

Journal of
E*xercise*
S*cience*

Vol. 18

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

2008

日本女子体育大学附属基礎体力研究所紀要 *Journal of Exercise Science*

Vol. 18 2008

目次

<研究報告>

- Renal vascular responses during graded dynamic bicycling exercise
in womenTomoko Sadamoto, Kohei Sato and Ai Hirasawa... 1
- The effect of mode of ventilation on cerebral oxygenation
during static exerciseKohei Sato, Ai Hirasawa and Tomoko Sadamoto... 9

<第18回研究フォーラム報告>

「スポーツ・運動と脳機能との関わり合い」

- 運動時の脳血流動態定本 朋子... 19
- 運動における脳の役割
—中枢性疲労と中枢性エネルギー代謝調節—井上 和生... 21
- 運動による脳機能低下の予防加藤 守匡... 23
- スポーツパフォーマンスを向上させる生体リズム調節内田 直... 26

<セミナー報告>

- 「Cerebral blood flow regulation during exercise」小河 繁彦... 30

<平成19年度本学運動選手に対する体力科学的サポート>

- 陸上競技部中長距離ブロック選手に対するサポート 32

<平成19年度事業報告> 35

- Journal of Exercise Science 寄稿規程 40

<研究報告>

Renal vascular responses during graded dynamic bicycling exercise in women

Tomoko SADAMOTO, Kohei SATO and Ai HIRASAWA

Abstract

From our previous data that static exercise produced a significant decrease in the renal blood flow (RA), it was hypothesized that the blood flow in RA also decreases during dynamic exercise with graded workloads. Nine healthy female volunteers participated in the present study. After 10-min resting, the subject performed a 15-min bicycling exercise consisting of three workloads of 30%, 50%, and 70% of peak oxygen uptake ($\dot{V}O_{2peak}$) for 5 min for each workload. During dynamic exercise, the responses in oxygen uptake, minute ventilation, mean arterial blood pressure (MAP), cardiac output, and heart rate increased linearly with three workloads from rest to 30%, 50%, to 70% of $\dot{V}O_{2peak}$. However, the mean RA velocity (MVB), measured by ultrasonography, showed a linear decrease with the workloads. The index of vascular resistance in RA (RVR), calculated as MAP/RA velocity, showed a significant increase from resting level during exercise at 50% and 70% of $\dot{V}O_{2peak}$. There was a significant increase in RVR from 50% to 70% of $\dot{V}O_{2peak}$. The present data supported the hypothesis that the graded bicycling exercise produces a significant increase in the renal vascular resistance over the workload of 50% $\dot{V}O_{2peak}$.

Key words: ultrasonography, renal vascular resistance

Introduction

At rest the kidneys receive a large portion of cardiac output, over 20%, due to a lower vasoconstrictor activity in the renal vascular beds (Rowell 1974). However, once exercise started, it is assumed that the renal sympathetic nerve activity is increased and thereby reducing the renal blood flow. This assumption has been convinced by the observation in conscious animals

showing a significant increase in renal sympathetic nervous activity during exercise (Mastukawa *et al.* 1991; O'Hagan *et al.* 1993; Mueller *et al.* 1998). In human studies, it was also suggested that exercise evoked renal vasoconstriction proportionally with the exercise intensity, but these human studies examined renal blood flow by invasive methods, such as various dye-dilution techniques based on the Fick principle (Grimby 1965; Clausen *et al.* 1973; Rowell 1973; Pricher *et al.* 2004), radionuclide

techniques (Flam *et al.* 1990), blood sampling analysis (Tidgren *et al.* 1991 ; Maeda *et al.* 1994, 1997) and PET scanning technique (Middlekauff *et al.* 1997). Since these invasive measurements are not suitable for rapid and repeated examinations during dynamic exercise in humans, it is necessary to investigate non-invasively the renal blood flow responses during exercise in humans.

Technological developments in Doppler ultrasound have produced a noninvasive technique for measurement of flow velocity and vessel diameter. Validation of this technique has been demonstrated by the thermodilution technique (Rådgran G 1997), magnetic resonance imaging (Zananiri *et al.* 1993), and plethysmography (Levy *et al.* 1979 ; Tschakovsky *et al.* 1995) in human studies, and by electromagnetic flow measurements in animal studies (Chauveau *et al.* 1985 ; Guldvog *et al.* 1980 ; Nakamura *et al.* 1989). However, there have been limited studies that applied Doppler method to measure the renal blood flow during exercise (Momen *et al.* 2003, 2004 ; Sadamoto *et al.* 2004). Specifically, during dynamic exercise, there was one report (Endo *et al.* 2008). However, this study investigated only during a single workload of 40 W, and no detailed study using several exercise intensities has yet been reported. From these reasons, it was undertaken to examine the renal flow velocity non-invasively, by using Doppler ultrasound technique, during dynamic exercise with graded stepwise workloads.

Methods

Subjects

Nine normal female volunteers whose mean age was 23.0 ± 3.3 yr participated in the present study. Their average weight and height and

peak oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) during bicycling exercise were 58.0 ± 5.1 kg, 163.0 ± 6.0 cm, and 37.3 ± 5.4 ml/kg/min, respectively. None had any significant medical problems, and all were considered to have normal cardiovascular functions on the basis of normal medical history and physical examinations. All subjects gave informed written consent to participate in this study before the start of experiments. Volunteers abstained from caffeine for 18 hours before the study but otherwise were on an uncontrolled diet. All subjects were studied in the postabsorptive state and familiarized with the testing apparatus of experiments. The aim and protocols in the present study were approved by the Guiding Principles for Human Studies of Ethical Committee in the Japan Women's College of Physical Education.

Study protocols

The subjects reported to our laboratory on three days separated by 2-7 days. All experiments were conducted in a well-ventilated laboratory regulated at $23 \pm 1^\circ\text{C}$. On the first day, the $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ in each subject was determined during incremental bicycling exercise in the upright position. The workload was increased to the limit of tolerance, at a rate of 12-15 W/min on an electromagnetically braked cycle ergometer (Combi, Tokyo, Japan) at 60 rpm. The $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ was identified by the leveling-off in heart rate (HR) responses and the level of subjective rating perceived exertion (RPE) in Borg's scale. On the second day, subjects practiced to perform bicycling exercise in the semi-recumbent position used in the following experiments on the third day. The scanning of renal blood flow was also tested using ultrasound Doppler methods. Thus, the subjects were familiarized with the experimental protocol and all measurements.

On the third day, subjects rested for 10 min

while preexercise baseline levels of all variables were measured. Then, subjects performed a 15-min bicycling exercise including three workloads of 30%, 50%, and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ for 5 min for each workload and had a 3 min recovery period. The exercise was performed on the recumbent ergometer (EC-3700, Cateye Tokyo). Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide production, minute ventilation volume (\dot{V}_E), heart rate (HR), arterial mean blood pressure (MAP), and cardiac output (CO) were continuously measured through the experiment. The mean blood flow velocity (MBV) in renal artery was recorded by using Doppler method for 3 min at rest condition and for last 1-min of the 5-min bicycling exercise at each workload of 30%, 50%, and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. The subject was instructed to adjust the pedaling frequency to the beep sound of 60 rpm during exercise. To obtain the highest quality of Doppler tracings possible, the Doppler transducer had to be maintained in a constant position on the subject's lower back wall. In pilot experiments, we noted that the renal artery moved with respiration phases, thus we sometimes could not maintain high-quality velocity tracings during both phases of the respiratory cycle. Nevertheless, for each subject, we obtained velocity data during the same phase of the respiratory cycle for all portions of the study protocol. No subjects performed the Valsalva's maneuver during the protocols.

Measurement of renal flow velocity.

Duplex ultrasonography (Vivid 7 Pro, GE Yokogawa medical systems, Tokyo) with a curved-array 3 C Doppler probe with a 4.0-MHz pulsed Doppler frequency was used (Lee & Grant 2002). The left renal artery was scanned via posterior and lateral abdominal approach from the lower back region. The measuring site of renal artery was located ~10

cm below the surface of lower back region and around 2 cm proximal to the entrance of left kidney. A real-time imaging system, without aliasing, was used to visualize the renal artery and allowed the placement of the Doppler sample volume within the lumen of the vessel to obtain the Doppler shift signal. The sample volume was kept constant at the center of the lumen and adjusted to cover the width of the vessel and the blood velocity distribution. The probe insonation angle to the skin was $\sim 60^\circ$. Beat-to-beat Doppler signals were analyzed to determine the mean blood flow velocity (MBV) by the software built-in the equipment (Vivid 7 Pro, GE Yokogawa medical systems, Tokyo), and then the each MBV was normalized with a time constant of 5 s for the calculation of renal vascular resistance (RVR). The RVR represents the quotient of mean arterial blood pressure (MAP) and the respective MBV value. RVR is expressed in arbitrary units (a.u.).

Cardiorespiratory measurements.

Subjects breathed through a suitable face-mask adapted for breathing through the mouth and the nose. The face-mask was connected to a Fleisch pneumotachograph (ARCO-1000, Arco system, Chiba) which gave continuous measurements of air flow. Pulmonary minute ventilation (\dot{V}_E), and oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) were assessed on a breath-by-breath basis using a computerized system with a mass spectrometer (ARCO-1000, Arco system, Chiba). Gas calibration of the mass spectrometer was performed before each experiment by utilizing a gas mixture of known composition. The data of the gas fractions and respiratory flow from the gas analysis system were continuously recorded on a computer hard disk through a 16-bit A/D board with a sampling rate of 50 Hz. Breath-by-breath analyses of \dot{V}_E and $\dot{V}O_2$ were performed for all subjects in the protocol and then

each value of \dot{V}_E and $\dot{V}O_2$ was normalized with a time constant of 5 s. Arterial blood pressure was recorded continuously from the third finger on the left arm by photoelectric plethysmography with a Finometer (Finapres, Medical Systems BV, Amsterdam). MAP was calculated from the software of Modelflow program fixed in the Finometer. The HR, stroke volume (SV), and CO were also determined from the finger waveform using the Modelflow software. The validity of the estimated SV and CO was convinced by Sugawara et al. (2003). Similarly, beat-by-beat sequential analyses of HR, CO and MAP were performed and then normalized with a time constant of 5 s in the protocol. The RPE was monitored during exercise according to Borg's scale.

Data analysis and Statistics

The 5-s normalized data obtained for 2 min of 10-min resting period, last 1-min of 5-min exercise at each workload, and last 1-min of recovery period were respectively averaged for \dot{V}_E , $\dot{V}O_2$, HR, CO, MAP, MBV, RVR and RPE. These average data in each variable were used for a one-way analysis of variance (ANOVA) with repeated measures to see the effect of workload. When a significant *F*-value in the main effect of workload was observed, Dunnett's *post hoc* test or Tukey's *post hoc* test were applied to see a significant difference from the resting level in the average at three workloads and recovery period. Data are presented as means \pm SD. The level of significance was set at $P < 0.05$.

Results

Fig. 1 shows the cardiorespiratory responses at rest and during exercise with three workloads of 30%, 50%, and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ and recovery period. The $\dot{V}O_2$, \dot{V}_E , CO, and HR dur-

ing exercise increased with three workloads from rest to 30%, 50%, to 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ and then gradually returned during the recovery period. There was a significant main effect of workload in one-way ANOVA (main effect, $P < 0.001$). *Post hoc* analyses demonstrated that these cardiorespiratory variables in 30%, 50%, and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ were significantly higher than the resting level and the difference between 30%, 50%, and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ was also significant. Similar results were observed in MAP whereas the difference between 30% and 50% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ was insignificant. The RPE increased with the workloads from 30%, 50% to 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$.

Fig. 2 shows the MBV and RVR responses at rest and during exercise and recovery period. The graded exercise produced a progressive decrease in MBV (one-way ANOVA main effect, $P < 0.001$). *Post hoc* analyses showed a significant decrease in the MBV from the rest to 50% and to 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. The RVR increased with the increase of workloads. A significant increase from rest was found at the workloads of 50% and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. The increase in RVR between 50% and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ was also significant.

Discussion

Study findings and prior studies on the topic

The present study investigated the renal vascular responses non-invasively by using Doppler method during dynamic exercise with three workloads and found that the dynamic bicycling exercise produced a significant increase in RVR at 50% and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. This means that dynamic bicycling exercise led to the renal vasoconstriction and thereby reducing the renal blood flow over the workload of 50% $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. When estimating the percent re-

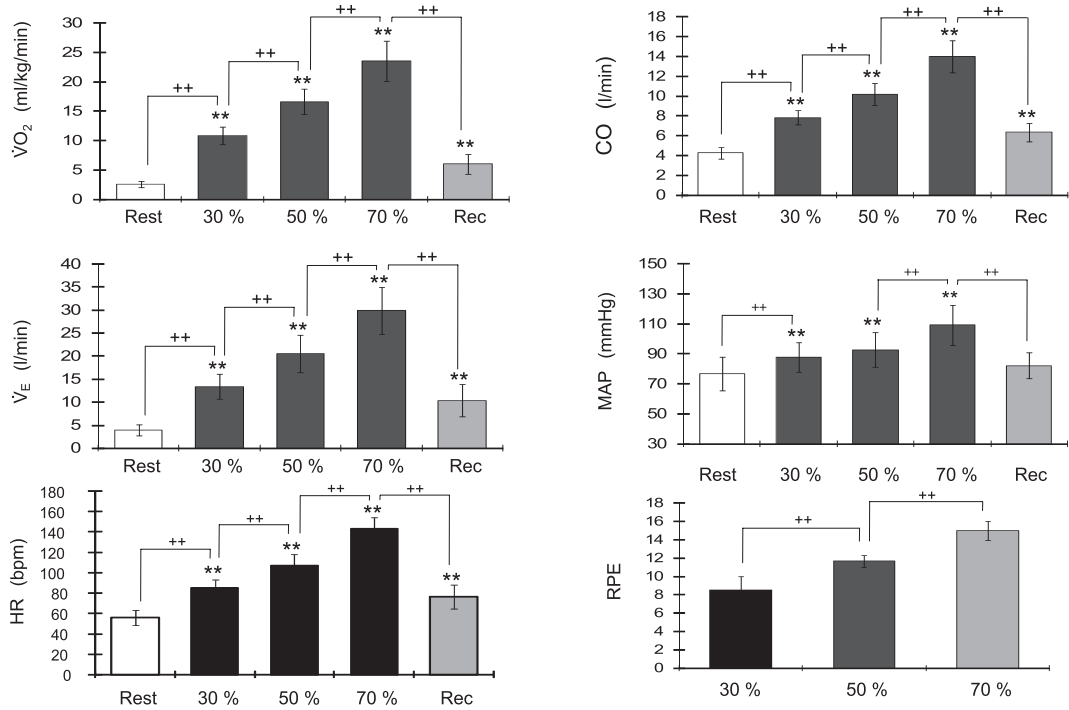


Fig. 1 Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), minute ventilation (\dot{V}_E), heart rate (HR), cardiac output (CO), mean arterial blood pressure (MAP) and rating of perceived exertion (RPE) observed at rest and during dynamic exercise with three workloads of 30%, 50% and 70% of peak oxygen uptake and during recovery period. Data expressed as means \pm SD in 9 subjects. **; significant difference vs. rest, $P < 0.01$. ++; significant difference among three workloads, $P < 0.01$.

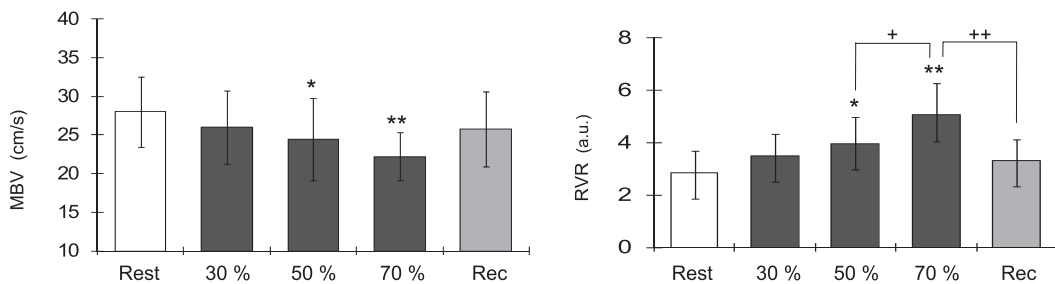


Fig. 2 Mean blood velocity (MBV) and renal vascular resistance (RVR) observed at rest and during dynamic exercise with three workloads of 30%, 50% and 70% of peak oxygen uptake and during recovery period. Data expressed as means \pm SD in 9 subjects. **; significant difference vs. rest, $P < 0.01$. ++; significant difference among three workloads, $P < 0.01$.

duction in the renal blood flow from the RVR values obtained in the present results, the reduced level for 50% and 70% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ was,

respectively, about 67% and 37% of the resting blood flow. These data agree well with the previous reports, where renal flow (Bishop *et al.*

1957 ; Grimby, 1967), hepatic flow (Clausen et al. 1973) and splanchnic flow (Rowell et al. 1973) were shown to decrease linearly with an increase of workloads during dynamic exercise. Two studies (Flamm et al. 1990 ; Osada et al. 1999), however, reported a different reduction from the present data. In the study of Flamm et al. (1990), the blood volume of kidneys was measured by radio-labeling of red blood cells and the percent reduction from the resting level was $8 \pm 2\%$ for 50% of maximal workload (HR = 134 bpm) and $16 \pm 4\%$ for 75% of maximal workload (HR = 169 bpm). Osada et al. (1999) reported a much greater decrease in the abdominal viscera blood flow during one-legged knee extension at very-low-intensity exercise (HR < 90 bpm). The discrepancy between the present data and the studies in Flam et al. (1990) and Osada et al. (1999) was probably explained by different techniques for the renal flow measurements and/or different exercise modes and protocols.

Possible mechanisms responsible for the increase in RVR

The graded dynamic exercise in the present study showed a significant increase in RVR, indicating a significant increase in renal vasoconstriction over the workload of 50% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. At first, myogenic vasoconstriction due to an elevation of MAP (Sanchez-Ferrer et al. 1989) was probably not responsible for the present increase in RVR over the workload of 50% of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ because the significant increase in MAP at 30% $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ did not produce any corresponding changes in MBV and RVR in the present data. Alternatively, it is likely that the muscle metaboreflex played a predominant role in the increase in RVR over 50% $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. Previous studies demonstrated that postexercise muscle ischemia produced a profound increase in RVR which is almost identical to RVR during static

exercise (Middlekauff et al. 1997) or up to 60-70% of RVR during static exercise (Momen et al. 2003 ; Sadamoto 2004). It is also well-known that blood lactate accumulation during exercise, generally occurs at the intensity over 50-60% of $\dot{V}O_{2\text{max}}$ in untrained subjects (cf. Davis, 1979). Thus, it seems likely that the muscle metaboreflex arising from exercising muscles played an important role in the increase in RVR during dynamic exercise over 50% $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ in the present study. Secondly, the muscle mechanoreflex engagement was also a possible mechanism. This explanation was convinced by animal studies (Hill et al. 1996 ; Matsukawa et al. 1990 ; Victor et al. 1989), where muscle mechanoreflex engagement is indicated as the primary cause for the renal vasoconstrictor during muscle contraction. Thirdly, the production of endothelin-1 (ET-1), an endothelium-derived potent vasoconstrictor peptide in human vessels, is also potent stimulus to cause vasoconstriction in nonworking muscles such as kidneys (Maeda et al. 1994, 1997). Further studies in humans are necessary to investigate the responsible mechanisms underlying the regulation of renal vasoconstriction during exercise.

Limitation of study

In the present study, we were not able to precisely measure renal artery diameter using ultrasound Doppler method. This is because spatial resolution decreases as the frequency of the ultrasound transducer decreases (Kremkau 1998). To obtain an optimal velocity signal from the renal artery, a low-frequency (4.0-MHz) transducer was employed. At this frequency level, spatial resolution of the technique is not sufficient to precisely measure diameter changes that would be seen in the relatively small renal artery. Accordingly, the RVR resistance might have some variations.

Acknowledgements: The authors are very grateful to Ms. Mariko Nakamura, and Ms. Miho Suzuki and Mr. Yamamoto for data collection and excellent technical support. The

present project was supported by “from MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology in Japan), 2003–2007.

References

- Bishop, J.M., Donald, K.W., Taylor, S.H. and Wormald, P.N. : Changes in arterial-hepatic venous oxygen content difference during and after supine leg exercise. *J. Physiol. (Lond)* **137** : 309–317, 1957.
- Chauveau, M., Levy, B., Dessanges, J.F., Savin, E., Bailliar, O. and Martineaud, J.P. : Quantitative Doppler blood flow measurement method and in vivo calibration. *Cardiovasc. Res.*, **19** : 700–706, 1985.
- Davis, J.A., Frank, M.H., Whipp, B.J. and Wasserman, K. : Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J. Appl. Physiol.* **46** : 1039–1046, 1979.
- Endo, M. Y., Suzuki, R., Nagahata, N., Hayashi, N., Miura, A., Koga, S. and Fukuba, Y. : Differential arterial blood flow response of splanchnic and renal organs during low-intensity cycling exercise in women. *Am J Physiol* **294** : H 2322–H 2326, 2008.
- Flamm, S.D., Taki, J., Moore, R., Lewis, S.F., Keech, F., Maltais, F., Ahmad, M., Callahan, R., Dragotakes, S., Alpert, N. and Strauss, H.W. : Redistribution of regional and organ blood volume and effect on cardiac function in relation to upright exercise intensity in healthy human subjects. *Circulation* **81** : 1550–1559, 1990.
- Grimby, G. : Renal clearances during prolonged supine exercise at different loads. *J Appl Physiol.* **20** : 1294–1298, 1965
- Guldvog, I., Kjaernes, M., Thoresen, M. and Walløe L. : Blood flow in arteries determined transcutaneously by an ultrasonic doppler velocity meter as compared to electromagnetic measurements on the exposed vessels. *Acta. Physiol. Scand.* **109** : 211–216, 1980.
- Hill, J.M., Adreani, C.M. and Kaufman, M.P. : Muscle reflex stimulates sympathetic postganglionic efferents innervating triceps surae muscles of cats. *Am. J. Physiol.* **271** : H38–H43, 1996.
- Kremkau, F.W. : *Diagnostic Ultrasound : Principles and Instruments* (5 th ed.). PA : Saunders, Philadelphia, chaps. 3 and 4, p. 79–214, 1998.
- Lee, H.Y. and Grant, E.G. : Sonography in renovascular hypertension. *J. Ultrasound. Med.* **21** : 431–441, 2002.
- Levy, B.I., Valladares, W.R., Ghaem, A. and Martineaud, J.P. : Comparison of plethysmographic methods with pulsed Doppler blood flowmetry. *Am. J. Physiol.* **236** : H 899–H 903, 1979.
- Maeda, S., Miyauchi, T., Goto, K. and Matsuda, M. : Alteration of plasma endothelin-1 by exercise at intensities lower and higher than ventilatory threshold. *J. Appl. Physiol.* **77** : 1399–1402, 1994.
- Maeda, S., Miyauchi, T., Sakae, M., Saito, M., Maki, S., Goto, K. and Matsuda, M. : Does endothelin-1 participate in the exercise induced changes of blood flow distribution of muscle in humans? *J. Appl. Physiol.* **82** : 1107–1111, 1997.
- Matsukawa, K., Mitchell, J.H., Wall, P.T. and Wilson, L.B. : The effect of static exercise on renal sympathetic nerve activity in conscious cats. *J. Physiol. (Lond)* **434** : 453–467, 1991.
- Matsukawa, K., Wall, P.T., Wilson, L.B. and Mitchell, J.H. : Reflex responses of renal nerve activity during isometric muscle contraction in cats. *Am. J. Physiol.* **259** : H 1380–H 1388, 1990.
- Middlekauff, H.R., Nitzsche, E.U., Nguyen, A.H., Hoh, C.K. and Gibbs, G.G. : Modulation of renal

- cortical blood flow during static exercise in humans. *Circ. Res.* **80** : 62–68, 1997.
- Momen, A., Leuenberger, U.A., Ray, C.A., Cha, S. and Sinoway, L.I. : Renal vascular responses to static handgrip : role of the muscle mechanoreflex. *Am. J. Physiol.* **285** : H1247–H1253, 2003.
- Momen, A., Leuenberger, U.A., Handly, B. and Sinoway, L.I. : Effect of aging on renal blood flow velocity during static exercise. *Am. J. Physiol.* **287** : H 735–H 740, 2004.
- Mueller, P.J., O'Hagan, K.P., Skogg, K.A., Buckwalter, J.B. and Clifford, P.S. : Renal hemodynamic responses to dynamic exercise in rabbits. *J. Appl. Physiol.* **85** : 1605–1614, 1998.
- Nakamura, T., Moriyasu, F., Ban, N., Nishida, O., Tamada, T., Kawasaki, T., Sakai, M. and Uchino, H. : Quantitative measurement of abdominal arterial blood flow using image-directed Doppler ultrasonography : superior mesenteric, splenic, and common hepatic arterial blood flow in normal adults. *J. Clin. Ultrasound* **17** : 261–268, 1989.
- O'Hagan, K.P., Bell, L.B., Mittelstadt, S.W. and Clifford, P.S. : Effect of dynamic exercise on renal sympathetic nerve activity in conscious rabbits. *J. Appl. Physiol.* **74** : 2099–2104, 1993.
- Osada, T., Kastumura, T., Hamaoka, T., Inoue, S., Esaki, K., Sakamoto, A., Murase, N., Kajiyama, J., Shimomitsu, T. and Iwane, H. : Reduced blood flow in abdominal viscera measured by Doppler ultrasound during one-legged knee extension. *J. Appl. Physiol.* **86** : 709–711, 1999.
- Pricher, M.P., Holowats, L.A., Williams, J.T., Lockwood, J.M. and Halliwell, H.R. : Regional hemodynamics during postexercise hypotension. I. Splanchnic and renal circulations. *J. Appl. Physiol.* **97** : 2065–2070, 2004.
- Rådegran, G. : Ultrasound Doppler estimates of femoral artery blood flow during dynamic knee extensor exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* **83** : 1383–1388, 1997.
- Rowell, L.B. : Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.* **54** : 75–159, 1974.
- Rowell, L.B. : Regulation of splanchnic blood flow in man. *Physiologist* **16** : 127–142, 1973.
- Sadamoto, T. : Renal blood flow responses during static exercise and postexercise muscle ischemia. In Report for Academic Frontier Project at JWCPE edited by Kagaya, A., p. 44–53, 2004.
- Sanchez-Ferrer, C.F., Roman, R.J. and Harder, D.R. : Pressure-dependent contraction of rat juxtamedullary afferent arterioles. *Circ. Res.* **64** : 790–798, 1989.
- Sugawara, J., Tanabe, M., Yamaoto, K., Takahashi, K., Iemitsu, M., Otsuki, T., Homma, S., Maeda, S., Ajisaka, R. and Matsuda, M. : Non-invasive assessment of cardiac output during exercise in healthy young humans : comparison between Modelflow method and Doppler echocardiography method. *Acta. Physiologica. Scand.* **179** : 361–366, 2003.
- Tschakovsky, M.E., Shoemaker, J.K. and Hughson, P.L. : Beat-by-beat forearm blood flow with Doppler ultrasound and strain-gauge plethysmography. *J. Appl. Physiol.* **79** : 713–719, 1995.
- Tidgren, B., Hjemdahl, P., Theodorsson, E. and Nussberger, J. : Renal neurohormonal and vascular responses to dynamic exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* **70** : 2279–2286, 1991.
- Victor, R.G., Rotto, D.M., Pryor, S.L. and Kaufman, M.P. : Stimulation of renal sympathetic activity by static contraction : evidence for mechanoreceptor-induced reflexes from skeletal muscle. *Circ. Res.* **64** : 592–599, 1989.
- Zanariri, F.V., Jackson, P.C., Halliwell, M., Harris, R.A., Hayward, J.K., Davies, E.R. and Wells, P.T. : A comparative study of velocity measurements in major blood vessels using magnetic resonance imaging and Doppler ultrasound. *Br. J. Radiol.* **66** : 1128–11, 1993.

<研究報告>

The effect of mode of ventilation on cerebral oxygenation during static exercise

Kohei SATO, Ai HIRASAWA and Tomoko SADAMOTO

Abstract

The purpose of the present study was to determine the effect of the mode of ventilation on the cerebral oxygenation during heavy static exercise. Eight subjects performed static arm flexion exercise (70~80% of the maximal voluntary contraction force) with the following three different ventilation mode ; exercise with continued ventilation (CONT), exercise with concomitant breath holding (EX + BH), and exercise with pre-exercise hyperventilation (HV + EX). The levels of oxy-hemoglobin (HbO₂), deoxy-hemoglobin (HHb), and total hemoglobin (THb) in the left prefrontal cortex were continuously monitored by the Near-infrared spectorscopy (NIRS). The main findings in the present study are as follows : 1) In EX + BH, prefrontal cortex O₂Hb and THb during exercise show sharper and more marked increase than in CONT ; and 2) In HV + EX, prefrontal cortex O₂Hb and THb responses during exercise were significantly smaller than those in CONT. These results show that the respiration mode before and during exercise affects prefrontal cortex oxygenation and blood volume during heavy static exercise.

Key words: Valsalva breathing, hyperventilation, cerebral blood flow

Introduction

Change in the middle cerebral artery mean blood flow velocity ($MCA V_{mean}$) during heavy static and resistance exercise could be associated with the mode of ventilation, including the potential for expiratory strain with heavy exercise (Valsalva-like maneuver) (Pott *et al.* 2003), and hypocapnia induced by hyperventilation before exercise (Edwards *et al.* 2002 ; Romero and Cook 2007). A previous study reported marked increase in $MCA V_{mean}$ at the on-

set of maximal two-legged extension with concomitant Valsalva-like maneuver (Pott *et al.* 2003). More recently, Romero and Cooke (2007) demonstrated that hypocapnia induced by hyperventilation before exercise exacerbates the reduction in $MCA V_{mean}$ during and after leg-press resistance exercise. However, these investigations mainly focus on the blood flow responses in the large vessel of the brain and there is no information regarding the effect of the mode of ventilation on the cerebral tissue oxygenation and blood volume at the level of arteriolar, capillary, and venule during heavy

exercise.

Cerebral oxygenation reflected cerebral functional activity, and can be measured with several techniques (Obrig *et al.* 1996 ; Colier *et al.* 1999). Near-infrared spectoroscropy (NIRS) allows for non-invasive monitoring of regional changes in cortical tissue oxygenation in response to various stimuli (Obrig *et al.* 1996 ; Colier *et al.* 1999 ; Obrig *et al.* 2000). NIRS permits monitoring of change in oxy-hemoglobin (HbO₂) and deoxy-hemoglobin (HHb) with a high temporal resolution. The sum of these parameters provides an index of the relative change in total Hb (THb), which is considered to reflect the blood volume change of the cerebral tissue.

The purpose of the present study was to determine the effect of the mode of ventilation on the cerebral oxygenation during heavy static exercise by using NIRS. In oared to clarify this effect, the subjects performed heavy static exercise with the following three different ventilation mode ; 1) exercise with continued ventilation, 2) exercise with concomitant breath holding, and 3) exercise with pre-exercise hyperventilation.

Methods

Subjects

Eight male field athletes (6 shot putters and 2 hammer throwers ; mean age \pm SD : 21.5 \pm 1.3 years) volunteered to participate in this study after providing informed consent to the protocol, as approved by the ethics committee of Japan Women's College of Physical Education.

Exercise protocol and mode of ventilation

In this study, right elbow flexion was performed with the use of a multifunctional dynamometer (VINE, Japan). The subjects were seated in a custom-made chair in which a con-

stant body position could be maintained throughout the exercise. The right upper arm was kept on a padded rest, and the wrist was attached to an arm lever by a Velcro strap. The exercise load selected was 70-80% of the maximal voluntary contraction (MVC) force.

After a 3-min resting period, the subjects performed 15-s static exercises at 70-80% MVC with the following 3 different modes of ventilation (in random order) : 1) exercise with continued ventilation (control ; CONT), 2) exercise with concomitant breath holding (EX + BH), and 3) pre-exercise hyperventilation with exercise (HV + EX) .

In CONT, all subjects were instructed to breathe normally and avoid holding their breath at rest and recovery, and during exercise. In EX + BH, all subjects performed 15-s static exercises with concomitant breath holding. In HV + EX, after a 2-min rest, the subjects were instructed to perform voluntary hyperventilation for 1-min in order to achieve a P_{ET}CO₂ of \sim 3.5% (Cooke and Romero 2007). After the 1-min hyperventilation, the subjects performed 15-s static exercises with continued ventilation. Subjects were positioned so that they could see their P_{ET}CO₂ level.

Measurement

Cerebral oxygenation

The detection and emission probes of an NIRS (NIRO-300 ; Hamamatsu Photonics, Japan) were separated by 4 cm. The probe was fixed in place by using a dense rubber vinyl holder that also eliminated any incidental room light. It was placed over the left frontal lobe (Bhambhani *et al.*, 2007). The prefrontal lobe was chosen as it has been previously studied during exercise (Bhambhani *et al.*, 2007). The NIRO-300 uses laser light at four wavelengths (775, 810, 850, 905 nm) to calculate relative concentration changes in oxy-haemoglobin (HbO₂), deoxy-

haemoglobin (HHb) and total hemoglobin (THb = HbO₂ + HHb) using the modified Beer-Lambert Law (Ferrari *et al.*, 2004). A differential pathlength factor (DPF) was not used in this study, and thus values for HbO₂, HHb and tHb are reported as relative quantitative changes in concentration from the baseline (mM*cm). The levels of HbO₂, Hb, and THb were continuously sampled by the NIRS unit at a rate of 2 Hz. These parameters are expressed as a change from 0.

MCA V_{mean} and cardiorespiratory responses

MCA V_{mean} measurement was performed with an ultrasound system (Vivid 7; GE Yokogawa Medical Systems, Japan) equipped with a 2.0 MHz sector transducer. We first used B-mode imaging to visualize the ipsilateral MCA, and subsequently, real-time Doppler velocity spectrum was identified in PW-mode. Blood flow velocity measurements were obtained with the sample volume set at 7~8 mm and with the vector of the cursor positioned in the center of the blood stream, parallel to the vessel axis. The MCA V_{mean} was defined as the time-averaged mean velocity obtained in automatic calculation mode.

MAP was measured non-invasively by photoelectric plethysmography with Finometer (Finapres Medical Systems, Netherlands). Furthermore, we determined the heart rate (HR), stroke volume (SV), and thus cardiac output (CO), from the blood pressure wave form by using the Model flow software program, which incorporated gender, age, height, and weight (Beat Scope 1.1, Finapres Medical Systems, Netherlands). The CO was calculated as SV × HR.

Respiratory parameters were determined with an online system for the breath-by-breath method. Respiratory gas was sampled continuously from a face mask. The gas fractions were

analyzed by a mass spectrometer (ARCO-2000, Arco System, Japan) that was calibrated and confirmed before each test. The expired gas volume was measured by a Fleisch pneumotachometer (WLSU-5201, Westron, Japan). Breath-by-breath data were analyzed with customized software on a computer (PC-9821, Toshiba, Japan), and expiratory minute ventilation (\dot{V}_E) and $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ were calculated.

Data processing and statistics

The beat-to-beat values of HbO₂, Hb, THb, MAP, and CO were averaged over 1-s intervals. Breath-by-breath values for respiration and $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ were averaged over 5-s intervals. Moreover, the MCA V_{mean} for each subject was averaged over 2-s intervals immediately before, during, and immediately after exercise.

Values were expressed as the mean ± SE. To confirm whether the parameters had actually changed as a result of exercise as compared with the resting values, two-way analysis of variance (ANOVA) with repeated measurements and Dunnett's t-test were conducted. Differences between the three trials were further analyzed with Scheffe's post-hoc analysis. These statistical analyses were computed by SPSS 12.0 software (SPSS, Tokyo, Japan) and $P < 0.05$ was considered to indicate a significant difference.

Results

Cerebral oxygenation and MCA V_{mean}

The cerebral oxygenation and MCA V_{mean} responses at rest, during, and after exercise are illustrated in **Fig. 1**. **Fig. 2** also shows the cerebral oxygenation responses immediately before, during, and immediately after exercise over an expanded time scale.

In EX + BH, O₂Hb increased sharply after the start of exercise and reached the maximum

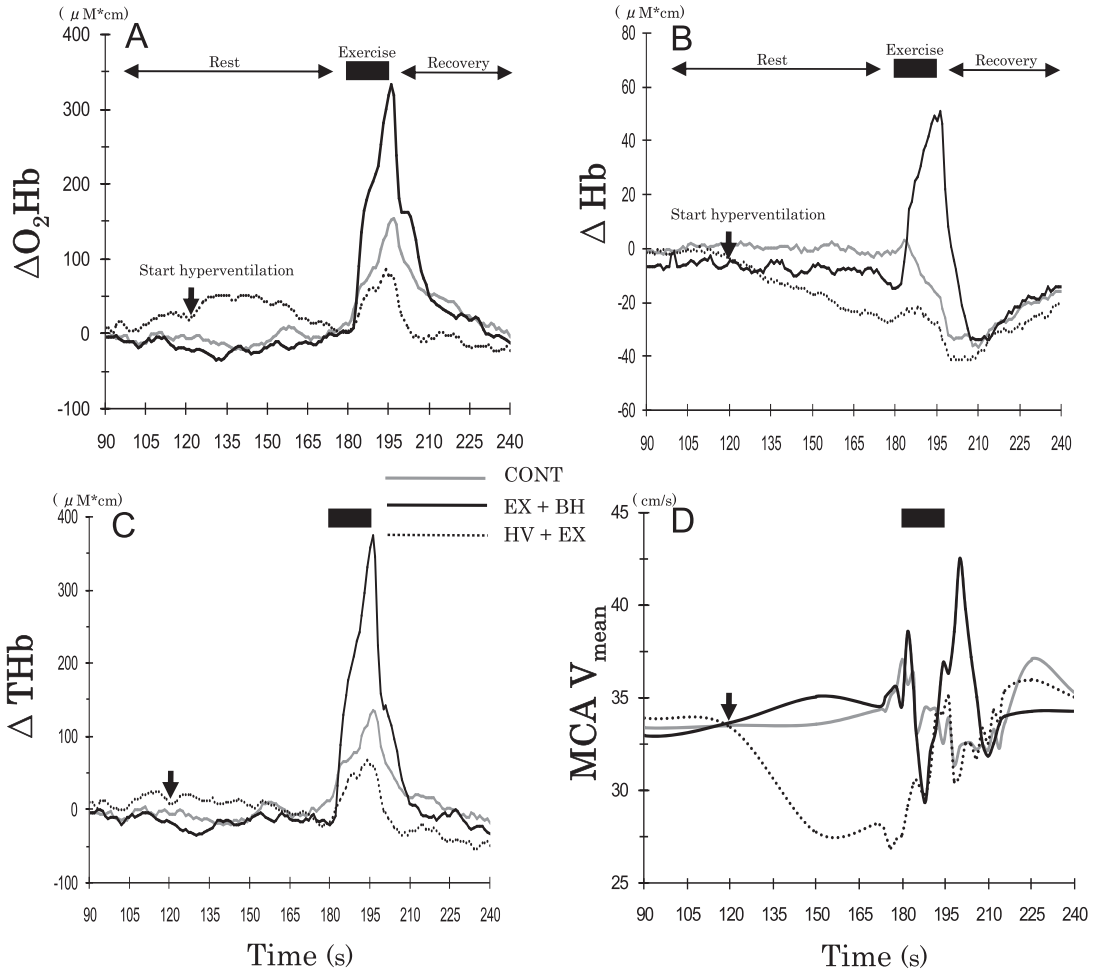


Fig. 1 Cerebral oxygenation and middle cerebral artery mean blood flow velocity at rest, during, and after static exercise. (A) ΔO_2Hb ; oxy-hemoglobin concentration, (B) ΔHHb ; deoxy-hemoglobin concentration, (C) ΔTHb ; total hemoglobin, (D) $MCA V_{mean}$; middle cerebral artery mean blood flow velocity.

value ($330 \pm 17 \text{ mM}^* \text{cm}$) at 1 s after the completion of exercise. The amount of increase in O_2Hb in EX + BH was approximately 2 times that in CONT. In HV + EX, on the other hand, O_2Hb started to increase slightly beginning from the start of hyperventilation following a 2 minute rest but returned to the resting value at the start of exercise. The amount of increase in O_2Hb during exercise in HV + EX was about one-half that in CONT ($77 \pm 22 \text{ mM}^* \text{cm}$ at the completion of exercise). O_2Hb values at the

completion of exercise in EX + BH and HV + EX were significantly different from the value in CONT.

In CONT, HHb gradually decreased after the start of exercise and reached the minimum value ($-37 \pm 5 \text{ mM}^* \text{cm}$) at 15 s after the completion of exercise. Then, HHb gradually returned to the resting value; however, the value at 45 s after the completion of exercise was still significantly higher than the resting value. Contrary to CONT, in EX + BH, HHb started to

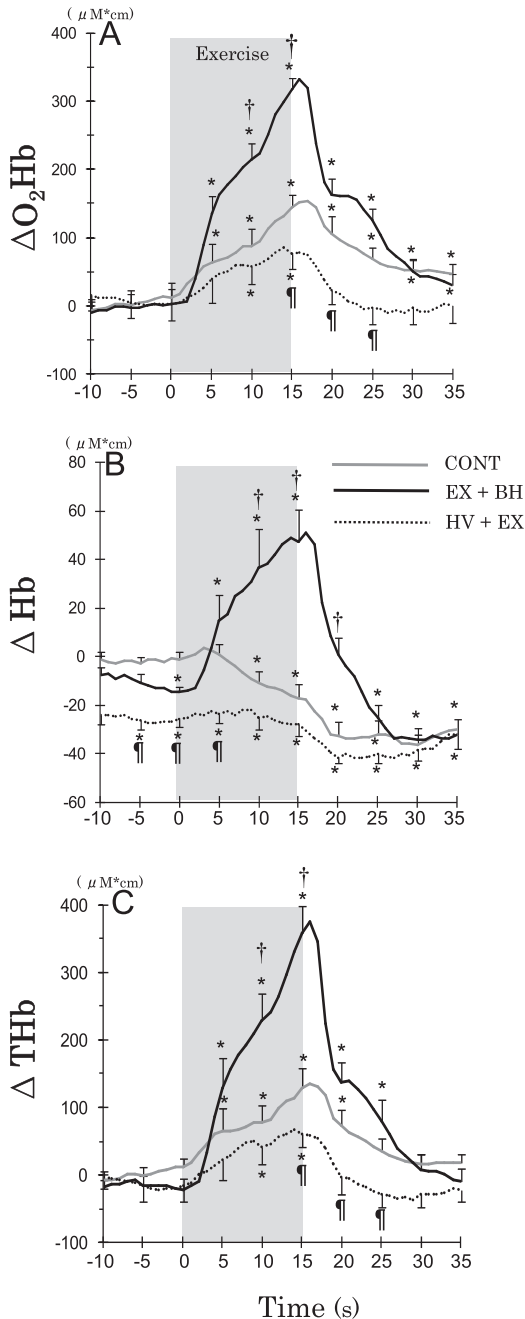


Fig. 2 (A) ΔO_2Hb , (B) ΔHb , (C) ΔTHb at rest, during, and after static exercise over an expanded time scale. * different from rest ($P < 0.05$). † ‡ different from CONT ($P < 0.05$).

increase sharply after the start of exercise and reached the maximum value ($50 \pm 13 \text{ mM}^* \text{cm}$) immediately after the completion of exercise. Hb decreased sharply after the completion of exercise and reached the minimum value ($-34 \pm 4 \text{ mM}^* \text{cm}$) at about 15 s after the completion of exercise and then gradually returned to the previous value. In HV + EX, Hb gradually decreased after the start of hyperventilation and reached $-22 \pm 5 \text{ mM}^* \text{cm}$ at the start of exercise. Hb remained almost unchanged during exercise and showed the minimum value ($40 \pm 3 \text{ mM}^* \text{cm}$) at about 10 s after the completion of exercise. Hb during exercise in EX + BH was significantly higher than that in CONT, and Hb immediately before and immediately after exercise in EX + BH was significantly lower than that in CONT.

In all respiration modes, THb responses during exercise were similar to HbO₂ responses. THb at 10 to 15 s after the start of exercise in EX + BH was significantly higher than that in CONT, and THb responses at the completion of exercise and until 10 s after the completion of exercise in HV + EX were significantly lower than those in CONT.

MCA V_{mean} responses were completely different among the 3 respiration modes. In CONT, MCA V_{mean} slightly increased immediately before the start of exercise and gradually decreased during exercise. MCA V_{mean} was lower than the resting value until at 15 s after the completion of exercise and then returned to the previous value. In EX + BH, on the other hand, MCA V_{mean} increased sharply for several seconds immediately after the start of exercise, then decreased sharply until 8 s after the start of exercise and reached the minimum value ($29 \pm 8 \text{ cm/s}$). Then, MCA V_{mean} continued to increase toward the completion of exercise and reached the maximum value ($42 \pm 6 \text{ cm/s}$) at 5 s

after the completion of exercise. That is, $MCA V_{\text{mean}}$ showed 3-phase responses during exercise and an overshoot after exercise. In HV + EX, beginning from the start of hyperventilation, $MCA V_{\text{mean}}$ showed a significant decrease than the resting value and decreased to 27 ± 4 cm/s at the start of exercise. $MCA V_{\text{mean}}$ during exercise gradually increased toward the completion of exercise. $MCA V_{\text{mean}}$ decreased temporarily and then returned to the resting value.

Cardiorespiratory responses

The $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$, MAP, and CO responses at rest, during, and after exercise are also displayed in Fig. 3. In CONT, $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ decreased from about 38.5 mmHg at rest to about 35.5 mmHg at 5 s after the start of exercise. $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ gradually increased after the completion of exercise and reached about 42 mmHg at 20 seconds after the completion of exercise. The subjects in EX + BH performed breath holding during exercise, and no $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ data during exercise are available ; $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ at about 15 s after the completion of exercise was higher (about 41 mmHg) than the resting value. In HV + EX, $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ decreased sharply from the start of hyperventilation and reached the steady state at about 28 mmHg. $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$ increased during exercise and then gradually returned to the resting value after the completion of exercise.

MAP in CONT started to increase immediately before the start of exercise. MAP in CONT then showed 3-phase responses consisting of the following : 1) a sharp increase after the start of exercise ; 2) a temporary decrease during exercise ; and 3) an increase toward the completion of exercise. MAP responses in EX + BH were 3-phase responses as in CONT, but the amount of increase in EX + BH was significantly larger than that in CONT. However, MAP responses in HV + EX were different from those in other ventilation modes. MAP in HV +

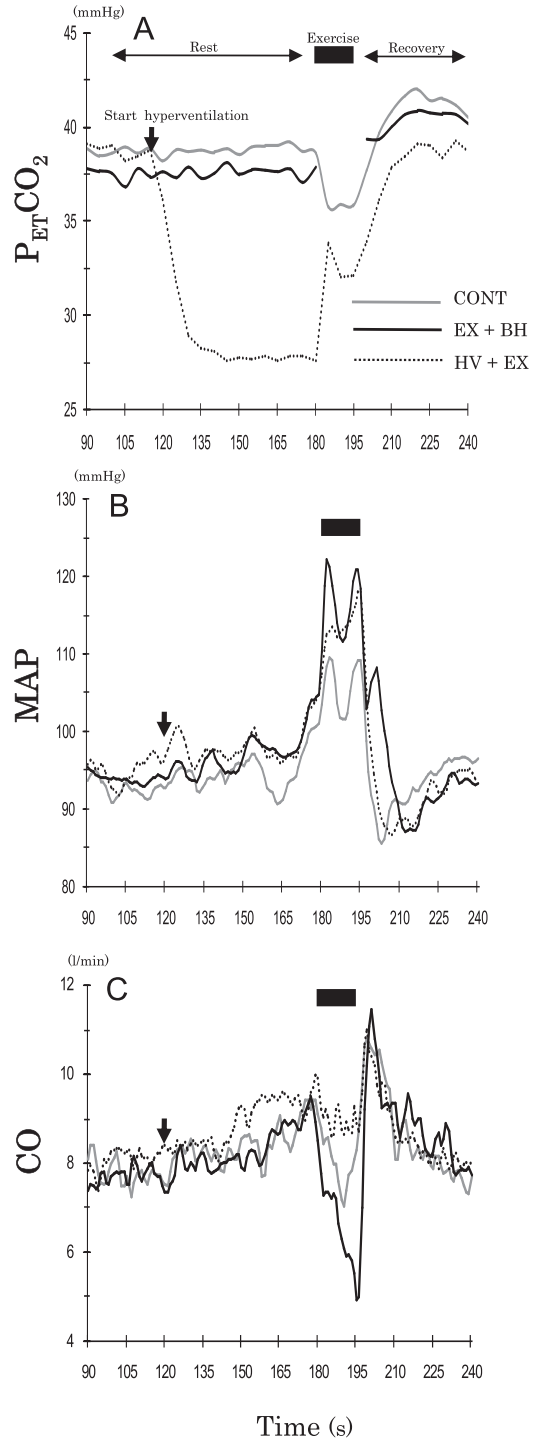


Fig. 3 Cardiorespiratory responses at rest, during, and after static exercise. (A) $P_{\text{ET}} \text{CO}_2$; end-tidal CO_2 pressure, (B) MAP; mean arterial pressure, (C) O; cardiac output.

EX increased sharply after the start of exercise and continued to increase toward the completion of exercise. In all respiration modes, the blood pressure temporarily became lower than the resting value after the completion of exercise; this temporary decrease in blood pressure was slightly delayed only in EX + BH.

In CONT, CO increased slightly before the start of exercise, but decreased from the start toward the middle of exercise. CO reached the minimum value (7.0 ± 0.8 l/min) at 10 s after the start of exercise, and then increased and reached the maximum value (10.7 ± 0.6 l/min) at 10 s after the completion of exercise. In EX + BH, the reduction in CO during exercise was more marked; CO decreased to 4.9 ± 0.8 l/min at the completion of exercise. Then, CO showed a sharp overshoot for 5 s after the completion of exercise and reached the maximum value (11.4 ± 0.7 l/min) and then returned to the resting value. In HV + EX, CO started to increase slightly at about 40 s before the start of exercise. CO during exercising did not change significantly from the resting value and, as in other respiration modes, increased after exercise, showing the maximum value (11.0 ± 0.5 l/min).

Discussion

The main findings in the present study are as follows: 1) When the subjects underwent breath holding during heavy static exercise, prefrontal tissue O_2Hb and THb during exercise show sharper and more marked increase than in CONT without breath holding; and 2) When the subjects underwent hyperventilation followed by heavy static exercise, prefrontal tissue O_2Hb and THb responses during exercise were significantly smaller than those in respiration modes without hyperventilation. These re-

sults show that the respiration mode before and during exercise affects cerebral oxygenation and blood volume in prefrontal cortex during heavy static exercise.

In the present study, the amount of increase in MAP in EX + BH was nearly two times that in CONT; moreover, CO decreased during exercise by as much as 35%. This excessive increase in MAP and the sharp decrease in CO are considered to be caused by Valsalva-like maneuver due to breath holding during heavy exercise (Meyer *et al.* 1966). That is, the vena cava is compressed by an increase in intrathoraco-abdominal pressure due to breath holding during heavy exercise. Then, venous drainage decreases, finally resulting in reductions in stroke volume and thus CO (Pott *et al.* 2003). The time course of MAP and $MCA V_{mean}$ during exercise was similar to the responses observed in previous studies in which the subjects concurrently underwent heavy exercise on lower limbs with Valsalva-like maneuver (Pott *et al.* 2003). Based on these results, it can be speculated that the respiratory state of the subjects during exercise in EX + BH was like Valsalva breathing.

O_2Hb during exercise in EX + BH showed a sharper and more marked increase than that in CONT; the increase in EX + BH was more than two times that in CONT. Moreover, because THb showed marked increases, the increase in O_2Hb is considered to be due to the sharp increase in blood volume in the prefrontal cortex. Based on the fact that $MCA V_{mean}$ temporarily decreased after the increase at the start of exercise, it is speculated that the blood supply to the brain during exercise is considered to be lower than that at rest. That is, it is suggested that the sharp increase in blood volume in EX + BH was not due to the increase in arterial blood flow. Within the sample volume of the

NIRS, hemoglobin is contained in arterioles, capillaries, and venules, but the relative position of the pigment determined by NIRS remains unknown. From the anatomic studies of the brain, the venule to total vessel volume ratio ranges from 2/3 to 4/5. Because ~5% of the blood is within the capillaries and ~20% in the arterioles, it may be argued that NIRS is dominated by the local venous O₂ saturation rather than a tissue O₂ content (Ferrari *et al.* 2004). Therefore, it is likely that the increase in blood volume in the prefrontal area observed in the present study was mainly due to pooling of blood in the venules of the brain.

The subjects in HV + EX performed spontaneous hyperventilation starting at 1 minute before the start of exercise ; a decrease in CO₂ concentration in arterial blood can be speculated from the decrease in P_{ET} CO₂ as well. After the start of hyperventilation, MCA V_{mean} started to decrease gradually and reached a constant value in 30 s. The reduction in MCA V_{mean} was caused by the cerebral vasoconstriction due to hypocapnia (Ainslie *et al.* 2005). On the other hand, hyperventilation led to a slight increase in O₂Hb and a decrease in HHb ; as a result, no change was observed in THb. Although it is not clear why O₂Hb and THb did not reflect the decrease in MCA V_{mean} during hyperventilation, it is likely that cerebral nerve activity associ-

ated with respiratory muscle activity due to spontaneous hyperventilation affected O₂Hb. The amount of increase in O₂Hb during exercise in HV + EX was less than that in CONT. Our result suggested that hyperventilation before exercise suppresses an increase in cerebral oxygenation at the onset of heavy exercise and it may be caused by cerebral vasoconstriction due to hypocapnia (Edwards *et al.* 2002 ; Ainslie *et al.* 2005 ; Romero and Cook 2007) .

The present study demonstrates that although respiration modes affect MCA V_{mean} responses before and during exercise, cerebral oxygenation does not necessarily reflect changes of MCA V_{mean} . This disparity between cerebral oxygenation and MCA V_{mean} was not in conformance with the results of previous studies (Pott *et al.* 2003). Further research is required clarify this point.

The present study has shown that hyperventilation before exercise and breath holding during heavy exercise affect cerebral oxygenation and blood volume. It has been demonstrated that breath holding during heavy exercise induces an excessive increase in blood volume (pooling of blood) in the prefrontal cortex and that hyperventilation before exercise suppresses an increase in oxy-haemoglobin response during exercise.

References

- Ainslie, P.N., Ashmead, J.C., Ide, K., Morgan, B.J. and Poulin, M.J. : Differential responses to CO₂ and sympathetic stimulation in the cerebral and femoral circulations in humans. *J. Physiol. (Lond)*. **566** : 613–624, 2005.
- Bhambhani, Y., Malik, R. and Mookerjee, S. : Cerebral oxygenation declines at exercise intensities above the respiratory compensation threshold. *Respir. Physiol. Neurobiol.* **156** : 196–202, 2007.
- Colier, V., Quaresima, B., Oeseburg, Ferrari, M. : Human motor-cortex oxygenation changes induced by cyclic coupled movements of hand and foot. *Exp. Brain Res.* **129** : 457–461, 1999.

- Edwards, M.R., Martin, D.H. and Hughson, R.L.* : Cerebral hemodynamics and resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 1207–1211, 2002.
- Ferrari, M., Mottola, L. and Quaresima, V.* : Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Can. J. Appl. Physiol.* **29** : 463–487, 2004.
- Meyer, J.S., Gotoh, F., Takagi, Y. and Kakimi, R.* : Cerebral hemodynamics, blood gases, and electrolytes during breath-holding and the Valsalva maneuver. *Circulation* **33** : II 35–II 48, 1966.
- Obrig, C., Hirth, J.G., Junge-Hulsing, C., Doge, T., Wolf, U., Dirnagl, Villringer, A.* : Cerebral oxygenation changes in response to motor stimulation. *J. Appl. Physiol.* **81** : 1174–1183, 1996.
- Obrig, H., Wenzel, R., Kohl, M., Horst, S., Wobst, P., Steinbrink, J. and Villringer, A.* : Near-infrared spectroscopy : does it function in functional activation studies of the adult brain. *Int. J. Psychophysiol.* **35** : 125–142, 2000.
- Pott, F., Van Lieshout, J.J., Ide, K., Madsen, P. and Secher, N.H.* : Middle cerebral artery blood velocity during intense static exercise is dominated by a Valsalva maneuver. *J. Appl. Physiol.* **94** : 1335–1344, 2003.
- Romero, S.A. and Cooke, W.H.* : Hyperventilation before resistance exercise : cerebral hemodynamics and orthostasis. *Med. Sci. Sports Exerc.* **39** : 1302–1307, 2007.

(submitted 2008, 6, 17)

(accepted 2008, 8, 22)

日本女子体育大学附属 基礎体力研究所 第18回研究フォーラム 「スポーツ・運動と脳機能との関わり合い」

日 時：2007年11月24日（土）13：30～17：30

会 場：日本女子体育大学本館 E101

●13：30 開会 開会の挨拶 定本 朋子（日本女子体育大学基礎体力研究所所長）

●13：35～15：15 <セッションI>

司会 加茂 美冬（日本女子体育大学）

「運動時の脳血流動態」

定本 朋子（日本女子体育大学基礎体力研究所）

「運動における脳の役割—中枢性疲労と中枢性エネルギー代謝調節—」

井上 和生（京都大学大学院農学研究科）

●15：15～15：45 <コーヒープレイク>

司会 寺山 喜久（日本女子体育大学）

ポスター発表（基礎体力研究所における成果発表）

●15：45～17：25 <セッションII>

司会 中村 泉（日本女子体育大学）

「運動による脳機能低下の予防」

加藤 守匡（山形県立米沢女子短期大学）

「スポーツパフォーマンスを向上させる生体リズム調節」

内田 直（早稲田大学スポーツ学術院）

●17：30 閉会

<第 18 回研究フォーラム>

運動時の脳血流動態



日本女子体育大学 定本 朋子

脳組織の代謝は、左右の内頸動脈経路と椎骨動脈経路の2経路により供給される。2つの経路から頭蓋内に流入する血液は Willis の動脈輪において合流し、一部の動脈に損傷があっても血液を他の部位から供給できる構造を形成している。しかし、内頸動脈経路により運搬される血液は、主に大脳皮質側頭葉、前頭葉、頭頂葉、島皮質といった高次脳へ灌流し、椎骨動脈経路により運搬される血液は、主に延髄、小脳、後頭葉、脊髄といった下位脳へ灌流する。このように動脈経路と灌流部位との間には対応関係があることがわかっている。脳における灌流部位の違いを踏まえると、2つの経路における脳血流動態に相違や特徴があると予想されるが、運動時における血流動態とその調節機構については未だ十分な検討がなされはしない。先行研究の多くは、内頸動脈経路の中大脳動脈の血流動態をみた研究が大部分であり、椎骨動脈をはじめ他の部位における血流動態については限定的な研究しかない。このため、我々の研究グループでは内頸動脈経路と椎骨動脈経路における運動時の血流動態およびその調節機構について種々の実験を行ってきた。その結果、頸動脈経路と椎骨動脈経路の血流動態が同一ではなく、それぞれの特徴と相違があることを見出した。また脳血流調節に働くこととされる、自動調節（動脈血圧に対する）、二酸化炭素分圧、心拍出量といった因子に対する応答も、2つの経路間で異なることが示唆された。これらの具体的な研

究成果についてその要旨を以下にまとめる。

1. 運動開始直前・直後における応答

健康な成人女性を被験者として、肘屈曲伸展運動を随意的に行う場合（随意運動）と機械によって受動的に行う場合（受動運動）について検討した。随意運動と受動運動の開始直前および直後にみられる中大脳動脈平均血流速度と頸動脈および椎骨動脈の血流量の応答を比較した。その結果、随意運動では、中大脳動脈平均血流速度および頸動脈血流量が運動開始直後から顕著な増加を示した。一方椎骨動脈では、随意運動の開始に先行する顕著な血流増加がみられ、その増加は運動開始後まで持続していた。このような随意運動開始時にみられた血流増大が受動運動では見られなかった。これらのことから、随意運動に伴う見込み制御による血流増加は内頸動脈経路よりも椎骨動脈経路で著しく起こる、という特徴が示された。このような特徴は灌流部位の脳代謝に起因しているのか、あるいは見込み制御に関わるセントラルコマンドの働きに起因するのか、といったことが考えられるが、調節機構については明らかではない。

2. 静的運動時および運動後筋虚血時における応答

健康な成人女性が被験者として実験に参加した。静的掌握運動により10% MVCから30% MVCへとランプ状に漸増する負荷を追従しな

がら持続させる運動とした。その運動終了と同時に活動肢上腕を筋虚血にした（約 200~220 mmHg の加圧により動脈血流を制限することによって行った）。中大脳動脈平均血流速度、内頸動脈血流量および頸動脈血流量を計測し、同時に測定した動脈血圧から各々の血管抵抗を算出した。これら内頸動脈経路における血管抵抗は血圧上昇とともに増大し、運動終了直前には著しい高値を示した。このことは内頸動脈経路では血圧が上昇すると血管抵抗が上がり、つまり血管収縮作用により血液流入を制限することが示唆された。一方、同様に計測した椎骨動脈の血管抵抗では、血圧が上がっても血管抵抗の有意な増大はみられず、本実験の血圧変化の範囲では血流制限をしない経路であることが示された。また内頸動脈経路の血管抵抗の増大をもたらす要因として筋代謝受容器反射の関与が示された。このように運動時および運動後筋虚血時における動脈血圧上昇に対する 2 つの経路の特徴と相違から、血圧が変化しても血流を一定に維持するという自動調節は内頸動脈経路では有効であるが、椎骨動脈ではあまり作用しないと考えられた。

3. 多段階負荷の動的運動時における応答

健康な成人女性が最高酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2peak}$ ）の 30%、50%、70% の負荷による自転車駆動をおこなった。その運動時にみられる呼吸循環応答（特に心拍出量と呼気終末二酸化炭素分圧）と内頸動脈経路および椎骨動脈経路の血流応答との対応関係について比較した。その結果、多段階負荷運動時の心拍出量の上昇に対して、内頸動脈経路では運動強度が高くなると血管抵抗が上がり、血流を制限し脳血流を一定にする応

答がみられた。一方椎骨動脈経路では、心拍出量が増大しても内頸動脈経路でみられた血流制限が生じなかった。さらに呼気終末二酸化炭素分圧の変化に対して、内頸動脈経路の血流量は二酸化炭素分圧に対応した変化を示すが、椎骨動脈経路ではそのような対応関係がみられなかった。このようなことから、脳血流量の調節に関わるとされる心拍出量および二酸化炭素分圧との対応という観点においても 2 つの経路間で相違があることが示された。

4. 振動刺激を伴う静的運動時における応答

活動筋への振動刺激は Group Ia 求心性入力を通じて α 運動ニューロンを興奮させ反射的に筋力を発揮させる。そのため、一定筋力発揮時における α 運動ニューロンへ下行する高位中枢からの運動指令が減少する、ということが知られている。セントラルコマンドと運動指令が対応するとされていることから、この振動刺激による反射を活用して、一定筋力発揮時のセントラルコマンド低下条件を設定した。実験では静的肘屈曲運動を用いて、主働筋である上腕二頭筋の腱部へ振動刺激を与えた場合と振動刺激を与えない場合（対照条件）における脳血流応答を比較した。このような比較により、セントラルコマンド低下が運動時の脳血流応答に及ぼす影響を検討した。その結果、振動刺激を伴う場合には対照条件に比べ内頸動脈経路と椎骨動脈経路における血流量が低下するが、その低下量が椎骨動脈経路の方がより大きくなることが示された。つまり、セントラルコマンド低下に対する応答は椎骨動脈の方が大きいということが示された。

<第 18 回研究フォーラム>

運動における脳の役割
—中枢性疲労と
中枢性エネルギー代謝調節—



京都大学大学院農学研究科食品生物科学専攻 井上 和生

1. 中枢性疲労とは

疲労とは何らかの原因で身体機能が低下・消耗した状態である。しかし病気ではないので休息する事で回復する。疲労は広い概念なので一般に合意を得た定義は今のところない。中枢性疲労についても同様だが、本稿では疲労感とほぼ同義とする。あまりトレーニングを積んでいない一般の人では、運動を開始しても肉体的限界に至るはるか以前に疲労を感じ、その運動をやめたいと思う。このような感覚が中枢性疲労と考えられる。

2. 中枢性疲労発生の機構（仮説）

このような疲労が生じる機構として幾つかの仮説が提唱された。乳酸は一般に疲労物質と信じられている。確かに骨格筋の収縮に対して pH の低下はその機能を阻害する。また血液の極端な酸性化は重篤な障害を引き起こす可能性がある。しかしながら脳に関していえば、乳酸は糖と同等に積極的にエネルギー基質として利用されている。脳にはニューロンの機能を支持する細胞としてグリアが存在するが、この細胞がグルコースを取込み、ニューロンに乳酸の形でエネルギーを供給することがわかってきている。このため、乳酸が中枢性疲労の直接的な原因物質とは考えにくい。この他セロトニン仮説、アンモニア仮説、サイトカイン仮説が提唱されている。前二者については強い運動を長時間行って血中のエネルギー基質濃度の大きな変

動が起こる、もしくはタンパク質の大規模な分解が起こらなければ理論が成立しない。また後者はその原因となる炎症性サイトカインが感染などの疾病時に放出されることにより疲労感が生じると考えられるが、「休養すれば回復する」という疲労の定義からは外れることなど、いずれも通常の、強い運動を伴わない疲労感の説明は困難である。

3. TGF- β と中枢性疲労

筆者は前述した仮説以外に中枢性疲労に関与する物質があると考え、以下の実験を行った。疲労感のある時には行動を起すことに積極的になれない。このような感覚は、実験動物において自発行動の低下によって評価できると考えた。また中枢性疲労を引き起こす物質は脳において産生され、脳に対して作用すると考えた。このような活性は脳を取り巻く環境である脳脊髄液にある程度反映されると推察された。そこで運動により疲労した動物（ラット）の脳脊髄液を安静動物（マウス）の脳室内に投与すると、自発行動が抑制され、疲労したような行動を引き起こすことを見いだした。マウスは安静状態に保っていたことから、肉体的な疲労は殆どないと考えられたため、脳脊髄液中の物質が疲労感を引き起こすことによりその自発行動を低下させたと推察した。この現象を引き起こす物質を同定するため、淡水性腔腸動物であるヒドラを用いたバイオアッセイを行った。その結果、

疲労した動物の脳脊髄液中で増大している物質がサイトカインの一種 transforming growth factor-beta (TGF- β) である事が示唆された。そこで精製された TGF- β をマウスの脳室内に投与すると用量依存的にその自発行動を抑制すること、および疲労した動物の脳脊髄液を抗 TGF- β 抗体で処理したものは動物の自発行動を抑制する活性が消失することから、脳内の TGF- β が、おそらく疲労感を生成する事により動物の自発行動を抑制する活性を持つことを明らかにした¹⁾。

4. TGF- β と脂肪酸代謝亢進

運動により疲労感が生じる時には、生体とすれば可能であればその運動を止めたい状態である。しかしながら運動を止める事ができない状況である場合、貴重な糖質エネルギー源を温存し、できるだけ消耗を避けるため持久的な運動に適した状態に変更することが有効だと考えられる。疲労感を引き起こす物質が、同時に持久的な運動に適したエネルギー代謝状態を引き起こす作用を持つならば合理的だと考えられた。そこで、エネルギー代謝の状態を非侵襲的に測定する呼気ガス測定装置により TGF- β の脳内投与が呼吸交換比と酸素消費量に及ぼす影響を検討した。その結果、酸素消費量に変化はないが、脂肪酸化の亢進が引き起こされることが明

らかとなった。このように脳内の TGF- β は自発行動の抑制だけでなく、全身での脂肪酸代謝の亢進を引き起こすこともわかった²⁾。TGF- β の脳内投与は脂肪組織からの脂肪酸放出による基質供給の増大³⁾、骨格筋でのリポプロテインリパーゼ活性の増大とそれによる脂肪酸取込の増大²⁾、肝臓・骨格筋でのマロニル CoA 濃度の低下による脂肪酸酸化能の増大などを引き起こすため、これらの作用が総合して全身での脂肪酸化亢進につながっているものと考えられた。

5. 運動時エネルギー代謝の中枢性調節

TGF- β は運動時に活性化されるため、持久運動時の脂肪酸化亢進に関与していることが予想された。そこで、脳内に抗 TGF- β 抗体を予め投与し、走行運動を負荷して呼気ガス測定を行なった。その結果、走行運動による脂肪酸化の亢進が部分的に抑制されることがわかった。また TGF- β 受容体の信号伝達を阻害するアンタゴニスト (SB 431542) の投与でも同様の抑制が引き起こされることが明らかとなった。このように脳内 TGF- β の作用を阻害すると運動時の脂肪酸化が一部抑制されるため、このサイトカインが運動時エネルギー代謝の中枢性調節に関与していることが明らかとなった⁴⁾。

文 献

- 1) Inoue, K., Yamazaki, H., Manabe, Y., Fukuda, C., Hanai, K., and Fushiki, T.: Transforming growth factor-beta activated during exercise in brain depresses spontaneous motor activity of animals. Relevance to central fatigue. *Brain Research* **846**: 145-153, 1999.
- 2) Yamazaki, H., Arai, M., Matsumura, S., Inoue, K., and Fushiki, T.: Intracranial administration of transforming growth factor-beta 3 (TGF- β 3) increases fat oxidation in rats. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* **283**: E 536-544, 2002.
- 3) Shibakusa, T., Mizunoya, W., Okabe, Y., Matsumura, S., Iwaki, Y., Okuno, A., Shibata, K., Inoue, K., and Fushiki, T.: Transforming growth factor-beta in the brain is activated by exercise and increases mobilization of fat-related energy substrates in rats. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* **292**: R 1851-1861, 2007.
- 4) Ishikawa, T., Mizunoya, W., Shibakusa, T., Inoue, K., and Fushiki, T.: Transforming growth factor- β in the brain regulates fat metabolism during endurance exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* in press, 2006.

<第 18 回研究フォーラム>

運動による脳機能低下の予防



山形県立米沢女子短期大学・健康栄養学科 加藤 守匡

1. はじめに

脳機能低下は中枢神経系の傷害及び変性を起因として発症し、運動や感覚機能、認知機能をも低下させる。中でも認知機能低下は、高齢化社会の進展に伴う認知症患者の増大もあり、その予防及び治療法に向けて様々な研究が進められている。しかし現時点で決定的治療法は確立されていない。よって、その早期発見、早期予防に期待が持たれている。認知症の発症要因には、遺伝的問題も含め個人の加齢プロセスや生活習慣の変容（ストレス増大、運動不足、栄養過多など）が関与する。そのため運動が認知症予防に貢献できる可能性はあると推察される。この検証のためにも、認知症予防という視点から運動トレーニングの影響を介入調査から検討する必要がある。運動が認知症予防になりうる要因を疫学的、実験的報告も含めて紹介し、認知症予防を目指して運動介入を行った茨城県利根町での自験例を紹介する。

2. 脳機能低下と運動

脳機能低下要因には、加齢、頭部外傷、全身性疾患及び中毒などによる神経系の機能変性及び萎縮、脳血管障害、アルツハイマー病（AD）に代表される進行性の神経変性疾患がある。これらの中でも認知症の一つであるADは、有病者率が年々増大しており、その有効な治療法は確立されていない現在では早期発見、早期予防が重視されている。疫学的研究から運動によ

るAD発症の予防効果を検討した報告では、身体活動レベルの高い者は、低い者に比較して加齢に伴う認知機能低下の危険性が減少すると示されている。Abbottら¹⁾のHonolulu-Asia Aging Studyでは、一日の歩行距離が少ないグループは、歩行距離が多いグループに比較して将来の認知症発症率が高くなることを高齢男性を対象とした研究から報告している。また、Larsonら²⁾は、運動頻度との関係から検討し6.2年間の評価から週3回以上の運動を実施している者はそうでない者に比較してAD発症が減少することを報告している。以上のように定期的な身体活動は認知機能低下に対して予防的役割を果たす可能性が示唆されている。さらにヒト及び動物を対象とした実験からも運動の効果を期待させる結果が示されており、動物実験からはランニング及び歩行運動がノルアドレナリン、ドーパミン、セロトニン等の脳内アミン作動性神経からの神経伝達物質の放出増大³⁾、ヒトを対象とした研究では6ヶ月間の有酸素トレーニングにより前帯状回の神経伝達効率の改善⁴⁾が報告されている。90年代以降になると、運動が脳内神経細胞の機能・生存維持、再生、修復、成長・分化促進に関与する脳由来神経栄養因子を増大⁵⁾させること、さらに海馬歯状回における神経新生の促進⁶⁾、血管新生の促進⁷⁾、脳損傷に対する抵抗性増加⁸⁾、学習記憶能向上⁹⁾など運動による脳機能改善を促すと考えられる要因が次々と示されてきている。特に認知症と

の関連では、運動や豊かな環境刺激がADの原因として有力視されているアミロイドβの増加を抑制させることがADモデルマウスを用いた研究から報告され¹⁰⁾、運動による認知症予防の可能性が支持されている。今後は、どのような運動が脳機能へ効果をもたらすのか運動の様式、頻度、強度、期間も考慮に加えさらに検討する必要がある。

3. 認知症予防介入研究—利根町研究—

茨城県利根町では、厚生労働省の研究事業として認知症予防介入事業（主任研究者＝朝田隆・筑波大教授）が進められ1次予防に中心を置いた運動介入を実施した。運動介入には約350名が参加し、認知機能の変化と各種体力要素（筋力、持久力、反応時間、身体活動量、ストレスホルモン）との関連が検討された。運動介入は、町の集会場で月6回の運動講座と家庭での運動プログラムを実施し、各参加者に配布したログダイアリーには家庭での運動実施量を記載してもらった。ログダイアリーは、一ヶ月毎に回収し、その記録をもとに介入期間中の身体活動量を算出した。運動介入1年後では脚筋力、持久力及び反応時間の改善、ストレスホルモンであるコルチゾール濃度の低下、さらには認知症に最も関連深いとされる記憶力改善が確認された。特にこの記憶力改善は、日々の軽運動の実施量と相関があることを確認している。また、本運動介入には認知症の前駆状態とされる軽度認知障害（MCI: Mild Cognitive Impairment）も20名程参加している。MCIは4年間で約半数がADへ移行するとされている¹¹⁾。

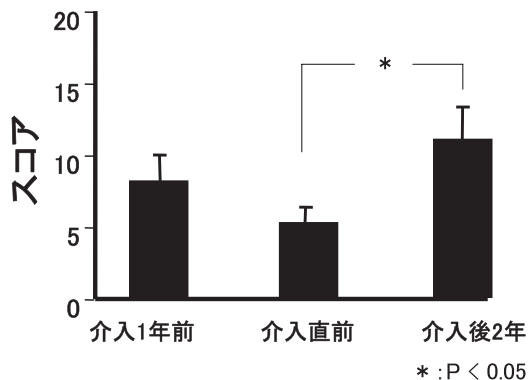


図1 MCIの記憶能力の変化

運動介入の効果は、MCIにも見られ、介入2年後には介入時から記憶能力に有意な改善が示され（図1）、身体活動量及び尿中コルチゾールにも有意な改善が認められた。そして、この記憶スコアの変化は身体活動量と正の相関が認められた。これらの結果は、運動介入はMCIの記憶能力をも改善しうる可能性を示唆しており、この記憶能力の変化は、身体活動量と関係が認められたことから日常の身体活動を高めることがMCIの記憶能力改善に貢献することが推察された。以上のように、利根町研究からも運動介入が認知症予防に有効と成り得る結果が得られている。しかし、本運動介入の介入手法は参加希望者を実施する方法となっており運動に対する参加者の個人的影響も結果に混入すると考えられる。今後は、ランダム化比較試験（RCT: Randomized Controlled Trial）を実施するなど、各種要因も制御しAD予防に対する運動効果を検討する必要がある。

文 献

- 1) Abbott, R.D. et al. JAMA **22** : 1447-1453, 2004.
- 2) Larson, E.B. et al. Ann. Intern. Med. **144** : 73-81, 2006.
- 3) Meeusen, R. et al. Sports Med. **20** : 160-188, 1995.
- 4) Colcombe, S.J. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. **101** : 3316-3321, 2004.
- 5) Neeper, S.A. et al. Nature **12** : 109, 1995.
- 6) van Praag, H. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. **96** : 13427-13431, 1999.

- 7) *Swain, R.A.* et al. *Neurosci.* **117** : 1037–1046, 2003.
- 8) *Carro, E.* et al. *J. Neurosci.* **21** : 5678–5784, 2001.
- 9) *Anderson, B.J.* et al. *Physiol. Behav.* **70** : 425–429, 2000.
- 10) *Lazarov, O.* et al. *Cell* **120** : 701–713, 2005.
- 11) *Petersen, R.C.* et al. *Arch. Neurol.* **56** : 303–308, 1999.

<第 18 回研究フォーラム>

スポーツパフォーマンスを 向上させる生体リズム調節



早稲田大学スポーツ科学学術院 内田 直

1. はじめに

ヒトは地球の自転に同期して、24時間の周期で生活している。これは、進化のプロセスの中で、地球の自転に生体が適応して出来たものである。このような、生体リズムは脳の視交叉上核 (SCN) で制御されていると考えられているが、生体リズムは睡眠覚醒などの行動上のリズムだけではなく、体温、ホルモンなどさまざまな生体现象のリズムも制御している。更には、スポーツを行ううえでのさまざまな能力も、こういった生体リズムの影響を受けている。我々は、生体リズムを調節して、試合の行われる時間帯により良いパフォーマンスが行えるようなコンディショニングの試みを行っている。これらには、時差のある地域へ早期に適応できる工夫や、比較的良いパフォーマンスが出

にくい時間帯にパフォーマンスを向上させる工夫などがある。また、試みの段階ではあるが、これらの試みの基礎と応用について概説する。

2. 概日リズム (サーカディアンリズム)

生体リズムにはさまざまなものがあるが、その周期によって名前がつけられている。表にその代表的なものを示した。

この中で、今回スポーツパフォーマンスと関連付けて調節を行うのは、約24時間のサーカディアンリズムである。ヒトの体内時計は、毎日のリズムを刻んでいるが、体内時計自身も持っている固有の周期は、24時間よりも長いことが知られている。これは、ヒトを全く時間が分からなくなるような空間 (洞窟の中や人工的に作った隔離室など) に入ると24時間より

表 さまざまな生体リズム (好きになる睡眠医学 内田 直著 講談社1) より)

周期	名称	例
一分以下	ultradian rhythm	心拍 呼吸 腸の蠕動運動
約1時間		睡眠周期 (ノンレム-レム周期) Rest-Activity Cycle
約24時間	circadian rhythm	睡眠覚醒リズム ホルモンリズム (メラトニン, 成長ホルモン, コルチゾールなど) 循環系の変化 (心拍数, 血圧)
約1ヶ月	circalunar rhythm	月経周期
約1年	circannual rhythm	季節性気分障害 冬眠

も長い生活時間ですごすことから分かる。ヒトが24時間で生活できている理由は、同調因子があるためであると考えられている。同調因子の中で、もっとも生体に対して生理学的な効果を持っているものの一つが光である。光によって、毎日リズムが同調され、結果として24時間の睡眠覚醒リズムを初めとするリズムの同調がなされていると考えられる。

3. スポーツと概日リズム

スポーツのさまざまなパフォーマンスも、概日リズムをもっていることが古くから知られている。PubMedにて(sports circadian rhythm)を検索すると、410の文献が出てくる。古いものでは1975年にBr. J. Sports Med.に掲載された“The effects of the changes of the circadian body rhythm on the sportshooter. (概日体内リズムの変化が射撃競技者に及ぼす影響について)”²⁾などがある。しかしながら、一般に過去の研究は、繰り返し試行の回数、覚醒からの経過時間などについての検討は十分になされていなかった。言い換えると、日内変動の要因として、繰り返し試行による疲れや、覚醒してからの時間経過の問題などが必ずしも明確に除外されていない研究が多くあった。この問題について、明確な結論を出したのはYoungstedtらのグループによるKleinらの研究³⁾である。彼らは、時間生物学で用いられるUltra-short Sleep Wake Cycleという手法を用いて、上記の問題を除外した実験を行った。これは、1時間の睡眠と2時間の覚醒からなる3時間一単位のパターンを一日8回繰り返すものである。そして、覚醒時間の真ん中(起床してから1時間後の時点)で、スポーツパフォーマンス(彼らの研究では200m競泳)を行いタイムを測定した。8グループをつくり、3時間ずつ開始時刻をずらして行わせるため、一日のどの時刻でも、繰り返し試行の影響も等しくなり、繰り返し試行による疲れや、覚醒してからの時間経過の問題は取り除かれる。結果として、彼らは午前11時から午後11時の時間帯に、非常に高いパフォーマンス

スが得られることを明らかにした。また、このようなパフォーマンスの変化は、体温の概日リズム変化と非常に良い相関があることが分かった。すなわち、体温は午前11時前くらいから上昇し、午後11時ころより下降をはじめますが、全体として体温の比較的高い時間帯に良いパフォーマンスがみられた。

4. 概日リズムの調整

概日リズムの位相を人工的に変化させることが可能であることが知られている。先に述べた同調因子の光は、照射の時刻によって生体リズムの位相を前進(早寝早起き)あるいは後退(夜更かし朝寝坊)させることができる。照射の時刻と、その影響の方向(前進か後退)および大きさ(何時間ずれるか)によって、位相反応曲線(Phase Response Curve)を描くことが出来る。これまで知られている結果では、明け方の光は位相を前進させ、夕刻から早い夜間の光は位相を後退させる⁴⁾。

5. スポーツパフォーマンスを向上させる生体リズム調節

先に示したKleinらの研究では、午前中の時間帯に競泳の成績は悪いということになる。同じデザインの研究がすべてのスポーツに使われる要素になされているわけではないので、現状では彼らの結果をすべてのスポーツ競技に当てはめることには注意が必要である。また、一般に午後の時間帯にスポーツ競技のパフォーマンスが良いということは、これまでの研究においてもある程度明らかになっている。一方で、スポーツ競技によっては午前中に試合が行われる競技は多くある。これらの競技で、スポーツパフォーマンスを向上させるためのひとつの手段として、生体リズムを前進させ、午前の時間帯に午後の時間帯のリズムをずれ込ませることがある。スポーツパフォーマンスは体温の上昇と良い相関があるので、早い時間帯に体温を上昇させるわけである。

我々は、光を用いてこのような変化を起こさ

せる試みを行った。すなわち午前9時半に競技の行われる水泳競技者に、早朝高照度光を浴びさせ、体温の早い時間帯の上昇を期待した。この試みでは、詳細な体温の変化を記録はできなかったが、光による操作の結果、この競技者は競技会でこれまで最も良い競技成績を残した。さらに、タイムを比較すると午前中のタイムが午後のタイムに勝っていた。

6. おわりに

本稿では、主にはこれまでの文献による考察を行った。このような試みが実際にスポーツ競技に自身をもって応用されるためには、今後データの蓄積が非常に重要である。競技にはさ

まざまな要素が関与している。まずは一般正常若年者を用いて研究を行い、十分な蓄積の元に競技者にもケースとして応用を行う必要がある。また、競技に用いられるさまざまなコンポーネントについても、詳細に概日リズムの影響を検討する必要がある。

現在、競技は国際化し時差のある地域での競技も頻繁に行われるようになった。このような状況においては、時差に対応した生体リズムの調整も競技パフォーマンスを向上させるために必要となってくる。今後、この方面の研究者が増加し、スポーツと生体リズムに関連した研究が推進されることを期待する。

文 献

- 1) 内田 直：好きになる睡眠医学。講談社サイエンティフィク、東京、2006。
- 2) Antal, L.C.: The effects of the changes of the circadian body rhythm on the sport-shooter. *Br. J. Sports Med. Apr.* ; **9** (1) : 9-12, 1975.
- 3) Kline, C.E., Durstine, J.L., Davis, J.M., Moore, T.A., Devlin, T.M., Zielinski, M.R. and Youngstedt, S.D.: Circadian variation in swim performance. *J. Appl. Physiol.* **102** (2) : 641-649, 2007.
- 4) Minors, D.S., Waterhouse, J.M. and Wirz-Justice, A.: A human phase-response curve to light. *Neurosci. Lett.* **133** (1) : 36-40, 1991.

<2007 年度 基礎体力研究所研究成果ポスター発表>

運動に対する身体の適応機序に関する生理学的研究

「下腿筋のストレッチングが末梢循環に与える影響」

加賀谷淳子, 村岡 慈歩, 奥山 静代, 大森美美子,
森 曜生, 鈴木早紀子, 水村真由美

「発育に伴う脳血流配分の変化—小学5年から高校3年までの女子について—」

定本 朋子, 佐藤 耕平, 大森美美子, 森山真由美, 石田 良恵

「女子アスリートのエネルギーバランスとエネルギー代謝に影響を及ぼす諸要因」

田口 素子, 高田 和子, 辰田和佳子, 長坂 聡子

「静脈の血液貯留が運動時の中心循環および筋酸素化動態に及ぼす影響」

佐藤 耕平, 大森美美子, 奥山 静代, 加賀谷淳子

「動的運動時の脳血流調節と中心循環応答との関連性」

佐藤 耕平, 定本 朋子

女子競技選手の身体特性に関する研究

「本学運動部選手の競技力向上を目指した体力科学的サポート」



<セミナー報告>

Cerebral blood flow regulation during exercise



University of North Texas, Health Science Center 小河 繁彦

2007年度基礎体力研究所セミナーは10月4日に、アメリカのUniversity of North Texasから、小河 繁彦先生をお迎えし「Cerebral blood flow regulation during exercise」と題した研究セミナーを行った。小河先生は、京都大学大学院で博士の学位を取られた後、「運動時の圧受容器反射」の研究で世界的に著名なP. Raven博士（University of North Texas）の下で博士研究員を務められ、現在はResearch Assistant Professorとして研究に従事されている。小河先生は、「圧受容器反射と循環調節」に関する研究を精力的に進めてこられ、近年では「運動時の脳循環調節」といった新しい研究領域にチャレンジされている。その研究成果は、*Journal of Physiology*、*Journal of Applied Physiology*といった生理学系の学術雑誌に数多く掲載されている他、アメリカスポーツ医学会（ACSM）、アメリカ生理学会（APS）のresearch awardを受賞されるなど、応用生理学・運動生理学の研究分野では世界的に注目されている研究者の一人である。現在、本研究所でも「運動時の脳血流調節」の研究プロジェクトをスタートさせており、今回の小河先生のセミナーはまさに我々の研究をより発展させていくための、良い機会となった。セミナーの前には、我々の実験に立ち会って頂き、アドバイスやヒントを頂いた。さらに、研究員とのデータディスカッションでは、学会以上に盛んな討論が交わされた。

セミナー概要

まず始めに、運動時の脳循環と運動パフォーマンスとの関係について先生のお考えをお話してくださった。たとえば、暑熱環境下でのマラソンのような過酷な運動では、脳血流調節が、パフォーマンスの制限因子となる可能性があること。また、ウエイトリフティングのような極めて高強度の運動時には、稀に脳出血や失神（ブラックアウト）を起こすことが知られているが、これらの要因には過度の脳血流の増減や脳血管の収縮が関与しているとのことである。さらには、起立耐性の低下には、脳血流調節の中でコンディショニングが圧受容器反射の低下に関連し、起こっている可能性があるとのことである。

脳血流の測定法には様々な方法がある。侵襲的な方法としては、Kety-Schmidt法やキセノククリアランス法があり、非侵襲的な方法としては、PET、MRI、近赤外分光装置（NIRS）、超音波診断装置（ドップラー）を用いた方法がある。近年では、Transcranial Doppler（TCD）法やNIRSを用いた測定が、時間分解能が優れているといった利点から盛んに用いられている。小河先生のグループでは主に、TCD法を用いて中大脳動脈（MCA）の血流速度を評価しているとのことである。

これまで、「運動時には脳血流は安静時から変化しない」とする説が一般的であり、生理学の教科書などでも「脳血流は極めて多くの生理学的環境下で一定に保たれる」とされてきた。

この説は、脳の自己調節機能(オートレギュレーション)に基づいている。この機能は、血圧の変化に対し myogenic に血管緊張性 (vascular tone) を調節することで、血流を一定に保つ働きである。しかしながら、近年の TCD や NIRS を用いた研究では「運動時に脳血流は増加する」とした新たな見解が得られている。この血流増加は、運動に伴う脳の代謝および神経活動の増加に起因したものであるが、複雑なメカニズムが関与し、現在運動生理学の分野ではトピックスとなっている。臨床的にもヒトにおける脳血流調節は重要な研究課題であり、たとえば重度の高血圧患者は、自己調節機能が低下しており、これは脳卒中の危険性を高める一つの要因であるとされている。

自己調節機能に加えて、動脈血二酸化炭素濃度 (PaCO_2) は、脳血流の重要な調節因子であるとされる。すなわち、高炭酸症により著しい血管拡張が生じ、一方低炭酸症では血管収縮が生じる。これまで、二酸化炭素の変化に対する脳血流増減の感度 (CO_2 reactivity) が運動時に変化するか否かは不明であった。最近の研究では、 CO_2 reactivity は運動時に増加することである。また、高強度の動的運動時には脳血流量が低下するが、この低下には過換気 hyperventilation による PaCO_2 の低下が影響している。一方、これまで、動脈血酸素濃度 (PaO_2) は PaCO_2 に比べ脳血流に対する影響が少ないとされてきたが、小河先生のグループによる最新の研究では、低酸素環境時 (hypoxia) には脳の自己調節機能が低下することであった。この機能低下は、睡眠時無呼吸症候群と脳卒中の関連性を示唆するデータであり大変興味深い。

圧受容器反射 (baroreflex) と脳血流調節の関係性はこれまで不明であった。小河先生らは伝達関数を用いて、灌流圧 (perfusion pressure) と脳血流量の関係を検討している。その研究成果によれば、疲労困憊に至るような運動時には脳の自己調節機能が低下しているとのことであり、圧受容器反射と脳循環調節との関連性を示唆する。また、心拍出量の増減は perfusion pres-

sure を変化させる要因となる。先生らの研究では、自転車運動時に心拍出量をアルブミン投与や LBNP により心拍出量を増減させると、直接的に脳血流量に影響することが明らかになっている。これは、運動時の脳血流調節因子を明らかにする上では、非常にインパクトが高い知見である。

運動時の脳血流調節は複雑な因子が相互的に連関を持つとされる。運動時の循環調節および血管調節には交感神経活動が直接的に作用することが知られているが、脳血流や脳血管に対する影響は無いとされてきた。しかしながら、解剖学的には脳血管は豊富な交感神経支配を受けていることや、動物実験での交感神経と自己調節機能の関連性から、交感神経が運動時の脳血流調節に影響する可能性が示唆されている。実際に小河先生のグループの研究からもこの可能性が高いとのことである。例えば、Prazosin という薬物を投与し交感神経をブロックすると、急激な血圧低下に対する脳血管拡張作用が阻害されることから、交感神経が直接的に vascular tone の調節に関与することを小河先生らのデータは示している。この結果はこれまでの生理学的知見を覆す重要な知見であるとのことである。

今回の小河先生のセミナーは、これまでの研究背景と最新のデータが織り交ぜられた分かりやすく、かつ、刺激的な内容であった。セミナー全体を通して、小河先生の研究に対する真摯な姿勢と、豊富なアイデア、考察の奥深さを感じた。我々研究者にとっても大変有意義な時間を過ごすことができ、研究に対する情熱がかき立てられるセミナーであった。セミナーの余韻が小河先生と親交の深い研究者を交えたナイトサイエンスミーティングまで続いたことは言うまでもないであろう。また、セミナー当日は平日にも関わらず、この分野に興味を持つ多くの大学院生や、若手研究者が参加してくださった。合わせて感謝の意を表したいと思います。

(文責 佐藤 耕平)

<平成 19 年度 本学運動選手に対する体力科学的サポート>

陸上競技部中長距離ブロック選手に 対するサポート

本研究所では、平成 12 年度から運動部の競技力向上を目的としたプロジェクトにより、「本学運動部に対する体力科学的サポート」を行っている。これまで本学のバレーボール部、新体操部、陸上競技部を対象として酸素摂取量、筋厚・皮脂厚、そして心臓の大きさ、形態等について測定を行ってきた。そして本年度は、昨年度に引き続き陸上競技部中長距離ブロック選手に対するサポートを行った。測定は、陸上競技部、佐伯徹郎コーチの提案したプログラムに基づいて、中長距離走の競技力に重要な有酸素能力の指標として酸素摂取量を計測した。測定後は選手個人に測定結果のフィードバックを行った。その概要について以下に示す。

1. 測定時期と人数

測定は平成 19 年 7 月と平成 20 年 1 月の 2 回に渡って行われた。

7 月の測定では、中長距離選手 8 名、競歩選手 5 名の計 13 名を測定した。1 月の測定では、中長距離選手 8 名を測定した。

2. 測定項目と方法

(1) 身長・体重

(2) 酸素摂取量の測定

酸素摂取量は、トレッドミルを用いて漸増負荷法で測定した。運動負荷は、各選手の 3000 m の走力（記録）を基準として佐伯コーチが各選手に合わせて設定した。はじめに 3 分間ずつ速度を漸増させ、2 段階もしくは 3 段階行った。その後は、1 分間ずつ連続的に速度を漸増させていった（図 1）。呼気ガスは、呼吸代謝

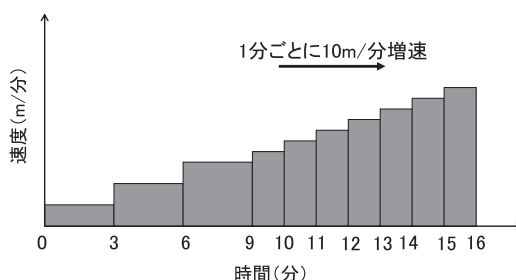


図 1 運動プロトコール

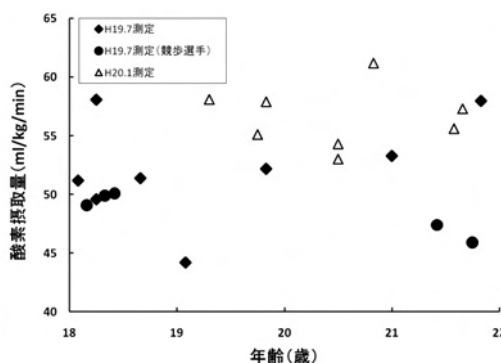


図 2 平成 19 年度陸上競技部中長距離選手酸素摂取量

装置（aero monitor, ミナト医科学 AE 300-S）を用いて 30 秒間の mixing chamber 法によって計測した。また測定は、最大運動まで行うことを目的としているが、選手の当日の体調等を考慮しながら、佐伯コーチと選手との間で最終負荷を決定した。

トレッドミル走による最大酸素摂取量の測定

名前: 日女 基子さん 測定日2008年1月

この測定では、みなさんの呼吸を分析して、運動中に単位時間当たりどれだけ多くの酸素をからだの中に取り込むことができるか、という「最大酸素摂取量」を測定しました。最大酸素摂取量は、全身持久力の指標となります。つまり、より多くの酸素を取り込むことができれば、より長い時間運動を続けることが可能になります。マラソン選手の中には、男子で80ml/kg/min、女子で65ml/kg/minというとても高い値を示す選手もいます。

- ・あなたの最大酸素摂取量 58.1 ml/kg/min
*この単位は、1分間にあなたの体重1kgあたり ○○mlの酸素を摂取することができるというものです。
- ・あなたの最大酸素摂取量 2547 ml/min
*この単位は、からだ全体で○○mlの酸素を摂取することができるというものです。
- ・あなたの最大心拍数 193 拍/分
- ・あなたの最大換気量 111.8 l/min
- ・あなたの最終速度 320 m/min

最大酸素摂取量・・・運動中に単位時間当たり、あるいはからだ全体でどれだけ多くの酸素をからだの中に取り込むことができるかという全身持久力の指標です。

最大心拍数・・・最大心拍数は年齢、運動姿勢や運動様式、気温、気圧などの環境条件、薬物の服用などの種々の要因によって変化します。(220-年齢)が最大心拍数と言われています。

最大換気量・・・からだ(肺)に取り入れた空気量です。

○ここ3年間に測定した本学陸上中長距離選手の結果です。比べてみましょう。

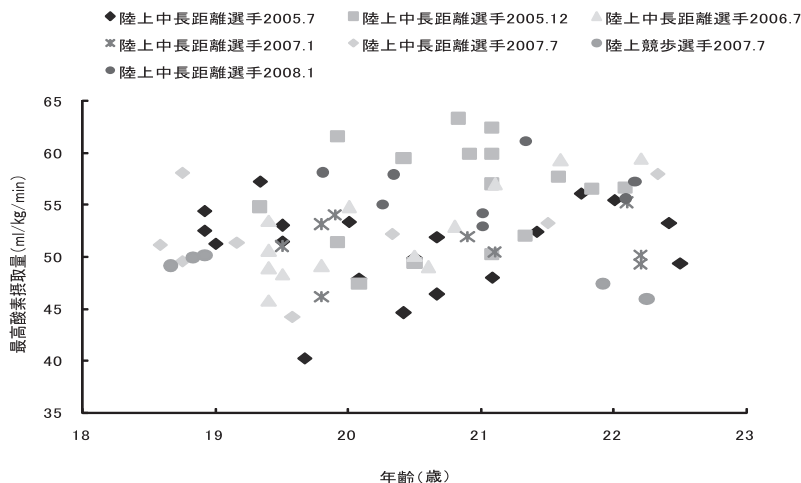


図3 選手に配布したフィードバック資料

3. 測定結果の概要

7月および1月に測定した選手の酸素摂取量の値を図2に示した。7月の測定時における体重当たりの酸素摂取量の平均値は、中長距離選手で 52.3 ± 4.5 ml/kg/min（範囲：44.2-58.1）、競歩選手で 48.5 ± 1.8 ml/kg/min（範囲：45.9-50.1）であった。1月の測定時における体重当たりの酸素摂取量の平均値は、中長距離選手で 56.6 ± 2.6 ml/kg/min（範囲：53.0-61.2）であった。

4. 選手、コーチへの測定結果のフィードバック

測定結果は、実際の競技現場におけるトレーニング負荷の設定などに活用できるように、図3のような資料を作成し、選手個人およびコーチに配付した。

また、本測定を定期的に行うことによって、トレーニング効果やコンディションの確認にも活用されている。

（文責：平澤 愛）

平成 19 年度事業報告

I. 会議に関する事項

○第 68 回運営会議

平成 19 年 5 月 18 日

議題 1. 平成 18 年度事業報告について

議題 2. 平成 19 年度事業計画について

議題 3. 学術フロンティア推進事業プロジェクト平成 18 年度実施報告について

議題 4. 学術フロンティア推進事業プロジェクト平成 19 年度実施計画について

議題 5. 学術フロンティア推進事業プロジェクトポストドク募集について

○第 69 回運営会議

平成 19 年 8 月 21 日

議題 1. 学術フロンティア推進事業プロジェクトのポストドク研究員採用について

○第 70 回運営会議

平成 19 年 9 月 21 日

議題 1. 基礎体力研究所セミナーおよび第 18 回研究フォーラムについて

○第 71 回運営会議

平成 19 年 11 月 13 日

議題 1. 第 18 回研究フォーラムについて

議題 2. 平成 20 年度重点課題について

議題 3. 平成 20 年度予算について

○第 72 回運営会議

平成 19 年 12 月 5 日

議題 1. 学術フロンティア第 10 回セミナーの開催について

議題 2. 客員教授任期について

議題 3. 第 36 回談話会について

議題 4. 兼担研究員の募集について

○第 73 回運営会議

平成 20 年 2 月 27 日

議題 1. 平成 19 年度事業報告について

議題 2. 平成 20 年度兼担研究員について

議題 3. 研究員などの任期更新について

II. 研究に関する事項

○研究フォーラム

平成 19 年 11 月 24 日

全体テーマ：[スポーツ・身体活動と脳機能との関わり]

<講演内容>

「運動時の脳血流動態」

定本 朋子（日本女子体育大学）

「運動における脳の役割—中枢性疲労と中枢性エネルギー代謝調節—」

井上 和生（京都大学大学院農学研究科）

「運動による脳機能低下の予防」

加藤 守匡 (山形県立米沢女子短期大学)

「スポーツパフォーマンスを向上させる生体リズム調節」

内田 直 (早稲田大学スポーツ科学学術院)

○セミナー

平成 19 年 7 月 23 日 (月)

Academic Frontier Project JWCPE 第 9 回セミナー

「力調節の神経筋メカニズムと交感神経活動」

講師：篠原 稔 (ジョージア工科大学理学部応用生理学科准教授)

平成 19 年 10 月 4 日

基礎体力研究所セミナー

「運動時の脳循環調節」

講師：小河 繁彦 (ノーステキサス大学)

平成 19 年 12 月 13 日

Academic Frontier Project JWCPE 第 10 回セミナー

「筋機械受容器反射と循環調節」

講師：松川 寛二 (広島大学大学院保健学研究科教授)

○研究所談話会

第 35 回談話会 平成 19 年 7 月 18 日

「チーム作りに関する実践事例」 湯澤 芳貴 柴田 雅貴

第 36 回談話会 平成 20 年 1 月 23 日

「競技現場におけるスポーツバイオメカニクスの活用」

スピードスケートにおける科学サポート 湯田 淳

Ⅲ. 研究活動

1) 研究報告 (原著論文)

- ・ Sadamoto, T., Moriyama, M. and Sato, K.: Cortical tissue oxygenation during static handgrip exercise and postexercise muscle ischemia. *J. Exer. Sci.* 17: 1-11, 2007.
- ・ Sato, K. and Sadamoto, T.: Internal carotid artery blood flow and cerebrovascular resistance during dynamic exercise. *J. Exer. Sci.* 17: 20-28, 2007.
- ・ Taguchi, M., Tatsuta, W., Nagasaka, S. and Higuchi, M.: Relationship between the menstrual status and basal metabolic rate in Japanese female athlete. *J. Exer. Sci.* 17: 12-19, 2007.
- ・ Ohmori, F., Shimizu, S. and Kagaya, A.: Exercise-induced blood flow in relation to muscle relaxation period. *Dyn. Med.* 6: 5, 2007.
- ・ Hotta, N., Yamamoto, K., Sato, K., Katayama, K., Fukuoka, Y. and Ishida, K.: Ventilatory and circulatory responses at the onset of dominant and non-dominant limb exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101: 347-358, 2007.
- ・ Katayama, K., Sato, K., Hotta, N., Ishida, K., Iwasaki, K. and Miyamura, M.: Intermittent hypoxia does not increase exercise ventilation at simulated moderate altitude. *Int. J. Sports. Med.* 28: 480-487, 2007.
- ・ Burns, SF., Miyashita, M., Ueda, C. and Stensel, DJ.: Multiple bouts of resistance exercise and postprandial triacylglycerol and serum C-reactive-protein concentrations. *Int. J. Sport. Nutr.*

Exerc. Metab. 17 : 556-573, 2007.

- ・ Matsumura, M., Ueda, C., Shiroishi, K., Esaki, K., Ohmori, F., Yamaguchi, K., Ichimura, S., Kurosawa, Y., Kime, R., Osada, T., Murase, N., Katsumura, T., Hoshika, A. and Hamaoka, T. : Low-volume muscular endurance and strength training during 3-week forearm immobilization was effective in preventing functional deterioration. *Dyn. Med.* 15 : 1, 2008.

2) 報告書・その他

- ・ 定本朋子 : 健康運動指導に必要な運動生理学の基礎的知識, 循環機能. 健康運動指導マニュアル, pp 52-57, 文光堂, 2008.
- ・ Sadamoto, T. and Sato, K. : Renal vascular responses during dynamic bicycling exercise with graded workloads. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 7-13, 2007.
- ・ 定本朋子, 加賀谷淳子, 齊藤 満, 長田卓也, 加茂美冬, 奥山静代, 佐藤耕平, 上田千穂子, 澁谷顕一 : セントラルコマンドが脳および腹部内臓の血流調節に及ぼす影響. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 87-98, 2007.
- ・ 加賀谷淳子 : 特集 21 世紀における生活科学の役割. 学術の動向. 8 : 1, 2007.
- ・ 加賀谷淳子 : 特集 保健医療と個人情報保護法. 学術の動向. 12 : 1, 2007.
- ・ 加賀谷淳子 : 今, 生涯スポーツは…一変わるもの, 変わらないもの一. 女子体育. 50 : 4-5, 2008.
- ・ 加賀谷淳子 : 筋力発揮と血圧応答. 体育の科学. 58 : 21-27, 2008.
- ・ Kagaya, A., Ohmori, F. and Okuyama, S. : Intensity-dependent changes in venous and arterial blood flow during regional exercise. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 23-36, 2007.
- ・ 加賀谷淳子, 村岡慈步, 奥山静代, 大森美美子, 森 曜生, 鈴木早紀子, 水村真由美 : 下腿筋の漸増的ストレッチングが筋酸素動態と血圧に与える影響. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 37-40, 2007.
- ・ Sato, K. and Sadamoto, T. : The effect of exercise intensity on the cerebrovascular responses in the internal and vertebral artery during dynamic exercise. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 14-22, 2007.
- ・ Sato, K. and Sadamoto, T. : Cerebrovascular response during heavy upper body exercise : effect of mode of ventilation on blood flow velocity in the middle cerebral artery. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 70-78, 2007.
- ・ 上田千穂子, 加賀谷淳子 : 筋酸素代謝特性と運動時循環応答との連関. *Integrative Study of Circulatory Regulation during Exercise Academic Frontier Project JWCPE 2007.* 79-83, 2007.

3) 著書

- ・ 定本朋子 : 循環系の概要, 1 中心循環. 循環 II 運動時の調節と適応. 齊藤 満編, pp 19-31, ナップ, 2007.
- ・ 定本朋子 : 循環系の概要, 2 末梢循環 3) 運動性充血と運動時の血流再配分. 循環 II 運動時の調節と適応. 齊藤 満編, pp 55-63, ナップ, 2007.
- ・ 加賀谷淳子 : はじめに. *スポーツの科学.* pp 6-8, 財団法人日本学術協力財団, 2007.
- ・ 加賀谷淳子 : 体力の性差とスポーツ 学術会議書 14 性差とは何か—ジェンダー研究と生物学の対話—, pp 211-221, 財団法人日本学術協力財団, 2007.

- ・佐藤耕平, 定本朋子: 循環系の概要, 2 末梢循環 3) 骨格筋血流量と調節. 循環Ⅱ 運動時の調節と適応. 齊藤 満編, pp 44-53, ナップ, 2007.

4) 学会発表

- ・定本朋子, 森山真由美, 佐藤耕平, 岩館雅子: 静的運動時および運動後筋虚血時の大脳皮質酸素化動態の変化. 第 62 回日本体力医学会. 秋田, 2007.
- ・定本朋子, 佐藤耕平, 大森美美子, 森山真由美, 石田良恵: 発育に伴う脳血流配分の変化—小学 5 年から高校 3 年までの女子について—. 第 15 回日本運動生理学会. 青森, 2007.
- ・加賀谷淳子, 奥山静代, 大森美美子, 佐藤耕平, 村岡慈歩, 森 曜生: 活動体肢の位置と酸素ダイナミクス. 第 12 回酸素ダイナミクス研究会. 広島, 2007.
- ・加賀谷淳子, 奥山静代, 大森美美子, 村岡慈歩, 水村真由美, 森 曜生, 鈴木早紀子: 受動的ストレッチングによる末梢動脈と静脈の血流変化. 第 62 回日本体力医学会. 秋田, 2007.
- ・Sato, K., Moriyama, M. and Sadamoto, T.: Cerebral blood flow responses during voluntary exercise and passive movement. The 54rd Annual Meeting of American College of Sports Medicine. USA, 2007.
- ・佐藤耕平, 森山真由美, 定本朋子: 動的運動時の脳血流調節と中心循環応答との関連性. 第 15 回日本運動生理学会. 青森, 2007.
- ・佐藤耕平, 山本幸弘, 定本朋子. 運動開始時における椎骨動脈経路の血流応答と調節因子. 第 62 回日本体力医学会大会. 秋田, 2007.
- ・佐藤耕平, 大森美美子, 奥山静代, 加賀谷淳子: 静脈の血液貯留が運動時の中心循環および筋酸素化動態に及ぼす影響. 第 58 回日本体育学会. 兵庫, 2007.
- ・岩館雅子, 定本朋子: 種々の強度の掌握運動に伴う大脳皮質運動野周辺の酸素動態と循環応答の関係. 第 62 回日本体力医学会. 秋田, 2007.
- ・大森美美子, 村岡慈歩, 清水静代, 森 曜生, 鈴木早紀子, 水村真由美, 加賀谷淳子: 受動的下腿ストレッチングによる膝窩動脈血流速度の変化—Antegrade と Retrograde 成分からの検討—. 第 58 回日本体育学会. 兵庫, 2007.
- ・大森美美子, 浜岡隆文, 奥山静代, 加賀谷淳子: 動的足底屈運動時の血流量最高値が得られる運動条件の検討. 第 62 回日本体力医学会. 秋田, 2007.
- ・村岡慈歩, 鈴木早紀子, 森 曜生, 大森美美子, 奥山静代, 水村真由美, 加賀谷淳子: 受動的ストレッチング中の拮抗筋および協働筋における筋血液量と筋形状の関係. 第 62 回日本体力医学会. 秋田, 2007.
- ・森 曜生, 村岡慈歩, 奥山静代, 大森美美子, 鈴木早紀子, 水村真由美, 加賀谷淳子: 受動的ストレッチング時における下腿協働筋間への血流分配の相違. 第 62 回日本体力医学会. 秋田, 2007.
- ・Kashima, E., Matsukawa, K., Tsuchmochi, H., Nakamoto, T., Endo, K. and Sadamoto, T.: Modulation of muscle mechanosensitive reflex in humans: comparison of the cardiovascular responses to passive cycling between the awake and sleep conditions. 第 85 回日本生理学会大会. 東京, 2008.

5) 講演・マスメディア

- ・定本朋子: 体育学・スポーツ科学における性差認識とジェンダー. 運動生理学研究における性差. 日本スポーツとジェンダー学会. 2007.
- ・定本朋子: ラウンドテーブルディスカッション健康科学と運動・スポーツ. 各領域からのトライ

- アルー運動時の脳血流動態について一. 第5回体育・スポーツ科学関連三大学院連携事業 体育・スポーツ科学会議. 東京, 2007.
- ・定本朋子: 運動時の脳血流調節. 第18回基礎体力研究所フォーラム. 2007.
 - ・加賀谷淳子: 男の子向きのスポーツ女の子向きのスポーツってある? スポーツキッズα. (株)ベースボールマガジン社. 5:67-71, 2007.
 - ・加賀谷淳子: 今日から始める女性のためのカラダデザイン. Tarzan. (株)マガジンハウス. 502:111-113, 2007.
 - ・加賀谷淳子: 運動時の循環調節研究. スポーツ医科学賞受賞講演. 東京, 2007.
 - ・加賀谷淳子: 健康づくりに貢献する身体運動. 日本学術会議第二部市民公開シンポジウム「21世紀の健康づくりと安全・安心な社会」. 北海道, 2007.
 - ・加賀谷淳子: 循環調節からみた健康づくり活動. J.A.F.A. 社団法人設立20周年記念式典記念講演. 東京, 2007.
 - ・加賀谷淳子: 体育学・スポーツ科学のさらなる発展; 大学院生に期待する. 第5回体育・スポーツ科学関連三大学院交流事業 体育・スポーツ科学会議. 東京, 2007.
 - ・加賀谷淳子: 加齢による筋機能低下と末梢循環—効果的で安全なトレーニングプログラムの作成—ストレングス&コンディショニングカンファレンス. 東京, 2007.
 - ・加賀谷淳子: スポーツ科学分野における研究の深化と進化—さまざまな課題の間を如何につなぐか—. 早稲田大学スポーツ科学研究センターシンポジウム. 埼玉, 2008.
 - ・佐藤耕平: 局所的不活動と有酸素性作業能—宇宙医学産業実験からの知見—. 第5回体育・スポーツ科学関連三大学院交流事業 体育・スポーツ科学会議. 東京, 2007.

6) 受賞

- ・加賀谷淳子: 第10回秩父宮記念スポーツ医科学賞(功労賞)

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. 文献の記載は以下のように行う。
 - 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カ年とし、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