い、島皮質や前帯状回皮質のCBF(SPECTにより評価)が賦活することを明らかにしており、局所的な血流の増加は、セントラルコマンドに関係している。われわれは静的運動時にバイブレーション刺激を用

いて運動時の努力感(すなわちセントラルコマンド)を低下させた場合、運動時における中大脳動脈平均血流速度がコントロール条件に比べて低下することを報告している(Sato et al. 2009b)。さらには、セントラルコマンドが関与する随意運動開始期と筋機械受容器のみを刺激する受動運動開始期を比較した場合、随意運動開始期のみ中大脳動脈平均血流速度の増加が認められた(Sato et al. 2009a)。これらの結果は、セントラルコマンドが運動時のCBF調節に影響していることを示唆している。しかしながら、人為的にセントラルコマンドを変化させた場合、循環応答もそれに伴い変化する。ゆえに、セントラルコマンドがCBFに直接的に影響しているか、または、血圧や心拍出量を介して間接的に影響しているか否かについては、今後さらなる詳細な研究が必要である。

文 献

- Ogoh, S. and Ainslie, P.N.: Cerebral blood flow during exercise: mechanisms of regulation. *J. Appl. Physiol.*, **107**: 1370-1380, 2009.
- Ogoh, S., Sato, K., Akimoto, T., et al.: Dynamic cerebral autoregulation during and after handgrip exercise in human. *J. Appl. Physiol.*, **108**: 1701-1705, 2010.
- Querido, J.S. and Sheel, A.W.: Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Med.*, **37**: 765-782, 2007.
- Sato, K., Moriyama, M. and Sadamoto, T.: Influence of central command on cerebral blood flow at the onset of exercise in women. *Exp. Physiol.*, **94**: 1139-1146, 2009a.
- Sato, K., Sadamoto, T., Ueda-Sasahara, C., et al.: Central command and the increase in middle cerebral artery blood flow velocity during static arm exercise in women. *Exp. Physiol.*, **94**: 1132-1138, 2009b.
- Williamson, J.W., McColl, R. and Mathews, D.: Evidence for central command activation of the human insular cortex during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **94**: 1726-1734, 2003.

○若手研究者による新たな挑戦3

運動時の代謝・内分泌応答を手がかりにした トレーニングの科学

後藤 一成

(早稲田大学スポーツ科学学術院)



レジスタンス運動（筋力トレーニング）とエアロビック運動（有酸素運動）の効果は、運動強度やセット間の休息时间といった要因により大きく異なる。各トレーニング法の効果をすべて明らかにすることは容易でないが、一過性の運動に対するエネルギー代謝や内分泌応答を検討することで、合理的なトレーニングプログラムを構築するうえで有用な情報を得ることができる。

本フォーラムでは、われわれがこれまでにやってきた「レジスタンス運動とエアロビック運動の実施順序」に着目した一連の研究から得られた知見を紹介する。

レジスタンス運動とエアロビック運動の組み合わせが内分泌動態およびエネルギー代謝に及ぼす影響

運動処方やトレーニングの現場では、レジスタンス運動とエアロビック運動を続けて実施することが多い。一方、これら両運動の至適な実施順序は明確にされていなかった。そこで本研究では、レジスタンス運動とエアロビック運動の実施順序の相違が各種ホルモンの分泌動態やエネルギー代謝に及ぼす影響を4つの研究を通して検討した。

研究1 長時間のエアロビック運動がその後に行うレジスタンス運動に対するホルモン応答に及ぼす影響

成人男性を対象に、①60分間のエアロビッ

ク運動（50% $\dot{V}O_2\max$ ）の20分後にレジスタンス運動を行う試技、②5分間のエアロビック運動（50% $\dot{V}O_2\max$ ）の20分後にレジスタンス運動を行う試技を設け、レジスタンス運動後における各種ホルモン（成長ホルモン、テストステロン、コルチゾールなど）の応答を比較した。その結果、60分間のエアロビック運動に引き続いてレジスタンス運動を行った場合に、血清成長ホルモン濃度の増加反応は大幅に抑制されることが明らかになった。また、この要因の一つとして、事前に実施したエアロビック運動による血中遊離脂肪酸濃度の上昇が考えられた (Goto et al. 2005)。

研究2 間欠的な高強度運動がその後に行うレジスタンス運動後のホルモン応答に及ぼす影響

研究2では、球技などの競技スポーツにおいてみられる間欠的な高強度運動がその後に行うレジスタンス運動後のホルモン応答に及ぼす影響を検討した。成人男性を対象に、①間欠的な全力ペダリング（5秒間の全力ペダリングを25秒間の休息を挟んで8セット実施）の60分後にレジスタンス運動（5種目）を行う試技（SR60）、②間欠的な全力ペダリングの180分後にレジスタンス運動を行う試技（SR180）、③レジスタンス運動のみを行う試技（R）を設け、レジスタンス運動後における各種ホルモンの応答を比較した。その結果、SR60においては、レジスタンス運動後に

おける血清成長ホルモン濃度の上昇がまったく認められなかった。また、SR180においても、レジスタンス運動後における成長ホルモンの応答はレジスタンス運動のみを実施したRに比較して抑制される傾向にあった (Goto *et al.* 2007a)。

研究3 レジスタンス運動がその後に行うエアロビック運動中の脂質代謝に及ぼす影響

研究3では、成人男性を対象に、①全身へのレジスタンス運動(6種目)の20分後にエアロビック運動(50% $\dot{V}O_2\text{max}$, 60分間)を行う試技(RE20)、②レジスタンス運動の120分後にエアロビック運動を行う試技(RE120)、③エアロビック運動のみを行う試技(E)を設け、エアロビック運動中における脂質代謝を比較した。その結果、事前にレジスタンス運動を実施したRE120では、エアロビック運動開始時に血清遊離脂肪酸濃度がEに比較して有意に高値を示し、運動中も高値のまま推移した。また、RE20ではエアロビック運動中に血清グリセロール(脂肪分解の指標)および遊離脂肪酸濃度が急激に上昇した。60分間のエアロビック運動中におけるエネルギー消費に対する脂肪の貢献度は、事前にレジスタンス運動を実施したRE60およびRE120がEに比較して有意に高値を示した。これらの結果は、レジスタンス運動に引き続いてエアロビック運動を実施した場合には、エアロビック運動のみを実施した場合に比較して運動中の脂質代謝が亢進することを示すものである (Goto *et al.* 2007b)。

研究4 エアロビック運動がその後に行うエアロビック運動中の脂質代謝に及ぼす影響

研究3では、レジスタンス運動後にエアロビック運動を実施することによって、運動中の脂質代謝が亢進することが認められた。しかしこの際に、事前に「レジスタンス運動」を実施することが必須の要因であるか否かは

明らかでない。そこで研究4では、「エアロビック運動」に引き続いて同様のエアロビック運動を反復した際に、脂質代謝の亢進が生じるか否かを検討した。成人男性を対象に、30分間の有酸素運動を20分間の休息を挟んで2セット繰り返した際の脂肪分解や脂肪利用の変化を検討した。その結果、2セット目の運動中は1セット目の運動中に比較して、血漿アドレナリン濃度の上昇、血清インスリン濃度の下降がいずれも大きいことが認められた。また、運動中における血清グリセロール濃度の上昇も2セット目の運動が1セット目を上まわることが示された (Goto *et al.* 2007)。

したがって、レジスタンス運動後にエアロビック運動を実施することによる脂質代謝の亢進効果(研究3)を得るためには、「レジスタンス運動」を事前に行うことは必須でなく、事前は何らかの運動(レジスタンス運動、エアロビック運動、スプリント運動など)を行い交感神経活動や内分泌系を活性化することが重要であると推察される。また、これらの諸点を応用すると、エアロビック運動を行う際には、比較的短時間の運動を間欠的に実施することにより、脂質代謝の亢進を期待できると考えられる。実際に、60分間の運動を連続して実施する「連続法」による運動と、30分間の運動を休息を挟んで2回行う「分割法」による運動の効果を比較したところ、特に、運動終了後の安静時に、分割法による運動は連続法による運動に比較して脂肪分解および脂肪利用の程度がいずれも有意に高値を示すことが認められた (Goto *et al.* 2007)。さらに、運動終了後における脂肪利用の増加効果は、30分間の運動を10分間×3セットに分割した際にもみられることを近年認めている。

まとめ

一連の研究結果は、レジスタンス運動とエアロビック運動を続けて実施する際に、レジスタンス運動に引き続いてエアロビック運動

を行う方法が合理的であることを示唆するものである。また、エアロビック運動を反復して（間欠的に）実施することにより、脂質代謝の亢進を期待できる可能性を示すものである。これらの研究はいずれも、一過性の運動に対する代謝・内分泌応答を検討したものである。したがって、長期のトレーニングによる筋機能、筋形態の変化、体組成の変化を併せて検討することで、科学的根拠をもった効果的な運動処方確立できよう。

参考文献

Goto, K., Higashiyama, M., Ishii, N. and Takamatsu,

K.: Prior endurance exercise attenuates growth hormone response to subsequent resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **94**: 333-338, 2005.

Goto, K., Ishii, N., Kurokawa, K. and Takamatsu, K.: Attenuated growth hormone response to resistance exercise with prior sprint exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **39**: 108-115, 2007a.

Goto, K., Ishii, N., Mizuno, A. and Takamatsu, K.: Enhancement of fat metabolism by repeated bouts of moderate endurance exercise. *J. Appl. Physiol.*, **102**: 2158-2164, 2007.

Goto, K., Ishii, N., Sugihara, S., Yoshioka, T. and Takamatsu, K.: Effects of resistance exercise on lipolysis during subsequent submaximal exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **39**: 308-315, 2007b.

○若手研究者による新たな挑戦 4

筋発揮張力維持法（スロートレーニング）の
効果とそのメカニズム

谷本 道哉

(順天堂大学スポーツ医学研究所)



はじめに

筋力トレーニングによる筋肥大・筋力増強はスポーツ選手のパフォーマンスアップのためだけでなく、健康づくりやリハビリテーションにおいても重要な役割を果たしている。特に近年問題とされるサルコペニア（加齢性筋萎縮症）予防のための処方として筋力トレーニングの意義は大きい。

しかしながら、十分な筋肥大・筋力増強効果を得るための筋力トレーニングは1回最大挙上重量の70%（70% 1RM）程度以上の力学的負荷が必要とされている。整形外科的傷害のリスクなどを考えると、中高齢者やリハビリテーションでの運用には問題がある。

筋発揮張力維持法（low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation：以下LST）は50% 1RM程度の比較的軽負荷を用いながらも、持続的な筋発揮張力を維持することで大きな筋肥大・筋力増強効果を得られるトレーニング法である。その筋肥大誘発のメカニズムは持続的な筋力発揮による血流の制限、筋内の代謝環境の変化と関係していると考えられる。これまでのわれわれの研究で得られた知見をもとに以下に概説したい。

1. 筋発揮張力維持法（LST）と筋内環境の変化

筋力発揮に伴う筋血流量はアイソメトリック収縮条件では40% MVC（maximum vol-

untary contraction）程度から大きく制限されはじめるとされている。これは動的な運動における50% 1RM程度に相当する。

LSTは3秒上げ・3秒下しでゆっくりと動作を行うことでトレーニング動作中の筋発揮張力を維持し続けて、筋力発揮による筋血流の制限を狙ったトレーニング法である。LSTの動作で8回程度を反復できる重量を設定すると筋血流制限の期待できる50% 1RM程度の負荷となる。

若年男性を用いてLSTによる膝伸展運動を8回×3セット行ったところ、運動中の筋酸化レベルが大きく低下した。また、血中乳酸濃度、血漿成長ホルモン濃度が大きく増加し、その程度は通常80% 1RMの負荷を用いた方法と同程度であった（Tanimoto and Ishii 2006）。

LSTでは血流が制限されることで筋内の酸化レベルが低下したことが、乳酸などの代謝産物の蓄積やホルモン応答を誘発したと示唆される。なお、運動による筋酸化レベルやホルモン応答などは外的な圧迫によって血流を制限する加圧トレーニングの場合と同様の変化を示すことも確認している。

2. 筋肥大・筋力増強効果

LSTによる筋肥大・筋力増強効果をわれわれはいくつかの研究で検証している。前述の若年男性による膝伸展運動の介入実験では、週2回、3か月間の実施により膝伸展筋群の

筋横断面積 (+5.4±3.7% : 平均±標準偏差), アイソメトリック最大膝伸展筋力 (+8.3±6.1%) がともに有意に増加した。

また, 若年男性を用いた全身の筋力トレーニングプログラムや高齢者を用いた膝伸展屈曲運動においても LST による有意な筋肥大, 筋力増強効果が認められた (Tanimoto et al. 2008)。

3. 筋活動様式への影響

LST は持続的に筋発揮張力を維持しながら動作するトレーニング法であり, これは筋・腱の弾性作用等を有効に利用したエネルギー効率のよい「反動や慣性を使った」実動作の動作形態と大きく異なる。LST を実施することが実動作の動作形態に何らかの影響を与える可能性が考えられる。

LST によるスクワットトレーニングを13週間実施した前後での自転車ペダリング運動時の筋力発揮形態を調べたところ, LST の実施によって大腿四頭筋の筋放電パターンが瞬間的なものから持続的なものに, ペダル踏力パターンも平坦なものに変化することが観察さ

れた (Tanimoto et al. 2009)。このような動作の変化はエネルギー効率という点から望ましくないものと考えられる。

LST を中高齢者の生活機能やアスリートの競技力向上に活かすには, 動作を改善させる別のトレーニング処方と組み合わせることが理想的であると考えられる。

参考文献

- Tanimoto, M., Arakawa, H., Sanada, K., Miyachi, M. and Ishii, N.: Changes in muscle activation and force generation patterns during cycling movements because of low-intensity squat training with slow movement and tonic force generation. *J. Strength Cond. Res.*, **23**: 2367-2376, 2009.
- Tanimoto, M. and Ishii, N.: Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J. Appl. Physiol.*, **100**: 1150-1157, 2006.
- Tanimoto, M., Sanada, K., Yamamoto, K., Kawano, H., Gondo, Y., Tabata, I., Ishii, N. and Miyachi, M.: Effects of whole-body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men. *J. Strength Cond. Res.*, **22**: 926-1938, 2008.

○特別講演

身体活動は生活習慣病予防にどこまで貢献できるか － 運動疫学研究のエビデンスから－

澤田 亨
(東京ガス健康開発センター)



1. 疫学とは

疫学とは、「人間集団を対象に、疾病あるいは健康異常の発生を規定する因子（危険因子：リスクファクター）を明らかにすることによって、これらの疾病や異常を予防することを目的とした学問」と定義される（重松と柳川 1991）。疫学と健康政策の関係について、馬場園（2000）は「疫学は健康に関して原因と結果との関連を定量することによって知見を得、実行可能な予防対策を行うことを目的としており、健康政策とは関連の深い学問である」と述べるとともに、わが国において健康政策に疫学が活かされてこなかった原因の一つに「疫学の考え方が必ずしも広く理解されてこなかった」と述べている。

坪野（2003）は「健康情報の信頼性を評価するためのフローチャート」を作成し、その中で信頼ある健康情報を提供する研究デザインは「ランダム化比較試験」および「コホート研究」であると示している。スポーツ科学は、身体活動もしくは運動を科学することを通じて人々の健康に貢献することが役割の一つであると考えられる。しかしながら、わが国においては、これまで「疫学的な視点からのスポーツ科学研究（以下、運動疫学研究）」は少なく、「ランダム化比較試験」や「コホート研究」といった研究デザインを用いた研究は数が限られていた。しかしながら、近年いくつかの運動疫学研究が報告されはじめており、同時にそれらの運動疫学研究を科学的根

拠（エビデンス）とした「身体活動あるいは運動に関する健康政策（以下、身体活動政策）」が打ち出されはじめています。

2. 運動疫学研究（エビデンス）に基づく身体活動政策

1) 健康日本21

厚生省（現在の厚生労働省）は、2000年に「健康日本21（正式名称：21世紀における国民健康づくり運動）」を発表した。「健康日本21」は、21世紀のわが国を、すべての国民が健やかで心豊かに生活できる活力ある社会とすることを目的に2010年度を目途とした目標を作成し、その目標達成に取り組む健康政策である。「健康日本21」ではさまざまな研究を根拠に、各分野の専門家が具体的な数値目標を設定している。身体活動の分野（身体活動政策）を担当した荒尾孝、川久保清、下光輝一は、「健康日本21における共通のキーワードは、集団戦略、目的志向戦略、科学的根拠、社会的環境である。（中略）身体活動と健康についての科学的根拠については欧米の疫学的研究に頼らざるをえない点があった」と述べており、日本人を対象とした運動疫学研究の不足が「身体活動政策」立案の課題であることを指摘している（川久保ら 2000）。

2) 新しい健康づくりのための運動基準・指針

2006年に厚生労働省は「新しい健康づくりのための運動基準・指針」という身体活動政策を策定した。この身体活動政策においては、

「健康づくりのための身体活動・運動量の基準値」や「健康づくりのための最大酸素摂取量の基準値」を作成するために94本の運動疫学研究が参考文献として採用されている。これらの多くの研究は欧米人を対象とした研究であったが、日本人を対象とした研究も8本参考にされており「健康日本21」立案時の課題が少しずつではあるが解決されはじめている。今後さらに日本人を対象にした研究が増えることによって、日本人を対象にした運動疫学研究をエビデンスにした日本人により適した身体活動政策が策定されることが期待される。

3. 運動疫学研究

われわれが実施している「東京ガス・スタディ」では、わが国の身体活動政策の策定にエビデンスを与えることを目的に、有酸素能力と生命予後あるいは生活習慣病の関係を調査している。「東京ガス・スタディ」は、東京ガスにおいて実施されている東京ガスの社員を対象としたコホート研究である。追跡開始時点で実施した最大下運動負荷テストで有酸素能力（最大酸素摂取量）を測定し、その結果から社員を4～5群にグルーピングしている。そして、各群を5年以上追跡して各種の疾患罹患や死亡原因を調査し、追跡開始時点の有酸素能力との関係を調査している。

1) 有酸素能力と高血圧 (Sawada et al. 1993)

対象者：男性 3,305 名 (年齢：20～55 歳)
追跡期間：5 年間 (追跡期間中の高血圧罹患患者数：425 名)

統計手法：ロジステック回帰モデル

調整項目：年齢、体脂肪率、血圧、高血圧家族歴、喫煙習慣、飲酒習慣

結果：相対危険度 0.53 (最小五分位群と最大五分位群の比較)

2) 有酸素能力と総死亡 (澤田と武藤 1999)

対象者：男性 9,986 名 (年齢：19～59 歳)
追跡期間：14 年間 (追跡期間中の総死亡者数：247 名)

統計手法：比例ハザードモデル

調整項目：年齢、BMI、高血圧の有無、尿糖

結果：相対危険度 0.39 (最小五分位群と最大五分位群の比較)

3) 有酸素能力とがん死亡 (Sawada et al. 2003b)

対象者：男性 9,039 名 (年齢：19～59 歳)
追跡期間：16 年間 (追跡期間中のがん死亡者数：123 名)

統計手法：比例ハザードモデル

調整項目：年齢、収縮期血圧、BMI、喫煙習慣、飲酒習慣

結果：相対危険度 0.41 (最小四分位群と最大四分位群の比較)

考察：これまで欧米人を対象にした研究で、有酸素能力とがん死亡の間に負の関係が認められることが報告されていた。本研究は欧米人と異なる部位のがん死亡が多い日本人においても有酸素能力を維持・向上させることでがん死亡が予防できる可能性を示唆している。

4) 有酸素能力と2型糖尿病 (Sawada et al. 2003a)

対象者：男性 4,747 名 (年齢：20～40 歳)
追跡期間：14 年間 (追跡期間中の2型糖尿病罹患患者数：280 名)

統計手法：比例ハザードモデル

調整項目：年齢、収縮期血圧、BMI、糖尿病家族歴、喫煙習慣、飲酒習慣

結果：相対危険度 0.56 (最小四分位群と最大四分位群の比較)

4. おわりに

国民の健康の保持・増進に関して、「健康政策」は重要な役割を担っている。そして運動疫学研究は、「身体活動政策」の策定のためのエビデンスとなるものである。運動疫学研究をエビデンスとして作成された「身体活動政策」は、政策としてはより望ましい方法論に基づいて立案された政策となり、その成果も

期待できるものである。しかしながら、運動疫学研究の数が不十分な場合は、政策立案者の経験や直感にたよった政策となり、科学的根拠が乏しく成果の不明瞭な政策となってしまう。わが国における「身体活動政策」が「国民が健やかで心豊かに生活できる活力ある社会」に寄与するためには、質の高い身体活動政策を策定するためのエビデンスとして日本人を対象とした質の高い運動疫学研究がさらに数多く報告されることが望まれる。

参考文献

- 重松逸造, 柳川 洋 監修: 新しい疫学. 日本公衆衛生協会, 1991.
- 運動所要量・運動指針の策定検討委員会: 健康づくりのための運動基準 2006～身体活動・運動・体力～報告書. 運動所要量・運動指針の策定検討委員会, 2006.
- 馬場園明: 疫学から健康政策へ. 運動疫学研究, **2**: 2-7, 2000.
- 川久保清, 下光輝一, 荒尾 孝: 健康日本 21: 身体活動・運動分科会報告における運動疫学の役割. 運動疫学研究, **2**: 42-50, 2000.
- 澤田 亨, 武藤孝司: 日本人男性における有酸素能力と生命予後に関する縦断的研究. 日公衛誌, **46**: 113-121, 1999.
- Sawada, S., Tanaka, H., Funakoshi, M., Shindo, M., Kono, S. and Ishiko, T.: Five year prospective study on blood pressure and maximal oxygen uptake. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol., **20**: 483-487, 1993.
- Sawada, S.S., Lee, I.-M., Muto, T., Matuszaki, K. and Blair, N.S.: Cardiorespiratory fitness and the incidence of type 2 diabetes: prospective study of Japanese men. Diabetes Care, **26**: 2918-2922, 2003a.
- Sawada, S.S., Muto, T., Tanaka, H., Lee, I.-M., Paffenbarger, R.S., Shindo, M. and Blair, S.N.: Cardiorespiratory fitness and cancer mortality in Japanese men: a prospective study. Med. Sci. Sports Exerc., **35**: 1546-1550, 2003b.
- 坪野吉孝: 健康情報の伝達と吟味. EBM ジャーナル, **14**: 12-15, 2003.

《ポスター発表》

2008年度基礎体力研究所研究成果

1. 振動刺激が随意筋力発揮時の運動単位活動と筋酸素化動態におよぼす効果
加茂 美冬
日本女子体育大学
2. 体育大学生における運動中の心拍出量および一回拍出量の動態の検討
福田 平¹, 松本 晃裕², 長浜 尚史³, 前川 剛輝⁴, 小松 裕⁴, 川原 貴⁴
¹ 東京大学, ² 日本女子体育大学, ³ 亜細亜大学, ⁴ 国立スポーツ科学センター
3. バネ能力による走パフォーマンス向上の可能性
佐伯 徹郎
日本女子体育大学
4. 競技特性の異なる女子スポーツ選手の基礎代謝量
田口 素子¹, 辰田和佳子², 樋口 満³
¹ 日本女子体育大学, ² 国立スポーツ科学センター, ³ 早稲田大学
5. 高強度レジスタンストレーニングが静的握力発揮時の心拍応答に及ぼす影響
定本 朋子¹, 佐藤 耕平¹, 平澤 愛¹, 斉藤 満²
¹ 日本女子体育大学附属基礎体力研究所, ² 豊田工業大学
6. 高強度レジスタンストレーニングが静的握力発揮時の腎動脈血流調節に及ぼす影響
平澤 愛¹, 佐藤 耕平¹, 斉藤 満², 山本 幸弘³, 定本 朋子¹
¹ 日本女子体育大学附属基礎体力研究所, ² 豊田工業大学, ³ GE Healthcare Japan
7. 最大努力のハンドグリップレジスタンストレーニングは疲労困憊に至る静的運動時の脳血流応答を亢進させる
佐藤 耕平¹, 平澤 愛¹, 斉藤 満², 定本 朋子¹
¹ 日本女子体育大学附属基礎体力研究所, ² 豊田工業大学
8. 静的運動時における非活動肢の導管静脈血管応答に対する運動強度の影響
大上 安奈, 佐藤 耕平, 平澤 愛, 定本 朋子
日本女子体育大学附属基礎体力研究所

〈ワークショップ報告〉

超音波で筋・皮脂厚を測る ～超音波 B-mode 法による筋厚・皮下脂肪厚の測定～

村岡 慈歩

(明星大学)



基礎体力研究所主催のワークショップが平成 21 年 6 月 15 日に行われた。今回は「超音波で筋・皮脂厚を測る」というタイトルで、この分野において精力的に研究をなされている明星大学の村岡慈歩先生を講師としてお招きした。

ワークショップの前半において、村岡先生には超音波法に関して講義形式でお話していただいた。はじめに、先生は超音波法の原理を説明された。超音波とは可聴音 (20 kHz まで) を超える高い周波数の音波で、音波の一部は密度が異なる物質との境界線で反射してくる性質をもっている。この性質を利用し、境界線から超音波が反射して戻ってくるまでの時間から境界線までの距離を計算し、画像化する方法が超音波法である。超音波法の大きな特徴としては、非侵襲的かつ生体に害を及ぼすことなく生体の軟組織をリアルタイムで画像化できることであり、測定に際して特別な資格は必要ないものの、測定者の経験によって結果に差が出る、つまり技術が必要となることであった。次に、測定を始める前にしなければならないことを二つ説明された。一つ目は「筋厚・皮脂厚を測定する目的を明確にする」こと。具体的には、トレーニング状態を知るために筋厚を測るのか、EMG 電極の位置を決定するためなのか、また、筋赤外線分光計測定位置の皮下脂肪厚を知るためなのかにより、筋のどの部位を測定するの

か、被験者はどのような姿勢となるのか異なることである。二つ目は「正確な形態計測を行う」こと。体格の異なる被験者間の値を比較するために、筋厚・皮脂厚の測定部位を相対的に同じ位置にする必要があり、長さの測定には金属製の、周径囲の測定には布製の巻き尺を用いることであった。このときの注意点として、長さを測定するときは巻き尺を皮膚表面に沿わせないこと (筋が発達した人では、長さを過大評価してしまう)、周径囲を測定するときは巻き尺を強く締めすぎないこと、などをあげられた。また、この形態計測によって筋厚・皮脂厚の測定位置が決まってしまうため、測定は慎重に行う必要があることを付け加えられた。そして、ワークショップ前半の最後には、超音波法による筋厚・皮脂厚の測定手順を、今回は B モード法について説明された。「プローブの先端にゼリーを塗布し、測定部位の皮膚にあて、プローブの角度や位置を変えることで目的とする画像を得る」というのが一連の流れであるが、この際の注意点として次の 2 点をあげられた。一つ目は、ゼリーの厚さの分だけ皮脂厚を過大評価してしまうので「皮脂厚を測定するときはゼリーをつけすぎない」こと、二つ目はプローブを皮膚に強く押し付けすぎると組織がつぶされてしまい厚さを過小評価することになるので「プローブを押し力を適切にする」ことであった。



ワークショップの後半において、前半の最後で説明されたBモード法の測定手順をもとに、村岡先生に実際に筋厚・皮脂厚の測定を実演していただき、その後、参加者全員で測定を行った。先生は容易に測定しておられるようにみえたが、実際に測定をしてみると、対象とする筋または皮下脂肪の鮮明な画像を写し出すのは想像以上に難しく大変苦勞した。会場のあちらこちらで参加者の奮闘している姿がみられ、何度も練習して技術を習得する必要があると感じた。村岡先生は最後に、「美しい画像」すなわち「正確な画像」を得るために、①測定しようとする部位の解剖学的情報を正確に把握すること、②装置の正しい使用方法を身につけること、そして③正確な形態計測を行うこと、が重要であると説明された。そして、習得するまでは、熟練者のチェックを受けながら、とにかく練習を重ねていくことが必要であるとも付け加えられた。

スポーツ科学や体力科学の現場では、アスリートの筋量および皮下脂肪厚を視覚的に定量化し、トレーニングプログラム立案にフィードバックする試みや、コンディショニング



維持の有効な指標として用いる試みが数多く見受けられる。また、これらのデータは、栄養管理や食育を実施するうえでの有用な情報源となり、さらには、発育期の子どもの骨格筋や身体組成の発達を理解するうえでも必須の情報である。今回のワークショップを通して、参加者の方には超音波法をより身近なものに感じ、興味をおもちいただけたのではないだろうか。最後に、先生方をはじめ助手や学生など多くの方が参加してくださったことに感謝の意を表します。

(文責：大上安奈)

運動時における循環調節機構の統合的解明

– スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築に向けて–

最終成果報告書から抜粋

I. プロジェクトの意義と研究経過

1. 本プロジェクトの背景と目的
2. 本プロジェクトの課題への取り組み方
3. 運動時循環調整研究の拠点整備
4. 研究組織および研究体制
5. プロジェクト達成目標と達成状況および優れた成果

II. プロジェクトの研究成果概要

1. 運動特性との関連からみた運動時の血流再分配
2. セントラルコマンドと反射性制御からみた運動時の循環調節機構
3. 身体特性の相違と適応からみた循環調節
4. 運動時の循環応答からみた提案– エビデンスに基づく運動プログラムの構築に向けて–

I. プロジェクトの意義と研究経過

1. 本プロジェクトの背景と目的

「動く」ことは、人間存在の根幹をなすものである。しかし、現代社会において、特に先進国と言われていた国々では、日常的な身体活動の機会が減少し、それが人々の心身に重大な影響を与えていることが指摘されている。我が国においても、健康阻害が問題となっており、生活習慣病予防のための運動の推進が国の施策にも取り上げられているところである。このような危機的な状態は成人のみならず、子ども達にも当てはまり、遊びや運動の減少が彼らの心身の健全な発達を阻害していると危惧されている。すなわち、すべての人々にとって、意図的な運動の実施が極めて重要になっているのが現状である。

このような背景を踏まえて、身体運動の推進が提唱され、国レベルの運動目標値が設定されているが、すべてを網羅した明確な指針が示されているわけではない。その理由は、「動く」ことに対する身体適応のメカニズムとそれを根拠とした至適運動について、必ずしも十分な科学的エビデンスが蓄積されているとは言えないからである。なかでも、生命の安全性に直結し、かつ多数の因子が複雑に作用する運動時の循環調節機序解明は、すべての人々の運動を推進する前提として必要不可欠なことである。運動は心身に特異的な影響を与えるものであり、対象者の特性に合わせた適切な運動でなければ効果がないだけでなく安全性も確保されないからである。

運動に対する循環系の適応は極めて巧妙にできている。複雑な仕組みになっていることは、1つの系が破綻しても他の系が補償し、生命維持に必要な循環システムを破綻させないような安全弁が用意されているということでもある。安静時につくられた循環システムの安定性は、運動という外乱によって一旦はその整合性が破られる。そこで、運動開始と同時に、運動を遂行するために必要な循環調節が行われ、同時に生命を維持するための循環調節という2つの方向の再調整がなされる。効果的な運動と同時に運動の安全性を考えなければならない所以である。しかし、運動に対する循環系調整の機序はまだ全貌が明らかにされていない。

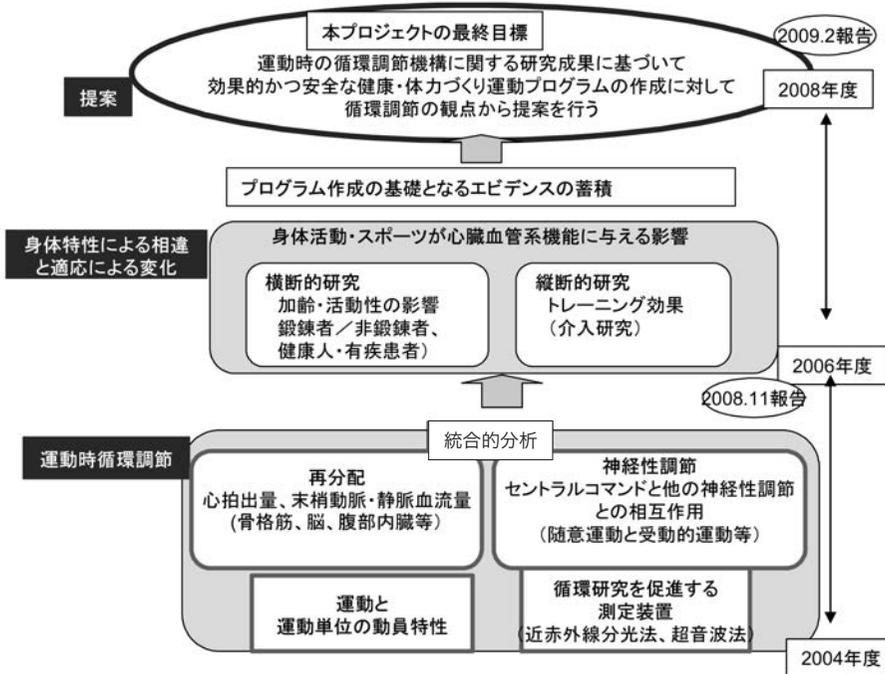
ヒトの運動時における循環調節機構に関する最近の研究は、微小電極交感神経図法による神経性調節、

超音波法による心拍出量と身体各部位への動脈血流分配、近赤外線分光法を用いた活動筋代謝と筋循環、生化学的手法による血管内皮細胞由来の物質（NO、エンドセリン）の分泌とその調節機構などの課題に焦点があてられてきた。しかし、神経性調節のうち、セントラルコマンドの作用機序に関しては長い研究史があるにもかかわらず、運動時の機序については着手されたばかりである。また、血流分配に関しても、骨格筋や皮膚への循環に関しては多くの知見があるものの、脳や腹部内臓への血流分配とその調節については、十分な解明がなされていない。さらに、血液の“循環”を可能にする静脈還流に関する研究成果は極めて少ない。また、それらの成果も個別のことであり、相互に補完し合って整合性を維持しようとする循環調節機序の統合的解明にはなっていなかった。運動推進を考えるにあたってさらに重要な問題点は、これらの循環調節機序が、運動様式、使用筋群（局所的・全身的、使用部位）、運動強度・運動頻度・運動持続時間の様な運動特性別に明らかにされてこなかったことである。

このような研究の現状を踏まえて、本プロジェクトでは、活動性だけでなく、生命の安全性に直結する運動時の循環調節に関する科学的エビデンスを、運動特性と関連させて蓄積し、それらを統合して得られたエビデンスを基盤とし、健康・体力づくりのための運動プログラムの構築に向けた提案を行うことを目指している。本プロジェクトで得た新知見は、学術的な貢献をすると同時に、国の重要かつ喫緊の課題になっている国民の運動推進に対しても多大な貢献ができると考えている。

2. 本プロジェクトの課題への取り組み方

課題解明に向けた本プロジェクトでの取り組み方は図I.1-1に示した通りである。5年間のプロジェクト研究期間の最初の3年間（2004～2006年度）は、運動時の循環調節に関する基礎的知見を集積し、それを統合して循環調節の解明に貢献することを目指した。そのために、運動時の生体応答研究の基盤となる運動単位の動員特性を明らかにするとともに、人を対象とした循環研究に必要な非侵襲的計測法（近赤外線分光法、超音波法など）の研究への適切な



図I.1-1 研究の課題の取り組み方

適用等を進めながら、1) 運動時の血流再分配と2) 循環系に対するセントラルコマンドを中心とした神経性調節に焦点を当てた研究が遂行された。中心的課題である「運動時の血流分配に関する研究」と「運動時のセントラルコマンドが循環に与える影響に関する研究」はプロジェクトメンバー全員が参加する共同研究として行われた。さらに、特化したテーマについては、個別に研究を実施し、プロジェクト全体で討議して統合するという研究体制をつくった。これらに関する成果は、2006年11月の中間報告会で公表された。さらに、それらを統合した運動時の循環調節の機序については、2008年11月の国際シンポジウムで報告し、この分野で精力的に新知見を発表している海外の招待講演者や国内の研究者との議論を展開して、本プロジェクトの学術的成果を確認した。

プロジェクト最後の2年間（2007～2008年度）では、それまでの成果を様々な身体特性を持つ対象者で検証することと、運動の継続が循環調節に与える影響を横断的、縦断的に明らかにすることを中心課題とした。そして、それまでに得られたすべての

知見をもとに、スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築に対して、循環調整の観点から提案を策定した。最終報告会（2009年2月）ではこれまでの成果とそれに基づく提案を、研究者だけでなく、一般の人々にも公開した。

以上のように、本テーマに関して学術的な貢献をすること、それをもとに、運動プログラム構築にむけた提案を行い、社会のニーズに応えることが本プロジェクトの学術面でのねらいであった。

3. 運動時循環調整研究の拠点整備

文部科学省学術フロンティア推進事業は、私立大学の大学院、研究所の中から、研究実績をあげ、将来の研究発展が期待される卓越した研究組織を選定し、内外の研究機関との共同研究に必要な研究施設、研究装置・設備の整備に対し、重点的かつ総合的支援を行うものとされている。したがって、本プロジェクトでは課題とする研究を推進して学術的貢献をすると同時に、運動時の循環調節研究の拠点となるようにハード・ソフト両面の研究環境の整備を行う

こともねらいの一つである。

本プロジェクトでは、初年度に脳の酸素動態を非侵襲的・連続的に計測する近赤外線分光法や解像度が高く、画像分析が自動化した超音波測定装置を購入した。2年目以降は既存の計測装置や運動負荷装置をシステム化して、ハード・ソフト面の整備が一段と進んだ。

多様な因子によって調節されている循環調節について、様々な様式・強度・持続時間の運動を用い、異なる姿勢や環境の影響等を考慮しながら、性・年齢・身体特性の異なる対象者で検証するには多くの研究者による共同研究が必要である。本プロジェクトでは本研究所と他の研究機関との共同研究や本研究所を拠点として学内外の若手研究者が参加する研究プロジェクトを実施し、本分野の研究拠点形成を目指した取り組みを行った。このような整備により、プロジェクト終了後も研究実施主体である日本女子体育大学の研究のさらなる研究活性化の中心となり、学内外の共同研究の拠点となるものである。

4. 研究組織および研究体制

4.1 研究組織と研究者の役割

平成16年度当初は8名の研究者と事務職員1名により、平成17年度からは、新たに基礎体力研究所助手佐藤耕平氏（後に助教）が加わり9名の研究者となり、事務職員1名、研究支援PDスタッフ1名（岩館雅子氏）を核とした研究組織を形成した。そして平成18年4月にPDスタッフの異動があり〔岩館雅子氏から笹原（上田）千穂子氏へ〕、さらに平成19年10月より澁谷顕一氏を新たなPDスタッフとして追加採用した。その後笹原（上田）千穂子氏が平成20年10月に辞職したが、その後も引き続き研究メンバーとして課題の遂行にあたった。

したがって、表I.4-1に示したようなメンバーが本プロジェクトの研究組織である。6名のメンバーは他機関に属するが、機関相互の合意のもとで実施する通常の共同研究組織ではなく、研究者個人が日本女子体育大学附属基礎体力研究所の研究グループに参画するという組織形態をとった。研究代表者および各研究者のプロジェクト内での役割・責任は表I.4-1のとおりである。その役割分担は明確であり、効率

的なプロジェクトの推進を図った。

4.2 研究プロジェクトに参加する研究者・大学院生・PDの状況

本プロジェクトでは、各課題および共同研究課題につき、研究者（1～12名）と、研究支援PDスタッフ（1～2名）、本学および他大学の大学院生（1～4名）の実験補助者を加えた研究チームを形成し、各プロジェクトを遂行した。また人的支援の必要な課題や医療施設で実施すべき課題では、必要に応じて、本学の教職員、他大学の研究者が参加した形で研究を実施した。学内の健康管理センター理学療法士 板倉尚子氏との連携、学外では女子美術大学 石田良恵氏、お茶の水女子大学 水村真由美氏、独立行政法人理化学研究所 生体力学シミュレーション 特別研究ユニット 小田俊明氏と連携した。さらに学内外の大学院修士課程および博士課程（日本女子体育大学大学院、お茶の水女子大学大学院、鹿屋体育大学大学院）の学生が実験補助スタッフとして参加した。小人数であるが、高い活動力の研究者・大学院生・PDが研究に参加する研究体制をとった。

4.3 研究チーム間の連携状況

本プロジェクトに参加する国内研究者の班員会議を平成16年度に2回、平成17～20年度において年3～4回開催し、これまでに14回の班会議を開催した。班会議では、研究計画立案の問題点、各課題に関する研究成果報告会等を開催し、逐次研究の進捗状況を確認し、相互に意見交換する場を設けた。この会は研究推進上の実務的意義もあるが、各研究者の専門性を統合できるような議論の場として機能した。循環調節にかかわる様々な因子を統合的に捉えて、生理的機序を解明するという本プロジェクトの趣旨を達成するために、極めて重要な位置を占めた。イタリアの研究者の参加は2回であったが、討議課題についてはあらかじめ電子メールで意見交換し、さらに随時連絡をとり、円滑な連携ができた。なお、平成16年度には国際シンポジウムを兼ねた班会議に出席し、平成17年度にはイタリア研究グループのPD研究者が約2週間基礎体力研究所に滞在し、国内研究者を含む13名と連携した共同研究を実施した。さらに平成19年度には国内メンバーが連携した共同

表I.4-1 研究組織および研究体制

研究者氏名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
加賀谷淳子	日本女子体育大学名誉教授	骨格筋への血流分配と筋からの血液還流	運動特性と骨格筋への血流分配への関係解明, 研究全体の統括と推進. 平成16～18年度の研究代表者.
定本 朋子	日本女子体育大学教授	運動時の内臓器官および脳の血流動態とその調節機構	非活動組織血流からみた運動時の循環調節の解明, 研究の実施に関する統括と推進. 平成19～20年度の研究代表者.
加茂 美冬	日本女子体育大学准教授	運動様式, 運動強度, 運動時間および筋代謝からみたモーターユニットの動員特性	筋疲労発現, 運動特性, 筋代謝との相互関連の解明
奥山(清水) 静代	慶應義塾大学体育研究所講師	運動時の心拍出量の変化と各種血管への血流分布	中心静脈と末梢循環のマッチングとミスマッチング
佐藤 耕平	日本女子体育大学附属基礎体力研究所助教	運動時の呼吸循環系変化に対する中枢性・末梢性の神経調節	呼吸循環応答にかかわる調節因子の解明
斉藤 満	豊田工業大学教授	運動時の筋交感神経活動からみた中枢指令および反射性制御の調節機構	自律神経による運動時循環調節メカニズムの解明
長田 卓也	東京医科大学講師	有疾患における運動および筋虚血に対する血流調節プロフィール	低体力者や有疾患者の循環調節メカニズムの解明と運動療法の基盤構築
Marco Ferrari	University of L'Aquila (Italy) 教授	脳循環・代謝測定用近赤外線分光法の開発	研究装置の開発
Valentina Quaresima	University of L'Aquila (Italy) 教授	近赤外線分光法による運動時の脳循環・代謝の変化	脳への血流分配にかかわる調節機構の解明
岩館 雅子	学術フロンティア支援スタッフ, ポスドク研究員	運動準備期のセントラルコマンドの働き	セントラルコマンドと循環応答の対応関係の解明, 各研究プロジェクト実施のための補助や調整
笹原(上田) 千穂子	学術フロンティア支援スタッフ, ポスドク研究員, 東海学園大学講師	筋の酸素代謝特性と運動時循環応答との関連	運動強度と筋の酸素代謝特性との関係を解明およびプロジェクト実施のための補助や調整
澁谷 顕一	学術フロンティア支援スタッフ, ポスドク研究員	運動時における一次運動野の酸素化動態	筋出力調節時の左右半球間相互作用の解明およびプロジェクト実施のための補助や調整

(平成21年3月31日付)

研究を約3ヵ月にわたり実施した。このように、本プロジェクトでは、少人数の特性を活かした密な情報交換と連携により、高い活動レベルを維持することができた。

4.4 研究支援体制

学術フロンティア担当事務員として土井美由紀氏(派遣社員, 週4日で16時間勤務)を平成16年度か

ら採用した。また研究支援スタッフとして学術フロンティアPD研究員〔岩館雅子氏は平成17年4月～19年3月まで, 笹原(上田)千穂子氏は平成19年4月～20年9月まで, 澁谷顕一氏は平成19年10月～平成21年3月まで〕を採用し, 支援体制が整えられた。研究経費や実験補助者への謝金支払い, また研究者間の連絡事項といった事務経理全般については, 学術フロンティア担当事務員が行うこととした。一

方、研究内容に直接かかわる事務作業については研究支援スタッフとPD研究員が担当することにした。

基礎体力研究所技術職員（平成16～17年度大森美美子氏，平成18年度森山真由美氏，平成19～20年度平澤愛氏）が、実験装置の整備や実験補助者として、必要に応じて研究支援に加わった。また本プロジェクト事務・経理の全体管理は、基礎体力研究所事務長および本学の事務局が担当し、さらに経理的なことに関しては学校法人二階堂学園法人本部財務部が担当するという体制をとった。

5. プロジェクト達成目標と達成状況および優れた成果

5.1 プロジェクト達成目標

本プロジェクトの構想調査作成時に本プロジェクトの達成すべき数値目標を次のようにした。平成16～18年度には、運動時の循環調節の研究基礎を確立し、「学会発表25篇以上、レフリー付論文公表10篇以上、公開セミナー・シンポジウム2回、研究成果報告書の刊行1回、中間報告会（研究成果報告会）1回」とした。平成19～20年度には、応用的研究を展開し、エビデンスに基づく安全で効果的な運動のあり方を提言することを目標として、「学会発表20篇以上、レフリー付論文公表10篇以上、公開セミナー・シンポジウム1回、国際シンポジウム1回、最終研究成果報告書の刊行1回、最終成果報告会1回」とした。

5.2 優れた成果と特筆事項

本研究プロジェクトの目的は、「多数の因子が複雑に作用する運動時の循環調節機構について、運動特性と身体特性との関連から種々の循環動態を検討し、得られた成果を統合的に理解することにより、最終的には『安全で効果的な運動プログラムの構築に向けた提案』をすること」であった。5年間にわたる本プロジェクトは、多くの成果をもたらせた。またそ

れらのエビデンスに基づいた健康・体力づくりのための運動プログラム構築に向けた提案ができた点であった。5.1に示した達成目標に対応させると、公開シンポジウム3回、国際シンポジウム2回、中間報告会1回、年次研究成果報告書の刊行、学会発表130回、学術論文84篇、書籍10篇、その他の発表4回、その他の論文は35件と、すべての達成目標をクリアした。

公表された学会発表のなかで2演題が学会賞（アジアスポーツ医学会，日本体力医学会）を獲得した。さらにプロジェクトメンバーの加賀谷淳子氏が平成19年に第10回秩父宮記念スポーツ医科学賞（功労賞）を受賞した。これらの受賞は、プロジェクトの研究成果の質が評価されたこと、そして加賀谷氏を中心とする共同研究者の業績と社会貢献が広く認知され評価されたことを示していた。

また、本プロジェクトにより、関連分野の研究者および大学院生による活性化と研究拠点形成が実現し、定着した。多数の大学院生や若手研究者が公開セミナー、シンポジウム、大学院生・若手研究者を育成するためのセミナー、国際シンポジウム、公開フォーラムに参加し、新たな共同研究や研究会の開催も生まれた。特に2回の国際シンポジウムの開催（平成16年度および20年度）では、世界的研究リーダーでもある専門家を含むシンポジウムに多数の参加者があり、充実した情報交換と討論が行われた。その成果の一部は国際誌の論争課題において見解を表明することになった（Kagaya *et al.* 2008）。このような活動に加え、実験データの提供や取材協力（NHKためしてガッテン，2005年10月15日放映「寝たきり予防！自転車エクササイズ」，毎日新聞東京朝刊2009年4月10日，毎日新聞東京夕刊2009年4月11日等），日本学術会議公開シンポジウム，市民公開講座，一般誌での解説記事，学会シンポジウム等での発表など，研究成果の社会還元が積極的に行われた。

II. プロジェクトの研究成果概要

5年間のプロジェクト成果を統合的に理解できるまとめをするようにした。その統合的視点として、「運動特性との関連からみた運動時の血流再分配」、「セントラルコマンドと反射性制御からみた運動時の循環調節機構」、「さまざまな対象者の身体特性からみた運動時の循環適応」の3点とした。そして、最終的に本プロジェクトの最終目標であるエビデンスに基づき、「健康・体づくり運動プログラムの構築に向けた提案・留意点」をまとめた。

1. 運動特性との関連からみた運動時の血流再分配

運動は、活動する骨格筋への血流量を増加させると同時に、運動指令を出す脳、運動を支援する心臓や肺への血液供給を適切に調節することが必要である。しかし、血液を循環させる心臓の拍出能力には限界があること、生命維持に必要な調節が不可欠であることなどから、これらの臓器への血流調節だけでなく、活動筋以外の臓器や組織への血流再分配が必要となる。逆に言えば、運動時の各器官・組織への血流量変化は、それら調節の結果として起こったものである。したがって、それらを把握することは、その背後にある調節機構を解明する有力な手がかりになる。一方、循環経路の動脈側と静脈側をつなぐ間に介在する骨格筋の活動は、循環に対して物理的あるいは代謝性に干渉する。そのため、骨格筋の活動特性が循環応答を修飾する極めて大きな要因である。そこで、運動特性と関連させながら、運動時の血流再分配を明らかにし、その背後にある循環機構についてまとめた。

1.1 骨格筋、脳、腹部内臓への血流分配

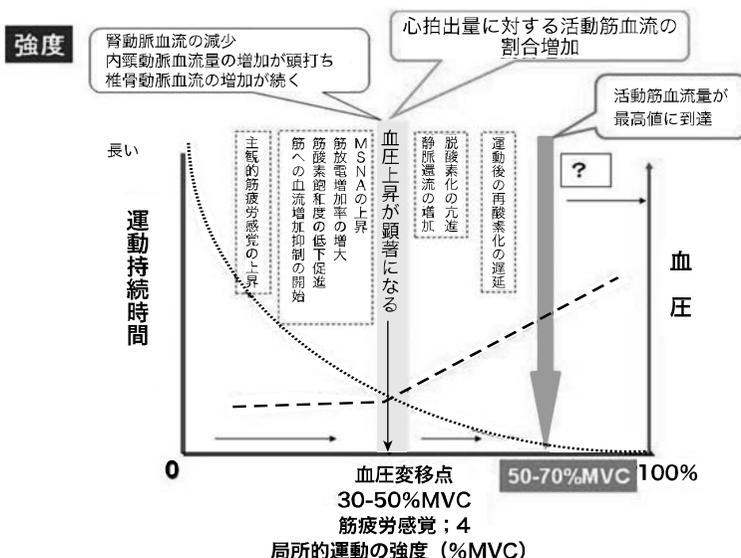
一般的に心拍出量は運動強度や活動筋量の増加に連動して変化するとされている。しかし、本プロジェクトでは、局所的な小筋群の運動の場合は、両者が必ずしも連動した変化を示さず、骨格筋の血流需要に対して末梢的な対応をすることもあることが示された⁵⁾ (Shimizu and Kagaya 2004)。

運動指令を出す脳への血流再分配を、内頸動脈と椎骨動脈の2つの経路から調べたところ、内頸動脈経路では静的および動的運動時に動脈血圧および心拍出量が著しく上昇しても、血流量の変化は見られな

いのに対して、椎骨動脈経路では運動による血圧および心拍出量の上昇に伴い血流量が増加することが明らかになった⁷⁾。活動筋への動脈血流は筋収縮時には阻害され、筋の弛緩期に増加する。一方、活動筋からの静脈血の流出は筋活動期に加速され、筋弛緩期には減速し、両者は、筋内圧の局所の変化により相互に関連しているが、一義的ではない⁴⁾。また、筋の発揮張力が極めて低い場合であっても、ストレッチのように筋線維が伸長すると、動脈側からの血流の逆行成分が増えて血流量は減少し、ストレッチ終了後には動脈側での加速、それに連動した静脈側の流出増加が起こることがわかった³⁾。

骨格筋の血流がどこまで増えるかについてはなお議論が続いている問題である。この課題に関する先行研究は、主として代謝性の血管拡張能を調べたものが多かったが、酸素運搬系としての血流量の役割と考えると、運動中にどこまで増加するかが重要になる。本プロジェクトでは運動時最高値がどれくらいに達するかを知る前提条件として、最高血流量に達する運動条件を明らかにしようとした。その結果、動的運動時筋弛緩期の血流量については、運動強度とテンポの増加に伴って増加し、両者の組み合わせによって運動時血流量が最高になるのではないかとの見解を得た⁴⁾。また、活動筋での血流増加は酸素需要に応じて酸素輸送を高めるためであるが、閉塞性動脈硬化症保有者に多段階負荷運動を実施した結果では、安静時には患側での血流量が低いのにに対して、運動時には患側の血流量が健側より増加して、虚血に伴う骨格筋酸素消費量を代償する現象が見られた⁶⁾。運動の物理的特性と代謝性特性の両面から、酸素供給系としての血流動態を捉えることが重要であることが示された。

運動に直接関与しない臓器である腹部内臓への血流量は、運動時に骨格筋へ血流を優先的に分配するために減少するとされてきた。しかし、静的・動的運動時の腎動脈と上腸間膜動脈の血流速度を調べると、腎動脈では血流速度減少が見られたが、上腸間膜動脈では顕著な変化は見られなかった。すなわち、運動時の腹部内臓器官への血流再分配は、一律の変化ではなく、本プロジェクトで調べた運動の範囲では、消化器官血流量は腎動脈血流量のような著しい減少がみられなかった⁷⁾。



図II.1-1 血流変位点を基準とした運動強度と血流再配分

1.2 運動の時間経過に伴う循環・代謝応答の変化

静的筋活動開始直後には筋内圧の上昇により、動脈側からの流入が低下し、静脈側からの血液流出は加速される⁴⁾。また、運動開始初期（約30秒程度）の動的運動では、心拍出量の増加に先行して活動筋への血流量が急速に増加するとされている。一方、運動開始初期の非活動肢の血流量変化をみると、強度依存で一過性の血流量の増加が見られ、それに続いて強度依存の血流減少が起こった（Yoshizawa *et al.* 2008）。すなわち、筋収縮開始と同時に起こる動静脈血流勾配の増加⁴⁾等の作用によって、運動開始初期から活動筋での血流増加が素早く起こるものの、全身性の血管収縮作用は高まらずに、この時期には血流再配分は適切になされていないことが示唆される。非活動肢での血流量増加や、総末梢血管抵抗の減少により血圧が低下することは¹⁾それを支持する結果であると考えられる。

律動的な運動が持続すると、活動筋での血管拡張により動脈血流量の増加が起こり、筋血流量が増加する。そうすると、筋活動による静脈側の血液流出が、続いて起こる動脈血流入量と密接な関係を保つようになることがわかっている⁴⁾。

運動が終了すると、静的筋活動後は急激な血流増加が起こり、運動後の血流は約3拍目の心周期で最高

値に達する（Ohmori *et al.* 2006）。この時期には静脈血流量は安静時以下に減速し、動脈血流量が最高値に達し、筋の血管床への血液再充満が起こってから静脈血流量が安静レベルに復帰した⁴⁾。

運動後の筋の酸素化動態の回復の速さは運動中の筋の代謝を反映しているため、筋線維組成の異なる深部と浅部において回復の速さ（ $T_{1/2}$ ）が異なるかどうかを検討したが有意な差は見られなかった⁸⁾。

1.3 運動強度と血流再配分

運動プログラムを考える上で、運動強度は極めて重要な運動条件である。本プロジェクトでは運動強度を筋収縮強度と収縮頻度から検討した。筋収縮強度がある強度を超えると筋交感神経の亢進が起こる（Saito *et al.* 1986）ことが知られているが、その結果、強度変化に対する血圧上昇が顕著になる（Kagaya *et al.* 2001）。そこで、血圧上昇が高くなる負荷（血圧変移点負荷）を基準として強度をとらえ、本研究の血流再配分の成果をまとめた（図II.1-1）。

活動筋への血流量が運動負荷強度の増加に伴って増加し、頭打ちになるかどうかは議論のあるところである。本プロジェクトでは動的膝伸展運動・足底屈運動や間欠的な静的掌握運動において検討し、前者では頭打ちが観察され、後者では筋弛緩期血流が負荷の増加とともに増加するという結果を得た^{1, 4)}。動的・静的

運動ともに、運動後血流量に対する運動中血流量の比は、血圧変移点負荷とほぼ類似の負荷強度で急激に低下し、運動中の血流需要を満たす割合が低くなることが確認された¹⁾。また、強度が高くなると、運動持続に伴う筋の電気活動漸増の割合が高くなり、筋疲労耐性の低い筋が動員されるようになることが示唆されたが、その強度は血圧変移点と類似であった¹⁾。筋の酸素代謝をみると、運動中の活動筋酸素化動態が負荷強度に対して低負荷とは異なる対応をする¹⁾ようになるのは、血圧変移点負荷よりやや低い負荷からであった⁴⁾。さらに、運動中の有酸素性エネルギー機構関与の度合いを、運動後の筋酸素動態（再酸素化時間 $T_{1/2}$ ）からみると、強度に対して指数関数的な延長を示し、有意な延長を示すようになるのは血圧変移点よりさらに高い強度においてであった⁸⁾。

次に、運動中、活動筋への変化を中心に身体の様々な変化を統合して感知する主観的筋疲労感覚(10段階)は、血圧変移点より低い負荷(38% MVC)から急上昇した。血圧変移点に対応する値は4.0であった⁴⁾。

骨格筋への血流量が心臓の拍出量とどう対応するかをみると、局所的な運動(足底屈運動)では、活動筋への動脈血流量が低負荷から増加を開始し始めるが、心拍出量(中心循環)は中等度負荷にならないと増加しなかった⁵⁾。すなわち、低負荷では、心拍出量の増加を伴わずに活動筋への血流再分配が起こり、強度が高くなると心拍出量を増加させて骨格筋への血流再分配を行っていることが明らかになった。また血圧が上昇するような強度の高い負荷では、脳への血液を供給する1つの経路である椎骨動脈の血流増加が見られた。それに対して、腹部内臓においては腎動脈での血流減少が確認された⁷⁾。

1.4 運動時の循環に対する重力の影響

本プロジェクトでは、循環系に対する重力の影響を、活動体肢の位置を変化させて検討した⁴⁾。掌握運動時の前腕を心臓より下にすると、筋活動中止期の血流量が有意に変化し、上腕動脈では増加、静脈では減少を示した。近赤外線分光法の総ヘモグロビン濃度変化からみた筋血流量は下垂で増加した。また、重力負荷を一定にして、血液貯留状態を変えた下肢の運動条件では、動脈静脈血流量には相違が見られず、30分程度では、貯留血液量レベルの差は影響し

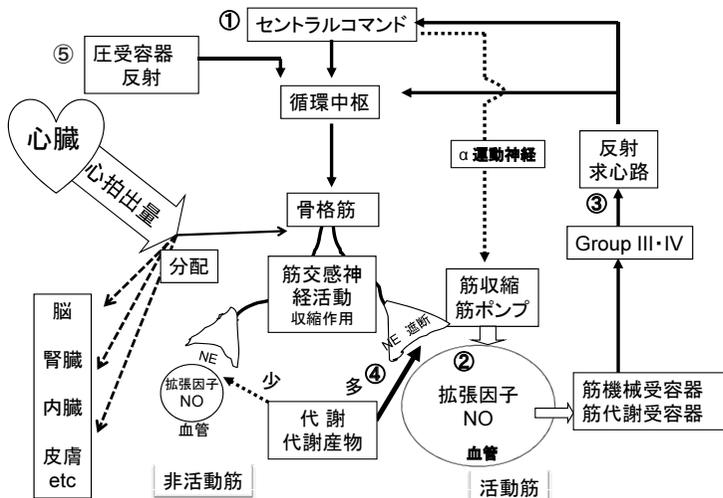
ないことが示された。

2. セントラルコマンドと反射性制御からみた運動時の循環調節機構

運動時の適切な血流再分配には、局所性調節に加えて、神経調節が必要である(図II.2-1参照)。運動は、脳の運動中枢から出る運動指令が α 運動神経を介して筋を収縮させることにより発現する。このような運動指令と並行して延髄の循環中枢に情報が送られる。この高位中枢から循環中枢に入力される情報をセントラルコマンドと呼び、運動開始に先行して起るフィードフォワード制御と考えられてきた。セントラルコマンドは運動に対する意思、頑張り、努力感といった主観的運動強度や筋疲労感覚を反映するといわれている。最近ではセントラルコマンドの概念が拡大され、筋収縮が伴わない運動想起や運動準備期に生じる循環反応もセントラルコマンドに起因すると考えられている。セントラルコマンドの発生回路と神経路および標的器官は部分的なデータがあるのみである。特に人における標的器官については、心臓、皮膚血管、腎以外はあまり調べられてはいない。また、運動(筋活動)が発現すると循環中枢に活動筋から反射性入力情報が伝えられる。これはフィードバック制御経路であり、活動筋に生じる機械的变化および化学的(代謝性)変化を刺激としてGroup III, IV求心性神経を介して循環中枢に連絡する。それらを筋機械受容器反射と筋代謝受容器反射と呼ぶ。さらに常時血圧調節に働く圧受容器反射がある。このような運動時の循環調節に関わる神経機構について、次のような新見を得た。

2.1 運動発現にかかわる神経調節

運動発現にかかわる脳神経系の働きを理解するために、前頭前野の酸素化動態計測用の近赤外線分光計のセンサー、ホルダー、解析ソフトウェアの開発をした⁹⁾。それらを用いて、運動時の前頭前野の活性を調べた結果、運動肢と同側半球の前頭前野が対側半球の前頭前野よりも高い活動があることを報告し、この活動が運動遂行に重要な役割を担うことを示唆した¹⁰⁾。運動指令を出す一次運動野の活動についても両半球間で検討した結果、左右半球間が相互連絡をもち、対側一次運動野のみでは力発揮が不十分になる場合



図II.2-1 セントラルコマンドと反射性制御からみた運動時の循環調節機構

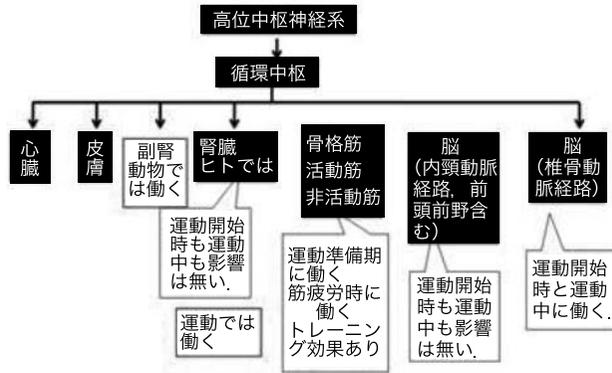
運動指令が脊髄を下降しα運動神経を興奮させて活動筋が収縮する。この時にセントラルコマンドが生じる (①)、運動が開始されると、活動筋には血流増加が起こる。この血流増加には代謝性血管拡張および血流依存性血管拡張(ずり応力によるNOの増加が起因)が関与する (②)、運動強度が上がり活動筋の代謝が高まると、代謝産物が筋代謝受容器を刺激し(機械的刺激は筋機械受容器を刺激する)、グループIII・IV求心性神経を介した反射性入力を循環中枢へ送る (③)。その結果、非活動筋や腎のように運動に直接関与しない部位では、交感神経活動が優勢となり、血流が減少する。一方、活動筋では代謝産物が交感神経活動の亢進を遮断するため〔神経伝達物質のノルエピネフリン (NE) が無効にされる (④)、これを機能的交感神経遮断と呼ぶ〕、血管拡張作用が優勢であり、血流増加が続く。このような活動筋と他の組織への心拍出量の血流分配を適正に保ち、一定の動脈血圧を常時維持するために圧受容器反射が働く (⑤)。

に、同側運動野の活性がそれを補完する役割を担うことが示唆された。さらに筋疲労時における対側半球の運動野の活動を、トップアスリートと一般人とで比較すると、アスリートは筋疲労時における活動が有意に低いことから、トレーニングが一次運動野の活動を変化させることが示唆された¹¹⁾ (Shibuya *et al.* 2008)。運動指令に基づいて起こる運動単位の活動参加および放電間隔変化について検討した結果、一定筋力発揮時には運動単位の放電間隔時間の延長が観察されることを報告した¹²⁾ (Kamo *et al.* 2004)。

2.2 セントラルコマンドが働く標的器官

セントラルコマンドは、先行研究で示されている心臓および皮膚組織に加えて、①運動前と運動中の椎骨動脈経路の脳血流量調節に働くこと、②筋疲労時の活動筋と非活動筋の交感神経活動に働くこと、③セントラルコマンドの働きはレジスタンストレーニングで増大すること、④ヒトの腎血流量には働かないこと、という新しい知見が得られた (図II.2-2)。詳細は次のとおりである。

- 1) **運動準備期・開始直前**：運動準備期 (約1分前から) の大脳皮質運動野周辺の脳酸素動態と心拍数、血圧および前腕屈筋群の酸素動態を同時計測し、運動準備に関連した皮質活動と循環応答の対応性を検討した。その結果、運動準備による大脳運動野周辺の活性は心拍数および筋酸素化ヘモグロビンの増加に対応することが示された (岩館と定本 2008)。随意運動と他動運動に伴う脳血流量を、内頸動脈経路 (主に大脳皮質側頭葉、前頭葉、頭頂葉、島皮質へ灌流) と椎骨動脈経路 (主に延髄、小脳、後頭葉へ灌流) において比較した。その結果、椎骨動脈経路においてのみ、随意運動開始前の動作に先行する血管拡張がみられた。つまりセントラルコマンドは椎骨動脈経路が灌流する脳部位にのみ働くことが示唆された⁷⁾。同様の実験を、腎動脈および上腸間膜動脈 (主に消化器官へ血液を送る) において行ったが、両動脈経路には予測制御に伴う変化は見られなかった⁷⁾。



図II.2-2 セントラルコマンドが働く標的器官

- 2) 運動中について：一定負荷保持時の活動筋へ振動刺激（バイブレーション）を与え反射性張力発揮により運動指令を低下させ、ひいてはセントラルコマンドも低下させるという実験条件を設定した。この実験条件により、セントラルコマンドが運動時の心拍数、動脈血圧、心拍出量、筋疲労感覚、前頭前野の酸素化動態、内頸動脈経路、椎骨動脈経路、腎動脈の血流調節にも低下をもたらすかどうかについて検討した。その結果、セントラルコマンド低下に伴う変化がみられたのは、心拍数、平均血圧、筋疲労感覚および椎骨動脈血流量のみであった。このことから、椎骨動脈経路の血流量がセントラルコマンドの影響を受けること、一方、動物とは異なり、ヒトの腎動脈血流がセントラルコマンドの影響を受けないことが示唆された²⁾。
- 3) 筋疲労時：最大ハンドグリップ張力を疲労困憊まで維持すると筋交感神経活動が亢進する。この亢進が活動筋からの筋代謝受容器反射の機構では説明できないため、筋疲労時における運動への意思・頑張り・努力感、すなわちセントラルコマンドがこの筋交感神経活動の上昇をもたらすことが示された。この交感神経活動の亢進は、抗疲労の役割を担うと示唆された¹⁵⁾ (Saito *et al.* 2007)。また筋疲労時にみられる筋交感神経活動の亢進は、短期間（4週間）の高強度レジスタンストレーニングにより増大することも明らかとなった¹⁵⁾ (Saito *et al.* 2009)。

2.3 反射性制御の働きと相互作用

筋機械受容器反射は反射性に心拍数を上げることが既に知られている。本プロジェクトでは、他動運動（セントラルコマンドや代謝受容器反射を刺激しない低負荷）で筋機械受容器反射の働きを調べた。その結果、脳、腎臓、消化器官といった血流量の調節には、低負荷では筋機械受容器反射が有意な作用をもたないことが示唆された⁷⁾。一方、筋代謝受容器反射は、筋交感神経活動の亢進¹⁵⁾ (Saito *et al.* 2007) および腎血流量の減少⁷⁾ といった顕著な作用をもたらすことが示された。また消化器官の血流には作用しないことも明らかとなった⁷⁾。

筋代謝受容器反射は運動時の血圧を上昇させるが、圧受容器反射はその上昇を抑制する働きがあることが知られている。本プロジェクトにより、代謝受容器反射は圧受容器反射と競合関係にあるだけでなく、むしろ圧受容器反射の働きを助長する作用（反射の反応時間を早め、反応の大きさも上げる）をもつことが示された。これにより、筋疲労時や高強度運動時のように代謝産物が蓄積され代謝受容器反射が働く場合には、代謝受容器反射自体が血圧の監視機能を高め循環破綻を防ぐ役割を果たしていることがわかった¹⁵⁾ (Ichinose *et al.* 2004)。

3. 身体特性の相違と適応からみた循環調節

身体活動・スポーツによる循環機能の向上策に必要な横断的研究および縦断的研究により、運動プログラム作成上に有意義な結果を得た。以下に主な知見を述べる。

3.1 発育に伴う脳血流の変化について

加賀谷らによる先行研究 (Muraoka *et al.* 2002) では、心筋の形態と機能についてその発達が調べられた。このような心拍出量の発達に加えて、未知な部分であった脳循環の発達について検討した。特に、どの程度の心拍出量が脳へ分配されるのか (脳血流配分率) を、10～22歳の男女約300名について調べた。その結果、脳血流配分率は10歳で高く、その後徐々に低下し、15歳でほぼ発育が終了し、成人値に達することが示された。また心機能が脳循環より先行して発達するという新見解が得られた。さらに、心機能と脳循環の後に筋力 (握力) が著しく発達する時期が出現することが示された⁷⁾。

3.2 高齢者の心形態と血管形状の関連について

高齢者において心形態、筋厚および血管形状の変化がどのような関連を保っているのかを検討した結果、左室重量と大腿部筋体積との間には有意な正の相関関係が得られた。これまで、発育期の子どもでは、左室重量-大腿部体積の間に密な関係のあることが示されていたが、高齢者においても等しい関係性が認められたことは、身体運動による骨格筋量の保持が心臓の容量保持にも効果を与えるとの重要な知見を得た⁵⁾。

3.3 有疾患における運動および虚血に対する血流調節について

閉塞性動脈硬化症保有者は、下肢動脈血管の動脈硬化による血行障害のために運動歩行時に間歇性跛行を認める。しかしながら、疾病下肢運動中の血流動態についての報告は少ない。本研究では、閉塞性動脈硬化症保有者の患側肢と健側肢において多段階脚伸展運動時の下肢血行動態を比較検討した。その結果、運動時において、患側肢血流量が健側肢よりも顕著に増大することが確認され、末梢循環障害が安静時のみならず、運動中の骨格筋循環に大きな影響を及ぼすことが示唆された⁶⁾。

3.4 テニス選手の利腕と非利腕の比較から

利き腕と非利き腕を各々トレーニング側、非トレーニング側と捉えて、テニス選手の筋厚と血管形状、上腕動脈血流量を比較した。その結果、利き腕の筋厚と血管径が非利き腕よりも大きく、漸増負荷運動

時の最大血流量も利き腕が高いことがわかった。テニス選手の利き腕による運動時血流量が非利き腕の時よりも高くなるのは血管径の差によることも明らかにした⁴⁾ (Kagaya *et al.* in press)。このようにトレーニングが筋量、血管形状、活動筋への血流量を増加させることが示された。

3.5 トレーニングによる交感神経系の適応について

成人男性の利き腕と非利き腕における掌握運動を維持した時にみられる筋交感神経活動を比較した結果、トレーニング側と考えた利き腕運動時の筋交感神経活動が非利き腕運動より高くなった。このことを、筋疲労に抗して運動を持続させるには、交感神経活動を高いレベルに保つことが重要であること示すものである¹⁵⁾ (斉藤ら 2006a, 2006b)。さらに、実際に、片側の腕によるハンドクリップレジスタンストレーニングを4週間行い、対照側と比較した結果、筋疲労時の筋交感神経活動が対照側の運動時よりも高くなることが示された。またこの交感神経活動の亢進は、活動筋からの反射性制御に起因するのではなく、高位中枢からのセントラルコマンドの増強に起因することも示された。したがって、短期間のレジスタンストレーニングは、活動筋というよりも、運動への頑張り・努力感にかかわる高位中枢に適応をもたらせ、その結果、抗疲労の役割を果たす交感神経活動の亢進をさせるという重要な知見を得た¹⁵⁾ (Saito *et al.* 2009)。

上記知見の得られた研究課題は以下のとおりであり、学術雑誌に公表されていない個別課題は本報告書の個別課題研究成果に詳しくまとめられている。

¹⁾ 「再分配」共同研究、²⁾ 「セントラルコマンド」共同研究、³⁾ 若手研究者受け入れ「ストレッチング」研究、⁴⁾ 加賀谷担当個別課題、⁵⁾ 奥山 (清水) 担当個別課題、⁶⁾ 長田担当個別課題、⁷⁾ 定本担当個別課題、⁸⁾ 笹原 (上田) 担当個別課題、⁹⁾ Ferrari 担当個別課題、¹⁰⁾ Quaresima 担当個別課題、¹¹⁾ 澁谷担当個別課題、¹²⁾ 加茂担当個別課題、¹³⁾ 岩館担当個別課題、¹⁴⁾ 佐藤担当個別課題、¹⁵⁾ 斉藤担当個別課題

4. 運動時の循環応答からみた提案—エビデンスに基づく運動プログラムの構築に向けて—

運動プログラムは実施する運動特性と対象者の身

体特性を踏まえて作成する必要がある。本プロジェクトで得た知見をもとに次のような提案をする。

4.1 運動様式について

1) 動的運動・静的運動

動的運動は心拍数や心拍出量を増加させ、血液循環を促進する運動様式といえる。また筋の収縮と弛緩がリズムカルに繰り返され（収縮期には静脈血が筋から流出し、筋弛緩期には動脈血の流入量が増加する反応をもたらす）、活動筋の十分な血管拡張により、運動時の血圧上昇が低く、生体への負担度が少ないという特徴をもつ。また軽強度による脚の動的運動時（心拍数が110拍/分以下の強度）には、筋交感神経活動が安静時よりも低下することから、安静にするよりもゆっくり歩こうがリラクゼーション効果をもつと示唆される。一方、筋収縮が持続する静的運動は、心拍数や心拍出量の著しい上昇はみられないが、活動筋での血液の流入・流出が制限されるため、動脈血圧を上昇させやすい運動様式となる。特に強度が高くなると、心臓や血管系への負担も大きくなりやすい。このような動的運動と静的運動の特徴を理解した運動プログラムの作成が必要である。

2) 大筋群運動（全身的運動）・小筋群運動（局所的運動）

大筋群を用いた全身的運動による持久性運動は呼吸循環機能の維持向上のために有効であり、既に運動処方でも広く活用されている。本プロジェクトでは、掌握運動のような小筋群の局所的運動であっても、活動筋のみならず非活動筋への血流量を増加させ、循環機能を活性化させることが示されている。運動強度が高くなると、脳血流増加の頭打ち、腎血流の減少、筋交感神経活動の亢進をもたらすことになる。また高強度負荷の掌握運動レジスタンストレーニングが運動時の頑張り・努力感にかかわる中枢指令（セントラルコマンド）を増強させる効果をもつことも示されている。したがって、対象者の特性を考慮した適切な運動様式や運動強度を選択することにより、小筋群の局所的運動も循環機能の活性化に有効な手段となる。

3) 上肢の運動・下肢の運動

上肢の運動と下肢の運動では、一定の酸素摂取量に対する動脈血圧、心拍数、毎分換気量などが異なる

り、いずれも上肢で高くなることが既に知られている。循環機能からみると、上肢の運動は、心臓との位置関係（重力作用）によって循環応答が変動することを考慮する必要がある。一方、心臓よりも低い位置で運動することが一般的である下肢の運動は、重力作用による血液貯留を避けるよう留意する必要がある。

4) 一側性の運動

循環促進に有効なサイクリングやウォーキングのような両側性運動が運動プログラムの主体となっている。しかし、腕や脚の運動を片側だけで行った場合でも、運動を行わない対側や他の体肢（脚運動をしている時の腕など）の骨格筋血流量を一時的に変化させることから、一側性の運動も運動プログラムとして活用できると考えられる。

5) その他の運動や運動想起

ストレッチングのように筋の長さを変える運動も、筋内循環を促進させることから、ウォーミングアップやクーリングダウンに用いるだけでなく、要介護者や病床にある患者の筋循環の促進を目的とした運動プログラムとしても活用できる。

運動の準備・想起（イメージ）は、運動野皮質関連領域の脳活性、心拍数、活動筋の酸素化動態、脳血流量（椎骨動脈経路）を上昇させたことから、随意的に運動を準備し運動遂行のイメージをもつことは、運動開始後の循環調節および動作をスムーズにさせる手段となる。

4.2 運動強度の選定について

運動プログラムの作成において、適切な運動強度を選択することは重要課題である。全身運動における強度設定指標は確立されているが、局所運動については未だ確立されていない。本プロジェクトの結果から、次の二つの強度選定指標を提案する。

1) 負荷増加に対して血圧上昇が顕著になる「血圧変移点」を指標とする。

「血圧変移点」を調べると（図II.1-1）、随意最大筋力（MVC）の30～50%の運動強度に分布する。この血圧変移点の出現付近の負荷強度から、血液供給

が不足し、筋交感神経活動の亢進も起こる。そして、腎動脈および内頸動脈血流量の減少や頭打ちがみられる。なお、血圧変移点を超過して50～70% MVCまで上がると、活動筋代謝は有酸素系から無酸素系へとシフトし、活動筋中には代謝産物・局所性ホルモンが蓄積されることになる。

2) 主観的筋疲労感覚を指標として活用する。

筋疲労感覚は筋交感神経活動を反映する指標であり、血圧変移点負荷に相当する筋疲労感覚は「4」であり、これは「疲れた」と「かなり疲れた」の中間の感覚である。この指標は誰もが容易に活用できることから、単独で、あるいは他の強度指標と併用して用いることを提案する。また、運動実施時には常にモニターすることを推奨する。

4.3 運動実施にあたっての留意点

本プロジェクトの成果に関連する運動実施上の留意点をまとめた。

1) 運動時間の観点から

- ①運動開始前：運動への準備やイメージをもつことは運動開始後の循環調節および動作をスムーズにさせる有効な手段となる。
- ②運動開始時：運動に適した循環システムを再調整するには、運動開始後約30秒間は必要である。この調整がうまく運ばないと、血圧が低下することもある。したがって、運動開始時の急激な負荷上昇を避け、ゆっくりと徐々に運動強度を上げるようにする。
- ③運動終了前（疲労時）：運動持続時間とともに活動筋の疲労が始まる。筋疲労に抗して「頑張り・努力感」を働かせると、交感神経活動を介した力の維持が可能となる。しかし、運動経験の少ない人や低体力者の人は、無理のない時点で運動を終了させるようにする。その判断基準には主観的運動強度や筋疲労感覚を用いる（図II.1-1参照）。
- ④運動終了直後：運動終了とともに、身体の各部位の調節機能は運動前のレベルに戻ろうとする。しかし、活動筋では運動時に生じた血管拡張物質が洗い出されるまで、血流増加が続くことになる。この運動後の著しい血流増加が静脈還流量を低下

させ、ひいては運動終了後低血圧を招く場合もある。そのため、軽い運動（クーリングダウン）を運動終了後にも行い、筋ポンプ作用により静脈還流の急激な低下を予防する必要がある。

2) 対象者の身体特性の観点から

- ①発育期の子どもにおける循環機能の発達：心機能および脳循環が著しく発達する時期は、心機能（推定心拍出量）が10～12歳頃であり、脳循環（頸動脈血管内径）が12～15歳である（男女差がある）。したがって、このような心臓および血管機能が発達する時期を考慮した運動のプログラムが発育期には必要である。
- ②高齢者における筋量の保持：高齢者の心臓の形態（左室重量）は大腿部筋体積と密接に相関することが示された。このことから、高齢者においても骨格筋量の保持が心機能の保持に有効であるといえ、高齢者も筋量の維持に結びつく運動プログラムが必要である。
- ③末梢循環系有疾患者の運動：閉塞性動脈硬化症保有者は筋虚血を代償するために著しい血流量増加が生じる。しかし、運動時の心拍出量の増大には限界があることを考えると、健常人よりも運動時の血流および血圧調節が難しい。このことを踏まえたプログラム作成が必要である。

3) 呼吸法との関連について

短時間の高強度レジスタンス運動時の脳血流応答から、息こらえは脳血流減少を、過呼吸は運動終了後の著しい血流増加（オーバーシュート）をもたらせることから、運動時の呼吸をコントロールすることに留意する必要がある。

4) 運動時の姿勢（重力作用）について

活動筋と心臓との位置関係によって生じる重力作用が循環応答を大きく変動させることに留意する必要がある。活動筋が心臓よりも高い位置にある場合は、筋への動脈血流量が低下し筋から流出する静脈血流量が増加し、運動遂行には不利なことが多い（上肢の運動・下肢の運動参照）。

平成 21 年度事業報告

I. 会議に関する事項

○第 79 回運営会議

平成 21 年 4 月 29 日

審議事項

1. 平成 21 年度事業計画について
2. 東京都競技力向上のための「大学等と連携した医・科学サポート事業」に対する取り組みについて
3. 客員研究員の委嘱について

報告事項

1. 学術フロンティア推進事業最終成果報告書の提出について
2. 平成 21 年度予算について
3. 研究所規定の変更について

○第 80 回運営会議

平成 21 年 6 月 16 日

審議事項

1. 基礎体力研究所ホームページのリニューアルについて

○第 81 回運営会議

平成 21 年 9 月 16 日

審議事項

1. 開所 20 周年記念 公開研究フォーラムについて

報告事項

1. 東京都競技力向上のための「大学等と連携した医・科学サポート事業」に対する取り組みについて
2. ホームページの更新について
3. 研究所玄関の名称表示板の変更について
4. みたかサイエンス&テクノロジーフェアへの参加について

○第 82 回運営会議

平成 21 年 12 月 9 日

審議事項

1. 平成 22 年度重点課題について
2. 平成 22 年度予算について

○第 83 回運営会議

平成 22 年 2 月 17 日

審議事項

1. 平成 22 年度事業報告について
2. 平成 22 年度兼任研究員について

3. 技術職員の任期更新について
4. その他

II. 研究に関する事項

○研究フォーラム

平成21年11月28日

開所20周年記念公開研究フォーラム「20周年目からの始動ーきり輝く展開を求めてー」

〈基礎体力研究所における研究の動向と展望ー学術フロンティア事業を踏まえてー〉

定本 朋子（日本女子体育大学附属基礎体力研究所）

〈若手研究者による新たな挑戦〉

「運動時における非活動肢の導管動脈と静脈の血流応答特性」

大上 安奈（日本女子体育大学附属基礎体力研究所）

「運動時の脳血流調節におけるセントラルコマンドの役割」

佐藤 耕平（日本女子体育大学附属基礎体力研究所）

「運動時の代謝・内分泌応答を手がかりにしたトレーニングの科学」

後藤 一成（早稲田大学スポーツ科学学術院）

「筋発揮張力維持法（スロートレーニング）の効果とそのメカニズム」

谷本 道哉（順天堂大学スポーツ医学研究所）

〈ポスター発表〉

〈特別講演〉

「身体運動は生活習慣病予防にどこまで貢献できるかー運動疫学研究のエビデンスからー」

澤田 亨（東京ガス健康開発センター）

○ワークショップ

平成21年6月15日

「超音波で筋・皮脂厚を測る～超音波B-mode法による筋厚・皮下脂肪厚の測定～」

講師：村岡 慈歩（明星大学）

○研究所談話会

第39回談話会 平成21年7月15日

「明治初期のお雇い教師を通して見た教師像のギャップーW.E. Griffisを事例としてー」

蔵原 三雪

第40回談話会 平成22年1月20日

「子どもの事故防止とリスクマネジメント」

内山 有子

III. 研究業績（2009年度兼担・客員研究員を含む）

〈学術論文〉

Sadamoto, T., Sato, K. and Hirasawa, A.: Renal vascular responses during graded dynamic bicycling exercise in women. J. Exerc. Sci., 18: 1-8, 2008.

- Sato, K., Hirasawa, A. and Sadamoto, T.: The effect of mode of ventilation on cerebral oxygenation during static exercise. *J. Exerc. Sci.*, 18: 9-17, 2008.
- Sato, K., Sadamoto, T., Ueda-Sasahara, C., Shibuya, K., Shimizu-Okuyama, S., Osada, T., Kamo, M., Saito, M. and Kagaya, A.: Central command and the increase in middle cerebral artery blood flow velocity during static arm exercise in women. *Exp. Physiol.*, 94: 1132-1138, 2009.
- Sato, K., Moriyama, M. and Sadamoto, T.: Influence of central command on cerebral blood flow at the onset of exercise in women. *Exp. Physiol.*, 94: 1139-1146, 2009.
- Shibuya, K., Ueda, C., Sato, K., Shimizu-Okuyama, S., Saito, M., Kagaya, A., Kamo, M., Osada, T. and Sadamoto, T.: Perceived exertion is not necessarily associated with altered brain activity during exercise. *J. Physiol. Anthropol.*, 28: 63-69, 2009.
- Akima, H., Hotta, N., Sato, K., Ishida, K., Koike, T. and Katayama, K.: Cycle ergometer exercise to counteract muscle atrophy during unilateral lower limb suspension. *Aviat. Space Environ. Med.*, 80: 652-656, 2009.
- Saitoh, T., Ferreira, L.F., Barstow, T.J., Poole, D.C., Ooué, A., Kondo, N. and Koga, S.: Effects of prior heavy exercise on heterogeneity of muscle deoxygenation kinetics during subsequent heavy exercise. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 297: R615-R621, 2009.
- Ogoh, S., Ainslie, P.N. and Miyamoto, T.: Onset responses of ventilation and cerebral blood flow to hypercapnia in humans: rest and exercise. *J. Appl. Physiol.*, 108: 880-886, 2009.
- Ogoh, S., Fisher, J.P., Young, C.N., Raven, P.B. and Fadel, P.J.: Transfer function characteristics of the neural and peripheral arterial baroreflex arcs at rest and during postexercise muscle ischemia in humans. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.*, 296: H1416-H1424, 2009.
- Ogoh, S. and Ainslie, P.N.: Regulatory mechanisms of cerebral blood flow during exercise: new concepts. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 37: 123-129, 2009.
- Ogoh, S. and Ainslie, P.N.: Cerebral blood flow during exercise: mechanisms of regulation. *J. Appl. Physiol.*, 107: 1370-1380, 2009.
- Ogoh, S., Tzeng, Y.C., Lucas, S.J., Galvin, S.D. and Ainslie, P.N.: Influence of baroreflex-mediated tachycardia on the regulation of dynamic cerebral perfusion during acute hypotension in humans. *J. Physiol.*, 588: 365-371, 2010.
- Wakasugi, R., Nakamoto, T. and Matsukawa, K.: The effects of adrenalectomy and autonomic blockades on the exercise tachycardia in conscious rats. *Auton. Neurosci.*, 155: 59-67, 2010.
- Tsuchimochi, H., Nakamoto, T. and Matsukawa, K.: The centrally-evoked increase in preganglionic adrenal sympathetic nerve activity during hypothalamic stimulation elicits immediate adrenaline secretion from the adrenal medulla. *Exp. Physiol.*, 95: 93-106, 2010.
- Matsukawa, K., Nakamoto, T., Kadowaki, A., Shimizu, M., Liang, N. and Endo, K.: The

- enhancing effect of propofol anesthesia on skeletal muscle mechanoreflex in conscious cats. *Auton. Neurosci.*, 151: 111-116, 2009.
- 岩館雅子, 澁谷顕一, 定本朋子: 少数例における運動準備期および掌握運動時の心拍数増加と大脳皮質運動野酸素化亢進の対応関係. *脈管学*, 50: 475-481, 2010.
- 森本 茂, 石渡千草, 宮本奈芳美, 加茂美冬: 持続的筋力発揮時の運動単位筋振動信号と運動単位の同期活動. *体力科学*, 58: 365-378, 2009.
- 田口素子, 大畑好美, 長坂聡子, 岡野 進, 山澤文裕: 日清食品カップ全国小学生陸上競技交流大会に出場した選手の食生活に関する調査. *日本陸上競技研究紀要*. Vol. 5, 2009.
- 大畑好美, 長坂聡子, 田口素子, 繁田 進, 三宅 聡, 山澤文裕: 第25回日清食品カップ全国小学生陸上競技大会に出場した優秀選手の食実態について. *日本陸上競技研究紀要*. Vol. 5, 2009.

〈報告書・資料〉

- Sadamoto, T., Sato, K., Hirasawa, A., Ueda-Sasahara, C., Shibuya, K., Saito, M., Kamo, M., Shimizu-Okuyama, S., Osada, T. and Kagaya, A.: 共同研究2 Role of central command in the cerebral and renal blood flow responses during static exercise. IV. プロジェクトの共同研究における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 ースポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけてー. 153-164, 2009.
- Kagaya, A., Saito, M., Sadamoto, T., Ferrari, M., Quaresima, V., Kamo, M., Osada, T., Shimizu-Okuyama, S., Sato, K., Iwadate, M., Ohmori, F. and Cettolo, V.: 共同研究1 Redistribution of blood flow during exercise; Critical exercise intensity for circulatory and metabolic changes in response to knee extension exercise and its relationship to blood flow to exercise limb. IV. プロジェクトの共同研究における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 ースポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけてー. 139-151, 2009.
- 定本朋子, 佐藤耕平, 平澤 愛, 島田奈央子, 森山真由美, 大森芙美子, 岩館雅子, 石田良恵: 2 運動時の内臓器官および脳の血流動態とその調節機構. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 ースポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけてー. 51-64, 2009.
- 佐藤耕平, 森山真由美, 平澤 愛, 定本朋子: 9 運動時の呼吸循環系変化に対する中枢性・末梢性の神経調節. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 ースポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけてー. 111-118, 2009.
- 加茂美冬, 森本 茂, 板倉尚子: 6 運動様式, 運動強度, 運動時間および筋代謝からみたモーターユニットの動員特性. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 ースポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけてー. 89-98, 2009.
- 加賀谷淳子, 大森芙美子, 奥山(清水)静代, 村岡慈歩, 吉澤睦子, 熊谷真奈, 森 曜生, 鈴木早紀子, 水村真由美, 佐藤耕平, 浜岡隆文, 小田俊明. 1 骨格筋への血流分配と筋からの血液還流. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書

運動時における循環調節機構の統合的解明 —スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけて—. 21-50, 2009.

奥山(清水) 静代, 大森芙美子, 佐藤耕平, 村岡慈歩, 岩館雅子, 加賀谷淳子: 7 運動時の心拍出力の変化と各種血管への血流配分. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 —スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけて—. 99-106, 2009.

岩館雅子, 定本朋子, 澁谷顕一: 10 運動準備期のセントラルコマンドの働き. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 —スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけて—. 119-123, 2009.

澁谷顕一, 定本朋子, 佐藤耕平, 森山真由美, 岩館雅子: 12 運動時における一次運動野の酸素化動態. III. プロジェクトの個別課題における成果. 学術フロンティア推進事業 研究成果報告書 運動時における循環調節機構の統合的解明 —スポーツによる健康・体力づくりプログラムの構築にむけて—. 129-136, 2009.

井上真理, 大上安奈, 近藤徳彦: 素材の吸湿性・吸水性の有無がタイトフィットスポーツウェア着用時における運動時の衣服内気候に及ぼす影響. デサントスポーツ科学, 30: 33-44, 2009.

田口素子, 山澤文裕: スポーツ栄養コンセンサスと「公認スポーツ栄養士」養成制度. 体育の科学, 60: 45-49, 2010.

〈書籍〉

定本朋子, 佐藤耕平: 血流量, トレーニングと循環. 宮村実晴 編, 身体トレーニング, 真興交易医書出版部, 2009.

佐藤耕平, 小河繁彦: 脳循環調節. 宮村実晴 編, 運動生理学のニューエビデンス, 真興交易医書出版部, 2010.

田口素子 監修: Nutrituon. 財団法人東京都スポーツ文化事業団, 2009.

木村典代, 古旗照美, 青野 博, 樋口 満, 田口素子, 鈴木志保子, 田中千晶: 小・中学生のスポーツ栄養ガイドブック. 青野 博, 木村典代, 古旗照美 編集, 財団法人日本体育協会, 樋口満 監修, 女子栄養大学出版部, 2010.

田口素子: アスリートのためのコンディショニング. 日本陸上競技連盟医事委員会編, 陸上競技社, pp. 153-156, 2010.

田口素子: 競技スポーツと栄養. 金子佳代子, 高田和子 編, 環境・スポーツ栄養学, 建帛社, 2010.

佐伯徹郎: 疲れないフォームを身につける. ランニングマガジnkリアル 2010年1月号.

〈学会発表〉

Sadamoto, T., Sato, K., Hirasawa, A., Sasahara, C., Shibuya, K., Saito, M., Kamo, M., Osada, T. and Kagaya, A.: Role of central command in the renal arterial blood flow responses during static elbow flexion. The 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, Oslo, 2009.

Sato, K., Sasahara, C., Shibuya, K., Hirasawa, A., Okuyama, S., Osada, S., Kamo, M., Saito, M., Kagaya, A. and Sadamoto, T.: Role of central command in middle cerebral

- blood flow velocity during static exercise in humans. The 56th American College of Sports Medicine, Seattle, 2009.
- Sato, K., Sasahara, C., Shibuya, K., Hirasawa, A., Okuyama, S., Osada, S., Kamo, M., Saito, M., Kagaya, A. and Sadamoto, T.: Role of central command in cerebral blood flow regulation during static exercise. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Kamo, M.: Effects of tendon vibration on discharge behavior of human motor unit during submaximal isometric contraction. The 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, Oslo, 2009.
- Kamo, M.: Effects of vibratory stimulation on motor unit activity during voluntary contraction. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Nakamoto, T., Matsukawa, K., Wakasugi, R., Liang, N., Wilson, B.L. and Horiuchi, J.: Autonomic and cardiovascular responses to stimulation of midbrain dopaminergic neurons in anesthetized rats. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Wakasugi, R., Nakamoto, T. and Matsukawa, K.: The effects of adrenalectomy and autonomic blockades on the exercise-induced tachycardia in conscious rats. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Matsukawa, K., Shimizu, M., Kadowaki, A., Nakamoto, T., Liang, N. and Wakasugi, R.: Endogenous activation of 5-HT_{1A} receptors suppresses muscle mechanosensitive reflex in the conscious condition. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Kadowaki, A., Matsukawa, K., Nakamoto, T., Liang, N., Wakasugi, R. and Shimizu, M.: Activation of cardiac sympathetic outflow, but not vagal withdrawal, during spontaneous motor activity in decerebrate cats. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Liang, N., Mochizuki, S., Oda, K., Nakamoto, T. and Matsukawa, K.: The cardiovascular responses to voluntary and electrically-evoked involuntary static exercise of ankle plantar and dorsal flexion in humans. The 36th International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Fukuda, T., Maegawa, T., Matsumoto, A., Komatsu, Y., Nakajima, T., Nagai, R. and Kawahara, T.: Acute normobaric hypoxia attenuated stroke volume response during exercise. The 36th Congress of the International Union of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Fukuda, T., Matsumoto, A., Kurano-Meguro, M., Takano, H., Iida, H., Maegawa, T., Komatsu, Y., Kawahara, T., Hirata, Y., Nagai, R. and Nakajima, T.: Abnormal response of stroke volume and cardiac output during exercise in cardiac patients. The 36th Congress of the International Union of Physiological Sciences, Kyoto, 2009.
- Fukuda, T., Maegawa, T., Matsumoto, A., Komatsu, Y., Nakajima, T., Nagai, R. and Kawahara, T.: Acute effect of normobaric hypoxia on cardiac function during exer-

- cise. The 17th Asian Pacific Congress of Cardiology, Kyoto, 2009.
- Fukuda, T., Matsumoto, A., Kurano-Meguro, M., Takano, H., Iida, H., Maegawa, T., Komatsu, Y., Kawahara, T., Hirata, Y., Nagai, R. and Nakajima, T.: Mechanisms of the Attenuated Cardiac Output Response During Exercise in Cardiac patients. The 17th Asian Pacific Congress of Cardiology, Kyoto, 2009.
- Ohmori, F., Hamaoka, T., Shiroishi, K., Osada, T., Murase, N., Kime, R., Kurosawa, Y., Ichimura, S., Homma, T., Mori, M., Esaki, K., Yamaguchi, K. and Katsumura, T.: Low-volume strength and endurance training preserves immobilization-induced impairment in hyperemic response to exhaustive dynamic grip exercise. International Sports Science Network Forum in Nagano, Nagano, 2009.
- 定本朋子, 佐藤耕平, 平澤 愛, 斉藤 満: 高強度レジスタンストレーニングが静的握力発揮時の心拍応答に及ぼす影響. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 佐藤耕平, 平澤 愛, 斉藤 満, 定本朋子: 最大努力のハンドグリップレジスタンストレーニングは疲労困憊に到る静的運動時の脳血流応答を亢進させる. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 平澤 愛, 佐藤耕平, 斉藤 満, 山本幸弘, 定本朋子: 高強度レジスタンストレーニングが静的握力発揮時の腎動脈血流調節に及ぼす影響. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 笹原千穂子, 澁谷顕一, 平澤 愛, 加賀谷淳子: 食事摂取が運動後の非活動筋代謝に及ぼす影響. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 大上安奈, 井上芳光, 古賀俊策, 西保 岳, 近藤徳彦: 全身冷却時における上腕部の導管動脈と静脈の血流応答特性. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 天野達郎, 大上安奈, 古賀俊策, 近藤徳彦: 短距離選手と長距離選手における静的運動時の非温熱性熱放散特性. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 小倉幸雄, 大上安奈, 近藤徳彦, 井上芳光: 水分摂取および水温が高温下長時間運動時の体温・循環調節に及ぼす影響. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 加茂美冬: 振動刺激が随意筋力発揮時の運動単位活動と筋酸素化動態におよぼす影響. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 福田 平, 前川剛輝, 松本晃裕, 小松 裕, 中島敏明, 永井良三, 川原 貴: 低酸素下での最大酸素摂取量の低下を引き起こす血行動態的メカニズムについての検討. 第64回日本体力医学会大会, 新潟, 2009.
- 佐藤耕平, 平澤 愛, 定本朋子: 多段階掌握運動時における脳血流調節. 日本体育学会第60回記念大会, 広島, 2009.
- 大上安奈, 西保 岳, 近藤徳彦: 全身冷却時における上腕部の導管動脈と前腕部および手掌の血流応答特性. 日本体育学会第60回記念大会, 広島, 2009.
- 加茂美冬: 体性感覚入力情報の変化と運動単位活動. 第17回日本運動生理学会大会, 東京, 2009.
- 福田 平, 松本晃裕, 中島敏明, 永井良三: 常圧低酸素の運動中の心機能に対する影響. 第15回日本心臓リハビリテーション学会学術集会, 東京, 2009.
- 福田 平, 松本晃裕, 藏野美葉, 高野治人, 飯田陽子, 前川剛輝, 小松 裕, 川原 貴, 平田恭信, 永井良三, 中島敏明: 心疾患患者における運動中の心拍出量および一回拍出量の動態の検

- 討. 第20回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 兵庫, 2009.
- 田口素子, 長谷川智美, 高田和子, 辰田和佳子: アスリートのエネルギー消費量推定方法に関する研究. 第56回日本栄養改善学会学術総会, 北海道, 2009.
- 吉田明日美, 高田和子, 別所京子, 田口素子, 辰田和佳子, 戸谷誠之: 大学女性スポーツ選手におけるエネルギー摂取量評価の精度に影響する要因について. 第56回日本栄養改善学会学術総会, 北海道, 2009.
- 葛城千紗, 田口素子: 女子大学生運動選手の月経周期と安静時代謝量に関する事例的研究. 第23回女性スポーツ医学研究会学術集会, 東京, 2009.
- 岸 昌代, 田口素子: 大学女子バスケットボールリーグに出場する選手の食意識および栄養摂取状況. 第23回女性スポーツ医学研究会学術集会, 東京, 2009.
- 〈シンポジウム・セミナー等の講演〉
- 定本朋子: 基礎体力研究所における研究の動向と展望—学術フロンティア事業を踏まえて—. 日本女子体育大学附属基礎体力研究所開所20周年記念公開研究フォーラム 20周年目からの始動—きりり輝く展開を求めて—. 東京, 2009.
- 佐藤耕平: 運動時の脳血流調節におけるセントラルコマンドの役割. 日本女子体育大学附属基礎体力研究所開所20周年記念公開研究フォーラム 20周年目からの始動—きりり輝く展開を求めて—. 東京, 2009.
- 大上安奈: 運動時における非活動肢の導管動脈と静脈の血流応答特性. 日本女子体育大学附属基礎体力研究所開所20周年記念公開研究フォーラム 20周年目からの始動—きりり輝く展開を求めて—. 東京, 2009.

日本女子体育大学体育学部附属基礎体力研究所紀要 「Journal of Exercise Science」 寄稿規程

1. 寄稿原稿の内容は、体力や身体運動に関する総説、原著論文、研究資料、内外の研究動向、研究所の主催する研究会・講演会等の要旨、その他とし、いずれも完結したものに限る。
2. 本紀要に寄稿できるものは、研究所研究員（専任、兼任、兼担、客員）およびこれに準ずるものとする。ただし、共著者についてはこの限りではない。また、編集委員会が必要と認めた場合は研究所研究員以外の者に依頼することができる。
3. 原稿は和文、または英文を原則とする。和文には英文抄録（約300 words）を添付し3～5のキーワードをつける。また、論文の標題、図表のタイトルは英文とする。
4. 原稿は400字詰横書き原稿用紙を使用し、ワードプロセッサの場合は横書き（A4）40字・20行とする。本文は漢字かなまじり文、新仮名づかいとする。計量単位は、原則として国際単位系（SI）とする。
5. 英文は英語を母国語とする者（できれば研究分野が類似の者）の校閲を受けることを原則とする。編集委員を通じて校閲を依頼する場合は著者が実費を負担する。
6. 文献の記載は以下を行う。
 - 1) 本文中の引用は、引用箇所後に（山田 1992）、（山田と田川 1992）、（山田ら 1992）、（Yamada et al. 1992）のように記載する。
 - 2) 引用文献は著者名のABC順に、本文の最後に一括する。（番号は不要）
 - 3) 引用文献の記載方法は、雑誌の場合、著者名：題目、雑誌名、巻：頁（始頁—終頁）、西暦年号の順とする。単行本の場合は、著者名：書名、発行所、発行場所、頁（始頁—終頁）、西暦年号の順とする。

雑誌引用例
Saltin, B. and Astrand, P-O. : Physical working capacity ... J. Appl. Physiol. 8 : 73-80, 1971.
7. 図はそのまま製版が可能なものとする。不適当な場合は書き直すことがあるが、それに必要な費用、および特別な印刷を必要とした図表の費用は著者が実費を負担する。ただし、依頼原稿はこの限りではない。
8. 著者には論文別刷を30部贈呈する。30部以上希望する場合は著者の負担で追加できる。別刷希望部数は初校時のゲラ刷り1頁目に記入する。
9. 研究所内に研究所紀要編集委員会をもうけ、原著論文の査読の依頼、編集、校正等を行う。
10. 掲載された論文の著作権は、日本女子体育大学に帰属する。投稿者は、その著作権の日本女子体育大学への移転を了承し、所定用紙に明記する。

付 則

この規程は平成4年4月1日から施行する。

改正：平成9年4月1日

改正：平成14年7月1日

日本女子体育大学体育学部附属基礎体力研究所紀要編集委員会規程

1. 日本女子体育大学体育学部附属基礎体力研究所（以下「研究所」という。）規程第3条に掲げる事業のうち、研究所紀要を刊行するために、Journal of Exercise Science 寄稿規程9条に基づき、研究所内に研究所紀要編集委員会（以下「編集委員会」という。）を置く。
2. 編集委員会（以下「委員会」という。）の運営はこの規程に基づいて行う。
3. 委員会は紀要の編集に関して次の任務を果たすものとする。
 - (1) 編集業務
 - (2) 寄稿された論文等の審査の依頼および掲載の可否の決定
 - (3) その他編集に必要な事項
4. 委員会は基礎体力研究所運営会議構成員（研究所規程第13条）の中から選出された3名をもって構成し、所長が委嘱する。委員の任期は就任の日から2ヵ年とし、再任を妨げない。
5. 委員会には委員長を置く。委員長は委員の互選により、所長がこれを委嘱する。委員会に幹事を置くことができる。
6. 論文審査のために論文審査委員を委嘱する。論文審査は委員会の推薦により、学内の適任者に委嘱する。学内に適任者がいない場合は学外者にも委嘱することができる。審査委員の委嘱は委員会の推薦に基づき所長が行う。
7. 論文審査規程および編集要項は委員会が定める。
8. 委員会の招集は委員長が行う。
9. 編集委員会は審査委員の評定に基づき原稿の取捨を決定する。
10. 委員会において掲載可と掲載不可が分かれた場合、最終的には委員長がその採否を決定する。

付 則

本規程の施行は平成9年4月1日とする。

改正：平成11年4月1日

2010年度 研究所紀要編集委員会

委員長：定本 朋子

委員：佐藤 耕平

編集幹事：大上 安奈

2010年度 研究所スタッフ

研究所所長（兼任）：定本 朋子

講師：佐藤 耕平

ポスドク研究員：大上 安奈

技術職員：平澤 愛

事務局長：甲斐 律子

兼担研究員：加茂 美冬（日本女子体育大学）

佐伯 徹郎（日本女子体育大学）

内山 有子（日本女子体育大学）

客員研究員：小河 繁彦（東洋大学）

2010年度 研究所運営会議メンバー

定本 朋子，中村 泉，笹倉 清則，佐々木万丈，西田ますみ，佐伯 徹郎，佐藤 耕平

日本女子体育大学附属基礎体力研究所紀要

Journal of Exercise Science Vol. 20

平成 23 年 3 月 1 日 印刷

平成 23 年 3 月 31 日 発行

発行者 定本 朋子

印刷所 有限会社ナツプ

発行所 日本女子体育大学附属基礎体力研究所

〒157-8565 東京都世田谷区北烏山 8-19-1

TEL 03-3300-6172

FAX 03-3307-5825