

東海大学

第12号 **スポーツ医科学雑誌** 2000

The Tokai Journal of Sports Medical Science

東海大学スポーツ医科学研究所



*Kan Higashi*

イラスト 東 恵子



【研究論文】

HEART RATE TURN POINT AND HEART RATE PERFORMANCE  
CURVE CURRENT KNOWLEDGE

Rochus POKAN, Peter HOFMANN 9

走者応答型トレッドミルによる箱根駅伝5区をシミュレーションした際の  
エネルギー代謝に関する検討

寺尾 保・恩田哲也・有賀誠司・中村 豊・岩垣丞恒・齋藤 勝 19

Exploring the Usefulness of Monitoring EEG Activity  
as a Means of Enhancing Athletic Performance

—Study of Technological Requirements for the Remote  
and Real Time Measurement of EEG Activity of Athletes—

Adarsh SANDHU, Yoshiaki OTSUKA, Kyoko HIKITA,  
Akane OZAWA, Yasuhiro SHIBUYA, Suketsune IWAGAKI,  
Tamotsu TERA0 and Tetsuo SHIMIZU 28

女子柔道選手の体重調整による体組成の変化

恩田哲也・有賀誠司・寺尾 保・中村 豊・宮崎誠司・白瀬英春・中西英敏 36

大学女子バレーボール選手におけるウェイトトレーニングの  
長期的実施に伴う形態及び体力の変化

有賀誠司・成田明彦・積山和明・湯浅康弘  
生方 謙・恩田哲也・中村 豊・寺尾 保 42

自転車エルゴメーター運動時にVirtual Realityが  
呼吸循環応答及び心理的要因に与える影響

村木孝行・重田 暁・森川千鶴・田所美樹・増田芳之・出江紳一・石田 暉 54

皮質骨の破壊靱性について

菊川久夫・福田宏明・康井義明 62

---

学生スポーツ選手の発作性上室頻拍に対し  
カテーテルによる心筋焼灼術が有効であった2例

出口喜昭・田邊晃久・岩田 理・相川 実・楠崎 滋  
吉岡公一郎・北田 守・半田俊之介

67

---

スポーツ医科学研究所所報

75

---

編集後記

81

---



表紙(画) 東 恵子

# 研 究 論 文

- HEART RATE TURN POINT AND HEART RATE PERFORMANCE CURVE CURRENT KNOWLEDGE
- 走者応答型トレッドミルによる箱根駅伝 5 区をシミュレーションした際のエネルギー代謝に関する検討
- Exploring the Usefulness of Monitoring EEG Activity as a Means of Enhancing Athletic Performance  
—Study of Technological Requirements for the Remote and Real Time Measurement of EEG Activity of Athletes—
- 女子柔道選手の体重調整による体組成の変化
- 大学女子バレーボール選手におけるウエイトトレーニングの長期的実施に伴う形態及び体力の変化
- 自転車エルゴメーター運動時にVirtual Realityが呼吸循環応答及び心理的要因に与える影響
- 皮質骨の破壊靱性について

# HEART RATE TURN POINT AND HEART RATE PERFORMANCE CURVE CURRENT KNOWLEDGE

Rochus POKAN (Institute of Sport Sciences, Department of Sportphysiology,  
University of Vienna, Austria)

Peter HOFMANN (Institute of Sports Sciences, Department of Exercise Physiology,  
KF-University of Graz, Austria)

## 心拍変位点 (HRTP) と心拍応答曲線 (HRPC) についての現在の知見

漸増負荷時の種々な心拍応答様式は運動負荷に対する心臓機能の適応を示していると考えられる。しかし、健康なヒトでの心拍数—心容積調整では因果関係を説明づけられない。自律神経系の関与も考えられたが、主たる影響ではなかった。心拍変位点 (HRTP) と筋代謝との関係は明らかではないが、心拍変位点とOBLA ( $LTP_2$ ) 並びに乳酸定常状態 (Lactate steady state : Lass) との間には有意な関係が見いだされた。ある被験者については、運動時の心拍変位点を見出せなかったが、実験室並びにフィールドで lactate steady state test と合わせて実際のデータを得た。さらに、心臓病患者の心機能についてはHRPC分析を行った。これらの1つの仮説として、心肺機能の機械的制御と同様に、adenosin, phospholambanのような筋作業に関係した心機能促進物質について論議した。

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 9-18, 2000)

## I. Introduction

Brooke et. al. [9] reported for the first time that the majority of a group of cyclists showed non-linear heart rate (HR) responses to a cycle ergometer task where the workload was increased continuously from low levels to exhaustion. Conconi et al. [15] used this HR response for the first time as noninvasive method to determine the “anaerobic threshold” by means of heart rate performance curve (HRPC) analysis only. These authors used the known effect that during incremental exercise the heart rate (HR) usually shows an s-shape [9]

and defined the running speed at the deflection of the HR near maximal load as the “velocity deflection” (vd). Conconi et al. [15] could show a significant relationship between vd and the anaerobic threshold. This method has been modified for various groups of subjects and sports activities [1, 6, 12, 16, 17, 21, 22] by the working group of Conconi. Because this test is very simple to perform it is very popular in training practice [8, 13, 30, 33, 34, 53, 57, 60, 61, 63, 66, 81] and has been modified for several applications [1, 2, 6, 17, 27, 33, 34, 35, 58, 63, 66, 72, 74, 76].

The method was supported by many authors [4, 5, 10, 11, 13, 29, 31, 33, 37, 38, 58, 59, 60, 61, 66, 75, 76, 81] but was also criticized and rejected by a

great number of investigators [8, 14, 26, 28, 49, 50, 53, 54, 62, 78, 79, 80]. The main point of criticism was that a deflection of the HRPC necessary to detect a "threshold" could not be found in a certain number of subjects. Heck et al. [28] presented a review of the literature showing 7.1 to 100% of HRPC's with no detectable heart rate deflection point. Methodological differences for the determination of the deflection point may explain this widespread of outcomes. In part there was a very low correlation found between the heart rate turn (deflection) point (HRTP) and other methods to determine the anaerobic threshold [14, 80]. In a review of about 400 papers dealing with the Conconi method we could not find one paper investigating the phenomenon of heart rate deflection itself. Only one group [64] presented an attempt using a model simulation to describe physiological causes for the phenomenon but did not support their assumptions by measured data.

Most questions regarding the method in the literature were about physiological explanations of the phenomenon. Additionally, low objectivity and reproducibility of the method were mentioned as reasons to reject the method [14, 26, 28, 49, 50, 54, 75, 80] which was in contrast to the high reproducibility presented by the working group of Conconi et al. [3, 15, 17]. The methodology itself has been discussed critically [2, 17, 18, 19, 39, 48, 73].

Aim of our work group was to objectively describe the time course of the HRPC during incremental exercise, to investigate possible physiological causes of the heart rate deflection and to prove the practical application in exercise training.

---

## II. Methods

---

To objectively describe the HRPC we firstly devel-

oped a computer program (PA7000) [32, 38, 55, 56]. The direction and the degree of the HRPC which is the basis for the determination of a HRTP according to Conconi et al. [15] was calculated by means of software PA7000 [56]. Due to the s-shaped response of the HRPC it was necessary to divide the HRPC into three phases to give a valid and objective quantification of the deflection of the HRPC. Three phases of energy supply were determined by means of lactate performance curve analysis [77] using two lactate turn points ( $LTP_1$ ,  $LTP_2$ ) [20]. The first lactate turn point ( $LTP_1$ ) was defined as the first sustained increase of blood lactate concentration (La) above base level values;  $LTP_2$  was defined as the second abrupt increase of La between  $LTP_1$  and  $P_{max}$ . Both  $LTP_1$  and  $LTP_2$  were calculated by means of linear regression break point analysis (for details see 29, 38).

The degree and the direction of the HRPC was calculated exclusively between  $LTP_1$  and  $P_{max}$  in all of our investigations. As a measure of the direction of the HRPC a polynom was fitted into the HR curve and classified as concave, convex or linear; to measure the degree of the deflection two tangents were calculated at  $LTP_1$  and  $P_{max}$ , respectively and the difference of angels gave a measure of the degree of the deflection defined as factor  $k_{HR}$  (for details see 69). Three different HR response groups could be identified:

- 1) regular HR response as described by Conconi et al. (15):  $k_{HR} > 0.1$  (Fig. 1)
- 2) linear HR response:  $0.1 > k_{HR} > -0.1$  (Fig. 2)
- 3) inverted HR response:  $k_{HR} < -0.1$  (Fig. 3)

The determination of a HRTP was only performed in subjects with a clear deflection of the HRPC with  $k_{HR}$  minimally at  $\pm 0.2$ . The calculation of the turn point was performed by means of linear regression break point analysis [29, 55, 56]. This objective description of the HRPC was the basis for several following studies.



HEART RATE TURN POINT AND HEART RATE PERFORMANCE CURVE CURRENT KNOWLEDGE

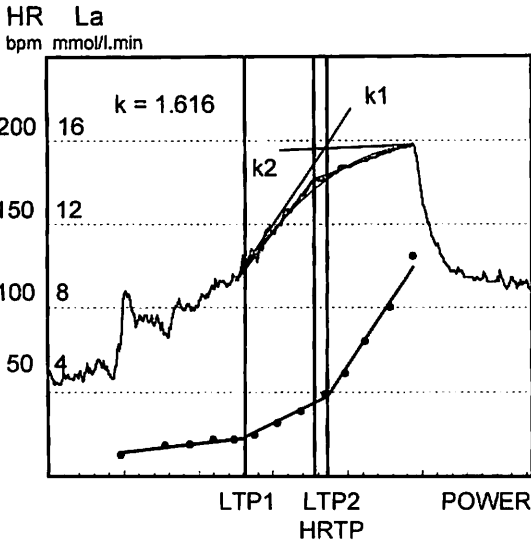


Fig. 1 Principle of the determination of the two LTP's and the H RTP in a young male subject with an upward deflection of the H R P C. The degree and the direction of the deflection of the H R P C is described as factor  $k$  [ $k = (k_1 - k_2) \cdot (1 + k_1 + k_2)^{-1}$ ]. The LTP's separate three phases of energy supply. LTP<sub>1</sub> = first lactate turn point; LTP<sub>2</sub> = second lactate turn point; H RTP = heart rate turn point, H R P C = heart rate performance curve, P<sub>max</sub> = maximal work performance, phase I = from rest to LTP<sub>1</sub>, phase II = from LTP<sub>1</sub> to LTP<sub>2</sub> and phase III = from LTP<sub>2</sub> to P<sub>max</sub>.

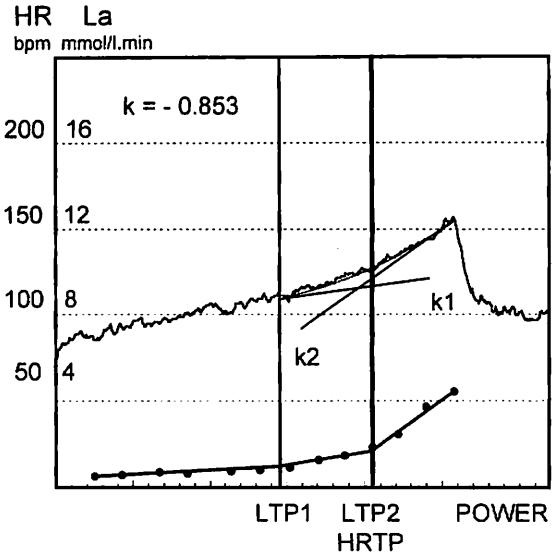


Fig. 3 Principle of the determination of the two LTP's and the H RTP in a patient after myocardial infarction with an upward deflection of the H R P C. See Figure 1 for complete legend.

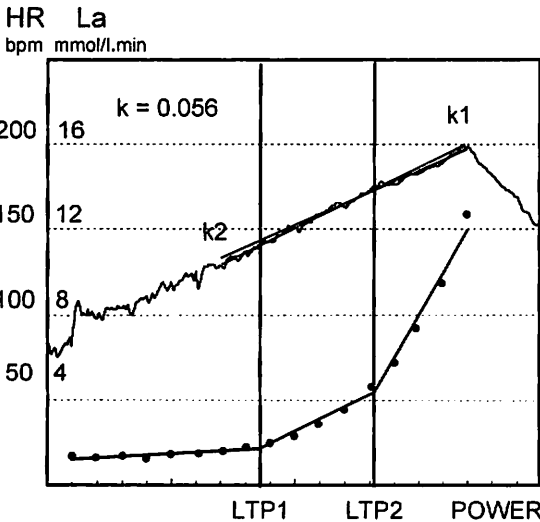


Fig. 2 Principle of the determination of the two LTP's in a middle aged male subject with a linear time course of the H R P C. See Figure 1 for complete legend.

To investigate a possible influence of the autonomous nervous system during incremental exercise a placebo controlled study of the influence of parasympathetic receptor blockade by means of intravenous atropine application [68] was performed. Additionally, the relationship between  $k_{HR}$  and the plasma catecholamine concentration was investigated [67]. It was shown that neither plasma catecholamine response nor parasympathetic activity could explain this phenomenon.

The aim of a further investigation was to evaluate the influence of different test protocols on the time course of the H R P C and the H RTP in subjects with a deflection or a linear time course of the H R P C on a motorized treadmill [73] as this was one major point of criticism of the method [48].

To prove the relationship between the degree and the direction of the H R P C and the myocardial function radionuclide studies were performed. Left ventricular ejection fraction (LVEF) as a measure of contractility was measured in young healthy subjects [37, 69] in older healthy subjects [36] and in patients after myocardial infarction [36, 72].

As an additional hypothesis the influence of potassium on the HRPC was investigated [41, 44].

The relationship between HRTP and maximal lactate steady state important for exercise training regulation was investigated both under laboratory and field conditions and in various sports [29, 33]. The HRTP was evaluated by means of one or more constant load exercise tests around the predetermined HRTP.

---

### III. Results and discussion

---

Contrary to the results by Conconi and co-workers [12, 15, 16, 22] we found the HRPC not to present a uniform HR response pattern like described by these authors. Both in using a modified protocol on the cycle ergometer ( $N = 227$ ) or the originally described field test for runners [15] ( $N = 293$ ) we found approximately 16% (cycle ergometer) and 13% (field test) HRPC's with a different HR response pattern [38]. Independent of the method of testing we found an inverted HRPC in 6-8% in young healthy male subjects. This is in contrast to the results presented by Heck et al. [28] who found 7.1 to 100% of HRPC without a detectable heart rate deflection. The reason for this widespread of data may be seen in a different number of subjects of analyzed investigations [38, 39, 45].

A heart rate deflection point could be detected independent of the direction of the HRPC and HR and power output at the heart rate turn point were not significantly different from the second lactate turn point ( $LTP_2$ ) and they were significantly related [38]. These results supported our earlier findings [11, 37] and that from other work groups [75]. Kara et al. [52] supported these findings using a different method of heart rate threshold detection. In older subjects [36, 74] and patients after myocardial infarction [36, 72] a higher percentage

of HRPC being linear or inverted was found.

Additionally,  $k_{HR}$  was found independent of the plasma catecholamine response but both adrenaline and noradrenaline were significantly related to the blood lactate increase [67]. The parasympathetic receptor blockade via Atropin modified the time course of the HRPC but did not change the individual characteristics of the curve [68]. As shown earlier, the parasympathetic receptor blockade increased the resting heart rate [23] but maximal heart rate did not change significantly. The increase of HR at submaximal load steps decreased  $k_{HR}$  in subjects with a regular HR deflection and increased  $k_{HR}$  in subjects with an inverted HRPC. The typical individual pattern was not changed. The different HRPC patterns could not be explained by an influence of the autonomous nervous system.

The direction and the degree of the deflection of the HRPC was found significantly related to the myocardial function expressed as the left ventricular ejection fraction (LVEF) [37, 69]. The more the HRPC deflection was inverted ( $k_{HR} < -0.1$ ) the more was the decrease of LVEF above the  $LTP_2$ . The decrease of the LVEF was significantly related to the  $LTP_2$  and was found in young healthy subjects [37, 71], in older healthy subjects [37, 69, 71] and in patients after myocardial infarction [36, 71, 72]. Similar results have been presented by Boucher et al. [7] and Foster et al. [24] for the relationship to the ventilatory threshold. In patients after myocardial infarction an important finding was that a significant decrease of LVEF during phase III down to values equivalent to resting values or even lower led to an augmented HR response [72] (Fig. 4). To prevent myocardial overloading in patients participating in a cardiac rehabilitation program, it seems therefore to be useful to determine the HRTP, indicating the workload at which LVEF decreases. Further evaluations in

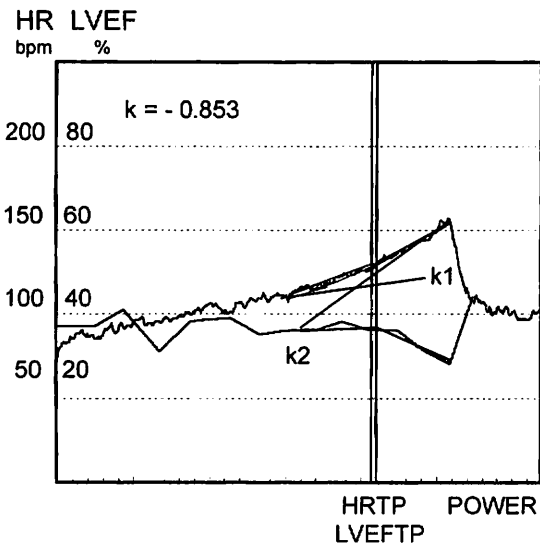


Fig. 4 Principle of the determination of the LVEFTP in a patient after myocardial infarction with an upward deflection of the HRPC and a strongly downward deflection of the LVEFPC = left ventricular ejection fraction performance curve. LVEFTP = left ventricular ejection fraction turn point. See Figure 1 for complete legend.

male and female patients with active ischemia, with different cardiac lesions or in presence of pharmacological interactions are necessary to derive more information about the effect, practice, and benefits for a safer and more effective rehabilitation program.

Additionally, we found a significant influence of posture during the test (supine versus upright) on  $k_{HR}$  which was discussed also in relationship to the influence of posture on exercise hemodynamic [70]. A change of the duration of steps from one to three minutes had no significant influence on  $k_{HR}$  [42]. Test protocols with nonlinear time or speed increments as proposed by Conconi et al. [17] are not valid to estimate a true HRTP under laboratory and field conditions as they allow arbitrary results. Although a higher maximal speed can be obtained in tests with accelerated speed in phase III, for the estimation of a true maximal performance additional and different tests need to be performed [73].

As an alternative hypothesis we followed the idea

that potassium released from working muscle during heavy work could influence indirectly myocardial function. We found a weak but significant relationship between maximal blood potassium concentration and  $k_{HR}$  which supported our hypothesis [41, 44].

Constant load cycle ergometer exercise set at 10% below the HRTP was shown to give a steady state in blood lactate concentration (LaSS) in female [29] and male (unpublished results) subjects. Constant load cycle ergometer exercise right at the HRTP gave an indifferent response with both lactate steady state conditions and increasing La with early termination of the test. This may be explained by methodological errors in the detection of the heart rate deflection point as well as by individual day to day changes of performance. In kayakers [33] and runners (unpublished results) lactate steady state was found in all cases if the subjects were able to keep the given pace. Our results are in contrast to findings by Heck et al. [28], and Krüchger et al. [53] but we have to question their results as these authors did not use an objective method to determine the heart rate deflection. If we define the anaerobic threshold as the highest intensity of load a subject can sustain for at least 20 min duration without an increase of La we may conclude from our studies that the HRT gives the maximal LaSS [29].

#### IV. Conclusions

The different HR response patterns found during incremental exercise may be explained by a variable load dependent adaptation of the myocardial function but failed to explain the causes for this different interplay between frequency and volume regulation of the healthy heart. The autonomic nervous system seems to play not the major role.

Although the relationship between HRTP and muscle metabolism is not clear at the moment a significant relationship between HRTP and LTP<sub>2</sub> and the LaSS can be described. Although in a certain number of subjects a HRTP can not be detected we may recommend the method for the practical application under laboratory and field conditions in combination with lactate steady state tests. Additionally, the analysis of the whole HRPC may offer some additional easy to get information about the myocardial function in heart disease patients [25]. As an alternative hypothesis cardioactive substances related to muscular work such as adenosine [65] or phospholamban [51] as well as a limited mechanical heart-lung interaction [46, 47] may be discussed.

#### References

- [1] BALLARIN E., BORSETTO C., CELLINI M., PATRACCHINI M., VITIELLO P., ZIGLIO P.G., CONCONI F.: Adaptation of the "Conconi test" to children and adolescents. *Int. J. Sports Med.* 10, 1989: 334-338.
- [2] BALLARIN E., BORSETTO C., CAMPI S., CASONI I., GRAZZI G., GUGLIELMINI C., MANFREDINI F., MAZZONI G., PATRACCHINI M., CONCONI F.: The methodology of the "CONCONI TEST": An update after 10 years. In: COUDERT J., van PRAAGH E. (eds.): *Pediatric Work Physiology*. Masson, Paris-Milan 1992: 31-33.
- [3] BALLARIN E., SUDHUES U., BORSETTO C., CASONI I., GRAZZI G., GUGLIELMINI C., MANFREDINI F., MAZZONI G., CONCONI F.: Reproducibility of the Conconi test: Test repeatability and observer variations. *Int. J. Sports Med.* 17, 1996: 520-524.
- [4] BARALDI E., ZANCONATO S., SANUTZ P.A., ZACCHELLO F.: A comparison of two noninvasive methods in the determination of the anaerobic threshold in children. *Int. J. Sports Med.* 10, 1989: 132-134.
- [5] BODENER, M.E., RHODES, E.C., COUTTS, K. D.: Reliability of a mathematical model to reproduce heart rate threshold and the relationship to ventilatory threshold. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30, 1998, 5 (Suppl.): S310.
- [6] BORSETTO C., BALLARIN E., CASONI I., CELLINI M., VITIELLO P., CONCONI F.: A field test for determining the speed obtained through anaerobic glycolysis in runners. *Int. J. Sports Med.* 10, 1989: 339-345.
- [7] BOUCHER, C. A., KANAREK, D. J., OKADA, R. D., HUTTER, A. M., STRAUSS, H. W., POHOST, G. M.: Exercise testing in aortic regurgitation: comparison of radionuclide left ventricular ejection fraction with exercise performance at the anaerobic threshold and peak exercise. *Am. J. Cardiol.* 52, 1983: 801-808.
- [8] BOURGOIS, J., VRJENS, J.: The Conconi Test: A Controversial Concept for the Determination of the Anaerobic Threshold in Young Rowers. *Int. J. Sports Med.* 19, 1998: 553-559.
- [9] BROOKE J. D., HAMLEY E. J.: The heart-rate - physical work curve analysis for the prediction of exhausting work ability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 4, 1972, 1: 23-26.
- [10] BUNC V., HELLER J.: Comparison of two methods of noninvasive anaerobic threshold determination in middle-aged men. *Sports Med. Training & Rehab.* 3, 1992, 2: 87-94.
- [11] BUNC V., HOFMANN P., LEITNER H., GAISL G.: Verification of the heart rate threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70, 1995: 263-269.
- [12] CELLINI M., VITIELLO, P., NAGLIATI A., ZIGLIO P. G., MARTINELLI S., BALLARIN E., CONCONI F.: Noninvasive determination of the anaerobic threshold in swimming. *Int. J. Sports Med.* 7, 1986: 347-351.
- [13] CHWILKOWSKI N., VÖLKER K., HOLLMANN W.: The validity of the Conconi-test in the determination of the anaerobic threshold in swimming. *Int. J. Sports Med.* 9, 1988: 372.
- [14] COEN B., URHAUSEN A., KINDERMANN W.: Value of the Conconi test for determination of the anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 9, 1988: 6.
- [15] CONCONI F., FERRARI M., ZIGLIO P.G., DROGHETTI P., CODECA L.: Determination of the

- anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.* 52, 1982, 4: 869-873.
- [16] CONCONI F., FERRARI M., ZIGLIO, P.G., DROGHETTI P., BORSETTO C., CASONI I., CELLINI M., PAOLINI A.R.: Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in running and other sport activities. In: BACHL N. (Hrsg.): *Current Topics in Sports Medicine. Proc. World Congress, Vienna 1982, Urban & Schwarzenberg, Wien 1984: 271-281.*
- [17] CONCONI F., GRAZZI G., CASONI I., GUGLIELMINI C., BORSETTO C., BALLARIN E., MAZZONI G., PATRACCHINI M., MANFREDINI F.: The Conconi test: Methodology after 12 years of application. *Int. J. Sports Med.* 17 1996: 509-519.
- [18] CONCONI F., GRAZZI G., CASONI I., BORSETTO C., MAZZONI G., ALFIERI, N., MANFREDINI F.: Reply to: HOFMANN, P., POKAN, R., von DUVILLARD S.P., SCHMID, P.: Letter to the editor re: Conconi et al.: The Conconi Test: Methodology After 12 Years of Application. *Int. J. Sports Med.* 18, 1997, 5: 398-399.
- [19] CONCONI F., GRAZZI G., CASONI I., BORSETTO C., MAZZONI G., ALFIERI, N., MANFREDINI F.: Reply to: JEUKENDRUP, A.E., HESSELINK, M.K.C., KUIPERS, H., KEIZER, H.A.: Letter to the editor re: Conconi et al.: The Conconi Test: Methodology After 12 Years of Application. *Int. J. Sports Med.* 18, 1997, 5: 394-396.
- [20] DAVIS, H.A., BASSETT, J., HUGHES, P., GASS, G.C.: Anaerobic threshold and lactate turn point. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50, 1993: 383-392.
- [21] DROGHETTI P.: Determination of the anaerobic threshold on a rowing ergometer by the relationship between work output and heart rate. *Scand. J. Sports Sci.* 8, 1986, 2: 59-62.
- [22] DROGHETTI P., BORSETTO C., CASONI I., CELLINI M., FERRARI M., PAOLINI A.R., ZIGLIO P.G., CONCONI F.: Noninvasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller, and iceskating, rowing, and walking. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53, 1985: 299-303.
- [23] EKBLUM, B., KILBOM, A., SOLTYSIAK, J.: Physical training, bradycardia, and autonomic nervous system. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 32, 1973: 251-256.
- [24] FOSTER, C., GAL, R.A., PORT, S.C., SCHMIDT, D.H.: Left ventricular ejection fraction during incremental and steady state exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 1995, 12: 1602-1606.
- [25] FOSTER, C. SPATZ, P., GEORGAKOPOULOS, N.: Left Ventricular Function in relation to the Heart rate Performance Curve. *Clin. Exerc. Physiol.* 1, 1999, 1: 29-32.
- [26] FRANCIS K.T., McCLATCHEY P.R., SUMSION J.R., HANSEN D.E.: The relationship between anaerobic threshold and heart rate linearity during cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol.* 59, 1989: 273-277.
- [27] GAISL G., HOFMANN P., BUNC V.: Standardization of a noninvasive method of determining the anaerobic threshold in children. In: FRENKL R., SZMODIS I. (eds.): *Children and Exercise Pediatric Work Physiology XV. National Institute for Health Promotion (NEVI), Budapest (Hungary), 1991: 234-241.*
- [28] HECK H., TIBERI M., BECKERS K., LAMMER-SCHMIDT W., PRUIN E., HOLLMANN W.: Lactic acid concentration during bicycle-ergometer exercise with preselected percentages of the Conconi-threshold. *Int. J. Sports Med.* 9, 1988: 367.
- [29] HOFMANN P., BUNC V., LEITNER H., POKAN R., GAISL G.: Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69, 1994: 132-139.
- [30] HOFMANN P., GAISL G., LEITNER H.: Comparison of noninvasively determined anaerobic threshold with running results in the marathon race in recreational runners. In: DUFFY P., DUGDALE L. (eds.): *HPER - Moving Toward the 21st Century. Human Kinetics, Champaign (Ill.) 1994: 217-225.*
- [31] HOFMANN P., LEITNER H., GAISL G.: Heart rate threshold, lactate turn point and anaerobic threshold determination by electromyography. *Hung. Rev. Sports Med.* 33, 1992, 1: 13-20.
- [32] HOFMANN P., LEITNER H., GAISL G., NEUHOLD Ch.: A computer supported evaluation of the modified Conconi test on bicycle ergometer. In: JARVER J. (ed.): *A Collection of European Sports*

- Sciences Translations. Kidman Park, S.A., South Australian Sports Institute, Australia, 1990: 51-52.
- [33] HOFMANN P., PEINHAUPT G., LEITNER H., POKAN R.: Evaluation of heart rate threshold by means of lactate steady state and endurance tests in white water kayakers. In: VIITASALO J.T., KUJALA U. (eds.): *The Way to Win. Proc. of the Int. Congress on Applied Research in Sports. Helsinki (Finland) August 9-11, 1994*: 217-220.
- [34] HOFMANN P., PEINHAUPT G., POKAN R., ZWEIKER R.: Relationship between treadmill performance and sport specific aerobic performance in white water kayakers. In: MARCONNET P., GAULARD J. MARGARITIS I., TESSIER F. (eds.): *First Annual Congress Frontiers in Sports Science. Nice, France, May 28-31, 1996* ; abstract: 664-665.
- [35] HOFMANN P., NIEDERKOFER W., POKAN R., BUNC V.: Comparison between heart rate threshold and individual physical working capacity. *Kinanthropologia* 32, 1996, 1: 47-50.
- [36] HOFMANN, P., POKAN, R., BEAUFORT, F., SCHUMACHER, M., FRUHWALD, F.M., ZWEIKER, R., EBER, B., GASSER, R., SCHMID, P., BRANDT, D., KLEIN, W.: Left ventricular function during incremental cycle ergometer exercise related to aerobic and anaerobic threshold in patients after myocardial infarction, healthy older subjects and young sports students. In: Chytráková, J., Kohoutek, M. (eds): *Sport Kinetics 95, Prague 1996*: 192-198.
- [37] HOFMANN P., POKAN R., PREIDLER W., LEITNER H., SZOLAR D., EBER B., SCHWABERGER G.: Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. *Int. J. Sports Med.* 15, 1994: 232-237.
- [38] HOFMANN, P., POKAN, R., von DUVILLARD, S.P., SEIBERT, F. -J., ZWEIKER, R., SCHMID, P.: The heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29, 1997, 6: 762-768.
- [39] HOFMANN, P., POKAN, R., von DUVILLARD S.P., SCHMID, P.: Letter to the editor re: Conconi et al.: *The Conconi Test: Methodology After 12 Years of Application. Int. J. Sports Med.* 18, 1997, 5: 397-398.
- [40] HOFMANN, P., POKAN, R., BACHL, N., SCHMID, P.: Determination of the heart rate deflection point. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 37, 1997, 2: 151-154.
- [41] HOFMANN, P., SEIBERT, F.J., ÖHLKNECHT, A., SUDI, K.M., POKAN, R., SCHMID, P.: Relationship between blood potassium level and the deflection of the heart rate performance curve. *Int. J. Sports Med.* 19, 1998: 25.
- [42] HOFMANN, P., POKAN, R., vonDUVILLARD, S.P.: Influence of step length during incremental exercise on the heart rate performance curve. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30, 1998, 5 (suppl.): 242.
- [43] HOFMANN, P., POKAN, R., ÖHLKNECHT, A., SUDI, K.M., SCHWABERGER, G.: Invasive and non-invasive determination of the "Anaerobic threshold". *J. Sports Med. Phys. Fitness* 38, 1998, 1: 88.
- [44] HOFMANN, P., SEIBERT, F.J., POKAN, R., GOLDA, M., WALLNER, D., von DUVILLARD, S.P.: Relationship between blood pH, potassium and the heart rate performance curve. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 1999, 5: 150.
- [45] HOFMANN, P., POKAN, R., von DUVILLARD, S.P.: The Conconi-method: Current state of affairs. In: PARISI, P., PIGOZZI, F.(eds.): *Sport Science '99 in Europe. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science, Rome 14-17 July, 1999*: 125.
- [46] HOFMANN, P., GOLDA, M., POKAN, R., SCHWABERGER, G., von DUVILLARD, S.P.: Influence of cycling cadence and breathing pattern on the heart rate performance curve.. In: PARISI, P., PIGOZZI, F.(eds.): *Sport Science '99 in Europe. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science, Rome 14-17 July, 1999*: 816.
- [47] HSIA, C.C.W.: Cardiopulmonary limitations to exercise in restrictive lung disease. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 1999, 1 (Suppl.): S28-S32.
- [48] JEUKENDRUP, A.E., HESSELINK, M.K.C., KUIPERS, H., KEIZER, H.A.: Letter to the editor re: Conconi et al.: *The Conconi Test: Methodology After 12 Years of Application. Int. J. Sports Med.* 18, 1997,

- 5: 393-394.
- [49] JONES A.M., DOUST J.H.: Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int. J. Sports Med.* 16, 1995: 541-544.
- [50] JONES, A.M., DOUST, J.H.: The Conconi test is not valid for the estimation of the lactate turn point in runners. *J. Sports Sci.* 15, 1997: 385-394.
- [51] KALINSKI, M.I., ANTIPENKO, A.Y., DUNBAR, C.C., MICHIELLI, D.W.: Exercise and Intracellular Regulation of Cardiac and Skeletal Muscle. *HK Sport Science Monograph Series Vol. 7, Human Kinetics, Champaign, Il.* 1995.
- [52] KARA M., GÖKBEL H., BEDIZ C., ERGENE N., ÜCOK K., UYSAL H.: Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 36, 1996, 1: 31-34.
- [53] KRÜGER J., MORTIER R., HECK H., HOLLMANN W: Relationship between the Conconi-threshold and lactic-acid at endurance workload on the during crank ergometer. *Int. J. Sports Med.* 9, 1988: 367.
- [54] LEGER L., TOKMAKIDIS S.P.: Use of the heart rate deflection point to assess the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.* 64, 1988, 4: 1758-1759.
- [55] LEITNER H., HOFMANN P., POKAN R.: The application of Fuzzy Logic in the determination of the anaerobic threshold performance diagnostics. *Int. J. Sports Med.* 15, 1994: 351.
- [56] LEITNER H. HOFMANN P., GAISL G.: A method for the microcomputer - aided determination of the anaerobic threshold by means of heart rate curve analysis. *Conference Proc. 15 years Biomedical Engineering in Austria 88'Graz, June 9-11, 1988: 136-141.*
- [57] LENZI G.: The women's marathon: Preparing for an important event in the season. In: ALFORD J.W. (ed.): *Running the IAAF. Symp. on Middle and Long Distance Events. IAAF, London, 1983: 59-66.*
- [58] MAFFULLI N., SJÖDIN B., EKBLÖM B.: A laboratory method for non invasive anaerobic threshold determination. *J. Sports Med.* 27, 1987, 4: 419-423.
- [59] MAFFULLI N., TESTA V., CAPASSO G.: Anaerobic threshold determination in master endurance runners. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 34, 1994: 242-249.
- [60] MAFFULLI N., CAPASSO G., LANCIA A.: Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *J. Sports Med. Physic. Fitness.* 31, 1991, 3: 332-338.
- [61] MAFFULLI N., TESTA V., LANCIA A., CAPASSO G., LOMBARDI S.: Indices of sustained aerobic power in young middle distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23, 1991, 9: 1090-1096.
- [62] MAHON A.D., VACCARO P.: Can the point of deflection from linearity of heart rate determine ventilatory threshold in children ? *Ped. Exerc. Sci.* 1991, 3: 256-262.
- [63] MARIN J.: Controlling the development of training in race walkers. *New Studies in Athletics* 5, 1990, 3: 49-53.
- [64] PESSENHOFER H., MEIER A., SCHWABERGER G., SAUSENG N.: Verification of hypotheses about the physiological basis of the Conconi test by model simulation. *Int. J. Sports Med.* 12, 1991, 1: 119.
- [65] PELLEGG, A., BELARDINELLI, L.: Effects of Extracellular Adenosine and ATP on Cardiomyocytes. *Molecular Biology Intelligence Unit 6, R.G. LANDES Company, Austin, Texas, 1999.*
- [66] PETIT M.A., NELSON C.A., RHODES E.C.: Comparison of a Mathematical Model to Predict 10-km Performance From the Conconi Test and Ventilatory Threshold Measurements. *Can. J. Appl. Physiol.* 22, 1997, 6: 562-572.
- [67] POKAN P., HOFMANN P., LEHMANN M., LEITNER H., EBER B., GASSER R., SCHWABERGER G., SCHMID P., KEUL J., KLEIN W.: Heart rate deflection related to lactate performance curve and plasma catecholamine response during incremental cycle ergometer exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70, 1995: 175-179.
- [68] POKAN, R., HOFMANN, P., von DUVILLARD, S.P., SCHUMACHER, M., GASSER, R., ZWEIKER, R., FRUHWALD, W., EBER, B., SMEKAL, G., BACHL, N., SCHMID, P.: Parasympathetic receptor blockade and the heart rate performance curve. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30, 1998, 2: 229-233.
- [69] POKAN R., HOFMANN P., PREIDLER K., LEITNER H., DUSLEAG J., EBER B., SCHWABERGER

- G., FÜGER G.F., KLEIN W.: Correlation between inflection of heart rate/work performance curve and myocardial function in exhausting cycle ergometer exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67, 1993: 385-388.
- [70] POKAN R., KATARY U., HOFMANN P., SMEKAL G., TSCHAN H., BARON R., BACHL N., SCHMID P.: Heart rate deflection and heart rate deflection point during upright and supine incremental cycle ergometer exercise. In: MARCONNET P., GAULARD J. MARGARITIS I., TESSIER F. (eds.): *First Annual Congress Frontiers in Sports Science*. Nice, France, May 28-31, 1996: 690-691.
- [71] POKAN, R. HOFMANN, P., vonDUVILLARD, S.P., BEAUFORT, F., SCHUMACHER, M., FRUHWALD, F.M., ZWEIKER, R., EBER, B., GASSER, R., BRANDT, D., SMEKAL, G., KLEIN, W., SCHMID, P.: left ventricular function in response to the transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29, 1997, 8: 1040-1047.
- [72] POKAN, R., HOFMANN, P., von DUVILLARD, S.P., BEAUFORT, F., SMEKAL, G., GASSER, R., KLEIN, W., EBER, B., BACHL, N., SCHMID, P.: The heart rate performance curve and left ventricular function during exercise in patients after myocardial infarction. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30, 1998, 10: 1475-1480.
- [73] POKAN, R., HOFMANN, P., von DUVILLARD, S.P., SMEKAL, G., HÖGLER, R., TSCHAN, H., BARON, R., SCHMID, P., BACHL, N.: The heart rate turn point reliability and methodological aspects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 1999, 6: 903-907.
- [74] POKAN, R., G. SMEKAL, P. HOFMANN, S.P. vonDUVILLARD, H. TSCHAN, R. BARON, P. SCHMID, N. BACHL.: Performance Diagnostics in aging population.. In: PARISI, P., PIGOZZI, F.(eds.): *Sport Science '99 in Europe*. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual Congress of the European College of Sport Science, Rome 14-17 July, 1999: 483.
- [75] RIBEIRO J.P., FIELDING R.A., HUGHES V., BLACK A., BOCHESE M.A., KNUTTGEN H.G.: Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 16, 1995: 220-224.
- [76] ROGERS R.K.L., REYBROUCK T., WEYMANS M., DUMOULIN M., GEWILLIG M., VACCARO P.: The relationship between heart rate deflection and ventilatory threshold in children following heart surgery. *Ped. Exerc. Sci.* 1995, 7: 263-269.
- [77] SKINNER, J.S., McLELLAN, T.: The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Q. Exerc. Sport* 51, 1980: 234-248.
- [78] THORLAND W., PODOLIN D.A., MAZZEO R.S.: Coincidence of lactate threshold and HR-power output threshold under varied nutritional states. *Int. J. Sports Med.* 15, 1994: 301-304.
- [79] TIBERI M., BÖHLE E., ZIMMERMANN E., HECK H., HOLLMANN W.: Comparative examination between Conconi- and lactate threshold on the treadmill by middle distance runners. *Int. J. Sports Med.* 9, 1988: 372.
- [80] TOKMAKIDIS S.P., LEGER L.A.: Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate "threshold" points and relationship with performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64, 1992, 4: 309-317.
- [81] ZACHAROGIANNIS E., FARRALLY M.: Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 33, 1993, 4: 337-347.



# 走者応答型トレッドミルによる箱根駅伝 5区をシミュレーションした際の エネルギー代謝に関する検討

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)

恩田哲也 (スポーツ医科学研究所)

有賀誠司 (スポーツ医科学研究所)

中村 豊 (スポーツ医科学研究所)

岩垣丞恒 (体育学部社会体育科)

齋藤 勝 (体育学部体育学科)

Evaluation of the energy metabolism in a simulation of the fifth section of the  
Hakone Ekiden using a runner-motion-response-type treadmill

Tamotsu TERAO, Tetsuya ONDA,  
Seiji ARUGA, Yutaka NAKAMURA,  
Suketune IWAGAKI and Masaru SAITO

## Abstract

The purpose of this study is to elucidate the energy metabolism in a simulation of the fifth section of the Hakone Ekiden (distance of 20.7km) using a runner-motion-response-type treadmill in a laboratory. Five male runners aged  $20.2 \pm 1.6$  years were asked to run at their desired speeds on a programmable treadmill whose "slope-setting" was changed automatically every fifty meters. The runners watched a video of the actual course during this experiment. We found a significant correlation between the slope every fifty meters and the mean step length ( $r = -0.695$ ) and step frequency ( $r = 0.646$ ). The mean values of oxygen uptake and respiratory exchange ratio of the five runners were  $59.83 \pm 5.42$  (range 56.35-62.55) ml/kg/min and  $0.99 \pm 0.05$  (range 0.97-1.01), respectively. The total energy expenditure and energy expenditure deduced from carbohydrates and lipids in this fifth section were  $1632 \pm 58$  kcal,  $1502 \pm 120$  kcal, and  $130 \pm 96$  kcal, respectively. In the case of an upward slope, we observed a significant correlation between energy expenditure (kcal/kg) for the five runners and mean step length ( $r = -0.942$ ), mean step frequency ( $r = 0.918$ ), and running time ( $r = 0.982$ ). These results indicate that about 90% of the total energy used in the fifth section is supplied by the carbohydrate component and showed the high intensity of exercise during this section. In conclusion, our results for the upward slope showed that good long-distance runners use a longer step length, and thereby save energy and thus realize an improved running economy.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 19-27, 2000)

## I. 緒 言

いまやお正月の風物詩となっている東京箱根間往復大学駅伝競走（以下、箱根駅伝）は、今回で76回大会になるが、競技中の生理的応答を測定することは非常に困難である。箱根駅伝は、10区間に分けられるが、この中でも5区は、ランナー（選手）にとって6区とともにアップ・ダウンの激しい難コースである。この難コースを走るランナーの生理的応答がどのような変化を示すかの検討した研究は、ほとんど報告されていないのが現状である。

そこで、このコースの距離に対する勾配の変化に対応した走行が実験室内のトレッドミルで可能になるならば、箱根駅伝5区を走るランナーの生理的応答も解明され、競技力向上を目的とした新しいトレーニング方法の一翼を担うことであろう。しかし、従来のトレッドミルは、設定したミル速度と時間を、経過プロセスに関係なく黙々と走り続けるだけの強制負荷装置である。また、従来のトレッドミルは、登り勾配の設定は可能であるが下り勾配が不可能という欠点もある。さらに、最も重要な欠点は、距離に対応した勾配の設定が困難ということにある。これらの理由から箱根駅伝5区の生理的応答の解明や実走路に結びつく試走トレーニングとしては不適合となる。

近年、新しく開発された「走者応答型トレッドミル」のトレーニングシステム<sup>1)</sup>は、からだの位置も設定速度も意識せず、自分の判断で走り続けられ、距離に対応した登りおよび下り勾配が設定でき、距離と速度に応じたコース映像をテレビの画面に映し出すことができるなどの特徴を備えている。既に、このシステムによる基礎的研究としては、最大酸素摂取量の検討<sup>2)</sup>を基に、実際に箱根駅伝5区の試走時の生理的応答と比較検討<sup>3, 4)</sup>した。その結果、走者応答型トレッドミルは、まず、最大酸素摂取量に関して、従来の強制的負荷法のトレッドミルと同等な値が得られ、また、疲

労困憊時間を短縮しても十分に最大酸素摂取量が得られたこと、さらには、実際の箱根駅伝5区の試走時と比較しても全エネルギー消費量、糖質および脂肪からのエネルギー消費量等がほぼ同様な傾向を示したこと等から、実験室内において箱根駅伝5区の生理的応答の特性が明らかにできるとともに、実走路に結びつく試走トレーニングも可能であることが示唆された。

そこで、本研究の目的は、走者応答型トレッドミルを用い、箱根駅伝5区（距離20.7km）のコースを実験室内でシミュレーションした際、走行時のエネルギー代謝がどのような変化を示すか検討することで、箱根駅伝5区の特性を解明しようとするものである。特に、今回は、登り勾配における走行の経済性について重点を置いた。

## II. 実験方法

### 1. 対象者

実験対象は、東海大学陸上部中長距離選手であり、箱根駅伝のレギュラー2名を含む計5名（年齢； $20.2 \pm 1.6$ 歳，身長； $173.2 \pm 3.1$ cm，体重； $61.9 \pm 1.9$ kg，体脂肪率； $9.0 \pm 1.0\%$ ）を被験者とした。なお、被験者には、実験の概要を十分に説明し、実験参加の同意を得た。

### 2. シミュレーション

図1に示したように、5区のコース（距離；20.7km）を50m毎に勾配を求め、その走路モデルをトレッドミルシステムに入力させるとともに、この実景のビデオ撮影を行い、その映像をシステムに同調させてトレッドミル走を行わせた（写真1）。

### 3. 測定方法

走行中の呼気ガス分析は、1分毎にテレメトリー式呼吸代謝計測装置K4（Cosmed社）を用いて行い、さらに、この装置の栄養管理ソフト<sup>5)</sup>によって全エネルギー消費量、糖質および脂肪から

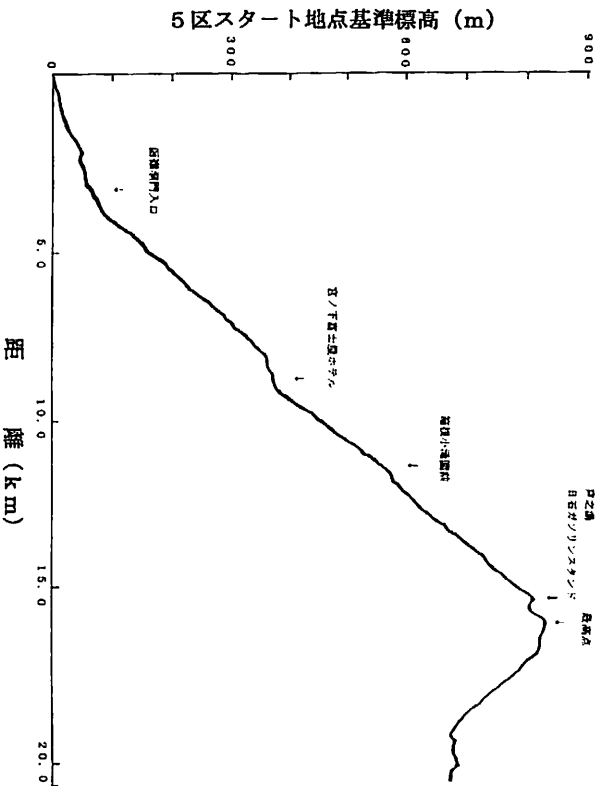


図1 箱根駅伝5区の高差  
Fig. 1 Difference of altitude at the fifth section in Hakone-Ekiden

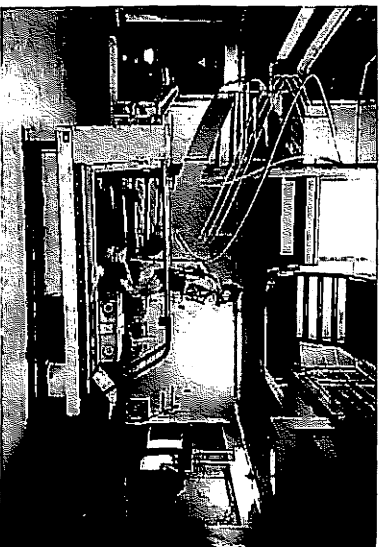


写真1 走者応答型トレッドミル  
Photograph 1 Runner-motion-response-type treadmill



の推定エネルギー消費量を算出した。同時に、このシステムに導入されている走速度、歩幅計測の値から50m毎の平均走行速度、平均歩幅および平均歩数を算出した。

#### 4. 統計解析

測定値は、平均値±標準偏差で示した。各測定値相互の関係は、ピアソンの相関分析により検討した。統計的有意水準を5%未満とした。

#### 1. 走行速度の変化

図2には、20.7km走における50m毎走速度の変化を示した。走行速度は、4kmまでが約15~17km/hであったが、4kmを過ぎるころから約12~14km/hにやや低下傾向がみられた。しかし、

### Ⅲ. 実験結果

この速度は、登りの後半まで維持されていた。下り（16.2km～19.3km）では、走速度が平均18～20km/hへと著明な増加がみられた。19.3kmからゴールまでは、多少のアップ・ダウンが続く中で、5名のランナーとも前半（スタートから4kmまで）の走速度よりも速く、平均16～20km/hで走行する傾向を示した。なお、各個人の走行時間は、N. T；80分31秒、T. S；85分26秒、A. S；89分30秒、K. K；92分26秒、S. Y；95分53秒であった。

## 2. 勾配と歩幅および勾配と歩数の関係

図3および4に50m毎の勾配と平均歩幅、50m毎の勾配と平均歩数をそれぞれ示した。勾配と平均歩幅の関係は、有意な負の相関（ $r = -0.695$ 、 $p < 0.01$ ）がみられ、一方、勾配と平均歩数（図4）は、有意な正の相関（ $r = 0.646$ 、 $p < 0.01$ ）が認められた。

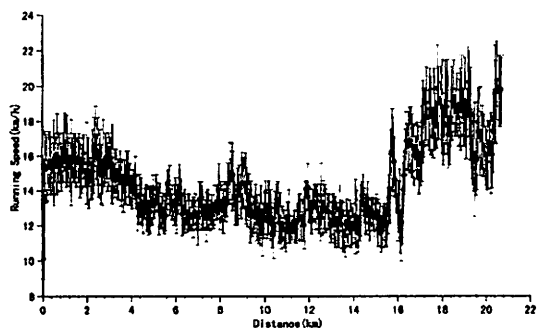


図2 走行速度の変化  
Fig. 2 Change of running speed

## 3. 各個人における走行中の平均酸素摂取量

走行中の平均酸素摂取量を図5に示した。平均酸素摂取量は、N. T； $61.95 \pm 3.43$  ml/kg/min、T. S； $62.55 \pm 4.96$  ml/kg/min、A. S； $58.12 \pm 7.04$  ml/kg/min、K. K； $60.74 \pm 4.45$  ml/kg/min、S. Y； $56.35 \pm 3.60$  ml/kg/minであり、5名の平均値が $59.83 \pm 5.42$  ml/kg/minを示した。

## 4. 各個人における走行中の平均呼吸交換比

図6に走行中の平均呼吸交換比を示した。呼吸交換比は、N. T； $0.99 \pm 0.04$ 、T. S； $0.97 \pm 0.05$ 、A. S； $1.01 \pm 0.04$ 、K. K； $0.94 \pm 0.04$ 、S. Y； $1.01 \pm 0.03$ といずれのランナーも高いレベルを示した。なお、5名の平均値は、 $0.99 \pm 0.05$ であった。

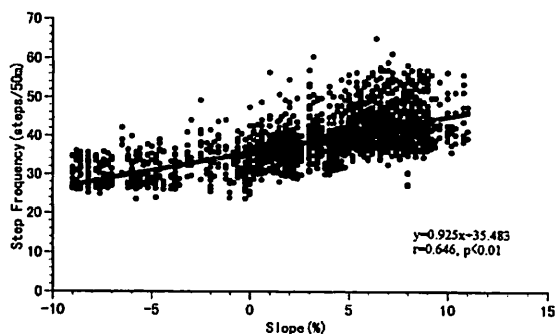


図4 勾配と歩数の関係  
Fig. 4 Relationship between the step frequency and slope in every fifty meters

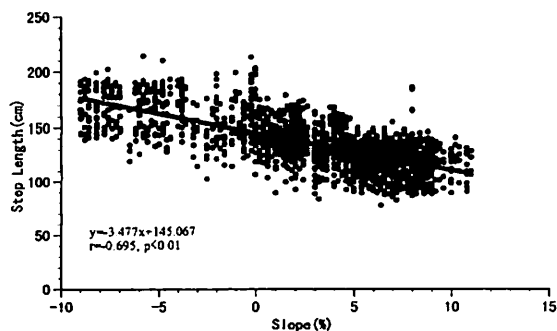


図3 勾配と歩幅の関係  
Fig. 3 Relationship between the mean step length and slope in every fifty meters

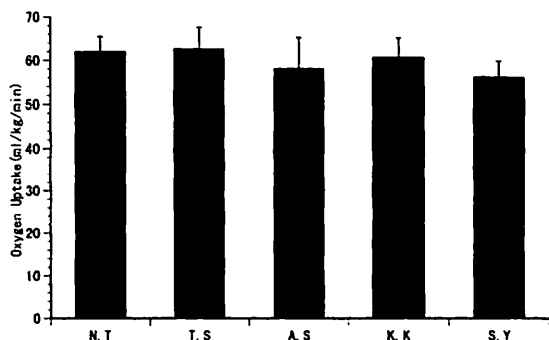


図5 各個人における走行中の平均酸素摂取量  
Fig. 5 Mean values of oxygen uptake during running in each subjects

### 5. 走行中の全エネルギー消費量

図7に走行中の全エネルギー消費量を示した。全エネルギー消費量は、5名の平均が1632±58kcalであった(N.T; 1572kcal, T.S; 1616kcal, A.S; 1597kcal, K.K; 1633kcal, S.Y; 1741kcal)。糖質および脂肪からの推定エネルギー消費量は、糖質が1502±120kcal、脂肪が130±96kcalとなり、糖質からのエネルギー消費量が著明な値を示した。

### 6. 登りに関するエネルギー消費量と歩幅、エネルギー消費量と歩数の関係

勾配を登りと下りに分けると、登りに関する5名のエネルギー消費量(kcal/kg)と平均歩幅、エネルギー消費量(kcal/kg)と平均歩数の関係を図8、9にそれぞれ示した。まず、エネルギー消費量と歩幅とは、有意な負の相関( $r = -0.942$ ,

$p < 0.05$ ) がみられ、逆に、歩数とは有意な正の相関( $r = 0.918$ ,  $p < 0.05$ ) が認められた。

### 7. 登りに関するエネルギー消費量と走行時間の関係

図10にエネルギー消費量(kcal/kg)と走行時間の関係を示した。この両者は、有意な正の相関( $r = 0.982$ ,  $p < 0.01$ ) が認められた。

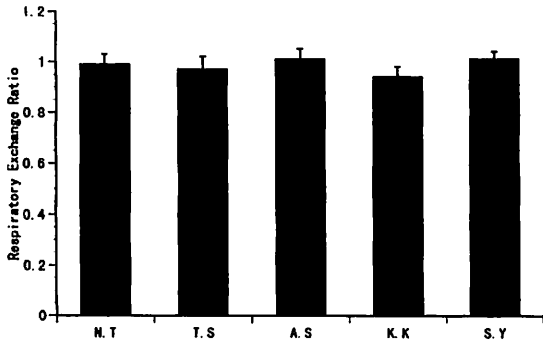


図6 各個人における走行中の平均呼吸交換比  
Fig. 6 Mean values of respiratory exchange ratio during running in each subjects

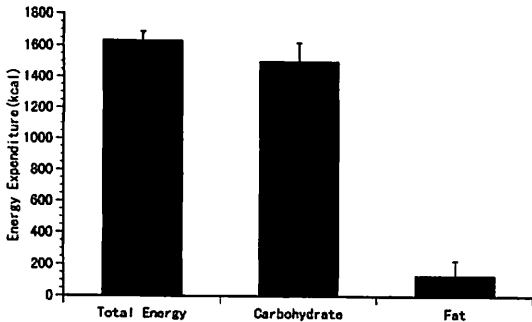


図7 走行中の全エネルギー消費量  
Fig. 7 Total energy expenditure, energy expenditure obtained from carbohydrate and lipid during running

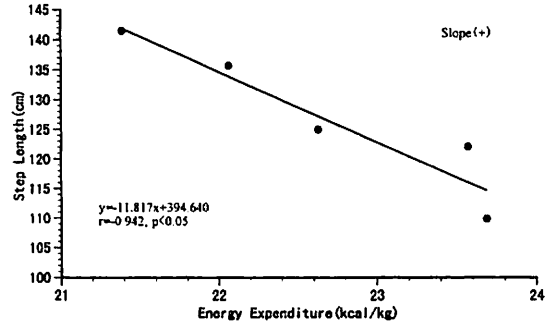


図8 登りに関するエネルギー消費量と歩幅の関係  
Fig. 8 Relationship between mean step length and energy expenditure in the upward slope

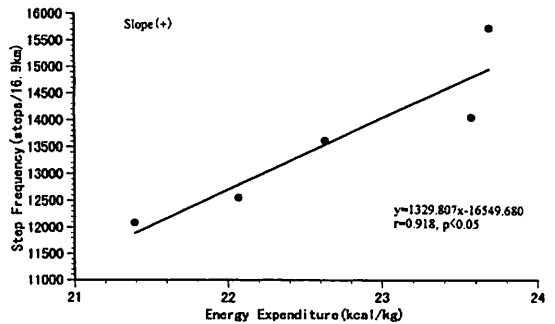


図9 登りに関するエネルギー消費量と歩数の関係  
Fig. 9 Relationship between step frequency and energy expenditure in the upward slope

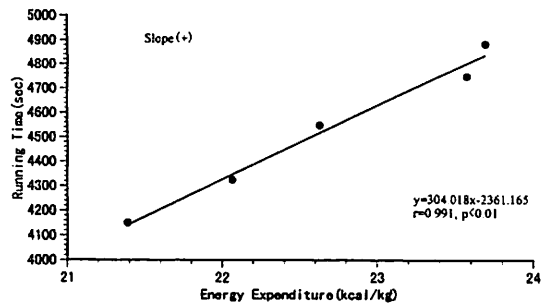


図10 登りに関するエネルギー消費量と走行時間の関係  
Fig. 10 Relationship between running time and energy expenditure in the upward slope

## IV. 考 察

箱根駅伝5区は、通称、「山登り」と言われているが、16.2km付近から一転して急激な下りが約3kmにわたり続くのがこのコースの特徴である。走行速度は、この登りと下りとで明らかな差がみられた。まず、登りに関しては、スタートしてからすぐ緩やかな登りになるが、この4kmまでの登りは走行速度の変化にそれほど影響がみられなかった。本格的な登りは、4kmを過ぎてから16.2km(2.3kmと15.6kmで一時下り)に至るまでの距離であり、走行速度も急激な登り勾配になると低下傾向がみられた。しかし、急激な登りが最高点まで長く続く中で、漸減することなくほぼ一定の走行速度が維持されていた。下りの走行速度は、著明な上昇がみられた。最後の20kmからゴールまでの走行速度は、前半の4kmまでの走行速度よりも速く、平均16~20km/hで走行する傾向がみられた。この結果は、体内の貯蔵エネルギーである筋肉グリコーゲンが枯渇しているトラストスパートがかけられないこと<sup>4)</sup>から、後述の呼吸交換比、エネルギー消費量にも関連するが、この時点でもグリコーゲンが残存していたものと推察される。本研究の走行時間(箱根駅伝レギュラー選手2名の成績)は、実際の5区の競技時間(東海大学の過去6年間の成績;平均75分30秒)と比較すると、5~10分程度遅い傾向を示した。この理由の1つとしては、長時間にわたり携帯型のテレメトリー式呼吸代謝計測装置を装着して走行していたことが影響を及ぼしていたものと考えられよう。

走行中の平均酸素摂取量は、56~62ml/kg/min(5名の平均値59.9ml/kg/min)であった。この値から箱根駅伝5区がどの程度の運動であったかを推察するには、最大酸素摂取量の値が必要である。しかし、本研究では、シミュレーション実験時の最大酸素摂取量は測定していなかったが、特に、箱根駅伝レギュラー選手2名を対象にした場

合、ベストタイム(10000m29分前後)、さらには、箱根駅伝選手の最大酸素摂取量と競技成績<sup>7)</sup>等から、75ml/kg/min前後はあろうかと推測される。したがって、箱根駅伝5区は、最大酸素摂取量の75~80%程度に相当する運動をしていたことになり、高強度の運動であったことが示唆される。さらに、本研究の難コースを含めた長距離競技のパフォーマンスは、単位時間当たりのエネルギー出力の大きさ(最大酸素摂取量、酸素摂取水準あるいは無酸素性作業閾値)によって決定されるほかに、いかに有効にエネルギーを利用して走行するかという経済性も重要な要素<sup>8, 9)</sup>である。走行の経済性は、運動時間が長くなるにつれて、パフォーマンスにより大きな影響を及ぼすことが考えられる。この経済性は、走行中の酸素摂取量の高低から評価すること<sup>10, 11)</sup>が可能である。すなわち、最大下運動において同じ速度で走行しているときに酸素摂取量が少ないほど効率がよいことになり、走行の経済性が高いとみなすことができよう。しかし、本研究では、20.7kmを常に一定速度で走行することが不可能であり、5名のランナーの走行速度も異なっているため、走行中の酸素摂取量だけで経済性を比較検討することができなかった。そこで、酸素摂取量の値を平均走行速度で割った値でみると、最も速く走行したランナー(N.T; 3.9)は、他のランナー(4.1~4.4)と比較して、より低値を示した。この値も走行の経済性の指標として有効であろうと考えられる。

次に、勾配(-9%~+11%)と歩幅、勾配と歩数の関係は、有意な負と正の相関がそれぞれに認められた。すなわち、走行中では、勾配の増加に伴って歩幅が短くなり、歩数が増し、逆に、勾配の低下につれて歩幅が伸び、歩数が少なくなる傾向がみられた。前述の走行速度は、歩幅と歩数の掛け合わせで決定される。そのため走行中では、勾配の変化に対応して歩幅を伸ばしたり、歩数を増やす工夫がみられた。

走行中の呼吸交換比は、0.94~1.01(5名の平均値0.98)と高いレベルを示した。さらに、走行中の全エネルギー消費量は、5名の平均値が

1632kcalであり、糖質および脂肪からの推定エネルギー消費量が糖質1502kcal、脂肪130kcalとなり、糖質からのエネルギー消費量が著明な値を示した。これらの結果を考察すると、まず、運動時の呼吸交換比は、運動強度、持続時間の差異によって変動する。運動強度が増加すれば呼吸交換比は上昇して1.0に近づいてくる。これは、運動のエネルギーが主として糖質の燃焼によるためである<sup>6, 12)</sup>。さらに、激運動では、呼吸交換比が1.0を超えるようなことがある。したがって、勾配の激しい箱根駅伝5区では、運動強度が高く、走行中に糖代謝が亢進していたことが示唆される。

次に、運動時のエネルギー代謝は、平地走の場合に約20kmの距離を走行すると約1100~1200kcal(体重60kgのヒト)のエネルギーが消費する<sup>6, 13, 14)</sup>とされている。したがって、ほぼ同じ距離を走行しても勾配のある箱根駅伝5区では、約400kcalも多くエネルギーが消費したことが推察される。運動強度と糖代謝に関して、本研究の結果と同様に最大酸素摂取量の75~80%での運動中においては、全体のエネルギー消費に占める糖質の割合が90%以上になること<sup>15)</sup>、さらに、最大酸素摂取量の75~85%の運動を行うと筋肉グリコーゲンが約90分程度でほとんど消費されること<sup>16)</sup>が認められている。これらの報告と本研究の結果から、運動の強度および持続時間等を考慮すると、5区の走行終了時には、糖質からのエネルギー供給を高く維持できる限界域であったことが示唆される。

登りに関するエネルギー消費量と歩幅の関係は、有意な負の相関がみられ、逆に、エネルギー消費量と歩数では有意な正の相関が認められた。さらに、エネルギー消費量と走行時間の関係は、有意な正の相関がみられた。登り勾配を走行するためには、例えば、約13300歩(5名の平均歩数)が必要である。この平均歩幅は、約127cmとなる。これを走行時間の速いN. Tと遅いS. Yを比較すると、この平均歩幅はN. Tが141cmに対して、S. Yが109cmであった。この約30cmの差が登りの全歩数にすると、N. Tが約12000歩に対して、S. Y

が約15600歩と、3600歩の大きな差が生じてくる。走行中は、無駄なエネルギー消費を避けるような動作をすることが重要である。このように登り勾配における歩幅の長さや歩数の頻度がエネルギー代謝の効率、走行の経済性に影響を及ぼしていたものと推察される。この歩幅の長さや歩数の頻度が走行の経済性(走効率)に影響を与えること<sup>17, 18)</sup>が指摘されている。特に、歩幅に関しては、走行中に歩幅の長さが長いことがより速く走るのに有利であることやトレーニングによって歩幅の長さが長くなり、走行の経済性も改善されること<sup>19)</sup>が認められている。これらの報告を考慮して、本研究の結果は、登りでも走行時間の速いランナーほど歩幅が長く歩数が少なく、エネルギー消費量も少ないということが示唆される。さらに、走行の経済性に影響を与える要因として体重の軽重がある。すなわち、体重が重いランナーの方が走行の経済性が低くなること<sup>19, 20)</sup>が報告されている。しかし、本研究の体重59.0~64.3kgの範囲においては、登りに関するエネルギー消費量を体重1kg当たりで示すと、体重の重いランナーが必ずしも登りの走行で不利になるとは限らなかった。競技力の高いランナーほど短時間に強度の高い運動が繰り返されるが、逆に、競技力の低いランナーは、全体のエネルギー消費量が多いのは時間が長く走行の経済性が低いことが推察される。

本研究の箱根5区のコースをシミュレーションしたトレッドミル走は、酸素摂取量、呼吸交換比、糖質からのエネルギー消費量等からみると、エネルギー供給パターンが糖質に依存する程度が高くなっており、運動強度の高い激運動であったことが推察された。さらに、登りに関しては、競技力の高いランナーほど歩幅への依存性が高く、エネルギー消費量が少なく、走行の経済性が高いことが考えられた。

## V. ま と め

本研究では、新しく開発された走者応答型トレッドミルを用い、箱根駅伝5区のコースを実験室内でシミュレーションした際、走行時のエネルギー代謝がどのような変化を示すか検討した。特に、今回は、登り勾配における走行の経済性について重点を置いた。

その成績を示すと次のごとくである。

- 1) 走行速度は、4 kmまでが15~17km/hであったが、4 kmを過ぎるころから12~14km/hにやや低下傾向がみられた。しかし、この速度は、登りの後半まで維持されていた。下りでは、18~20km/hに走行速度が著明な増加がみられた。19.3kmからゴールまでは、16~20km/hの速度で走行した。各個人の走行時間は、N. T; 80分31秒、T. S; 85分26秒、A. S; 89分30秒、K. K; 92分26秒、S. Y; 95分53秒であった。
- 2) 50m毎の勾配と平均歩幅の関係は、有意な負の相関 ( $r = -0.695$ ,  $p < 0.01$ ) がみられ、勾配と平均歩数は有意な正の相関 ( $r = 0.646$ ,  $p < 0.01$ ) が認められた。
- 3) 走行中の平均酸素摂取量は、N. T;  $61.95 \pm 3.43$  ml/kg/min, T. S;  $62.55 \pm 4.96$  ml/kg/min, A. S;  $58.12 \pm 7.04$  ml/kg/min, K. K;  $60.74 \pm 4.45$  ml/kg/min, S. Y;  $56.35 \pm 3.60$  ml/kg/minであった。5名の平均値は、 $59.83 \pm 5.42$  ml/kg/minを示した。
- 4) 走行中の平均呼吸交換比は、N. T;  $0.99 \pm 0.04$ , T. S;  $0.97 \pm 0.05$ , A. S;  $1.01 \pm 0.04$ , K. K;  $0.94 \pm 0.04$ , S. Y  $1.01 \pm 0.03$ であった。5名の平均値は、 $0.99 \pm 0.05$ を示した。
- 5) 走行中の全エネルギー消費量は、5名の平均が  $1632 \pm 58$  kcalを示した。糖質および脂肪からの推定エネルギー消費量は、糖質が  $1502 \pm 120$  kcal、脂肪が  $130 \pm 96$  kcalとなった。
- 6) 登りに関する5名のエネルギー消費量

(kcal/kg) と平均歩幅の関係は、有意な負の相関 ( $r = -0.942$ ,  $p < 0.05$ ) がみられ、エネルギー消費量と平均歩数が有意な正の相関 ( $r = 0.918$ ,  $p < 0.05$ )、さらには、エネルギー消費量と走行時間は有意な正の相関 ( $r = 0.982$ ,  $p < 0.01$ ) がそれぞれ認められた。

以上、本研究の成績から、箱根駅伝5区のコースをシミュレーションしたトレッドミル走は、酸素摂取量、呼吸交換比、糖質からのエネルギー消費量等の変化からみると、エネルギー供給パターンが糖質に依存する程度が高くなっており、運動強度の高い激運動であったことが推察された。さらに、登り勾配に関して、競技力の高いランナーほど歩幅への依存性が高く、エネルギー消費量が少なく、走行の経済性が高いことが考えられた。

### 参考文献

- 1) 榎原義宏, 齋藤忠之, 山田行雄, 豊島広宣: 走者応答型トレッドミルの制御, 日本機械学会, 第9回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 189-190, 1997
- 2) 寺尾保, 中村豊, 恩田哲也, 有賀誠司, 齋藤勝: 走者応答型トレーニングシステムによる最大酸素摂取量の検討, 東海大学スポーツ医赤学雑誌, 10: 71-76, 1998
- 3) 岩垣丞恒, 寺尾保, 中村豊, 恩田哲也, 有賀誠司, 山村雅一, 馬場礼三, 新居利広, 中村一生, 佐藤大貴, 風見昌利: スポーツ医科学研究所プロジェクト研究報告, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 11: 79-90, 1999
- 4) 寺尾保: 走者応答型トレッドミルによる箱根駅伝5区のコースをシミュレーションした新しいトレーニングの検討: 1998年東海大学研究諸研究発表会予稿集: 4, 1998年
- 5) Elina, M., Livesey, G.: "Energy expenditure and fuel selection in biological systems: The theory and practice of calculations based on indirect calorimetry and tracer methods", World Rev. Nutr. Diet. Basel, Karger, 70: 68-131, 1992
- 6) 中野昭一, 竹宮隆編: 運動とエネルギーの科学, 杏林書院, 219-241, 1996
- 7) 大後栄治, 植田三夫, 石井哲次, 上條清美, 弘



- 卓三：LTを基にしたトレーニング計画の研究—神奈川県箱根駅伝参加選手の特性—，ランニング学研究，10：35-42，1999
- 8) 山地啓司：ランニングの経済性に影響をおよぼす要因，日本運動生理学雑誌，4（2）：81-98，1997
- 9) 山地啓司，奥井明子：中・長距離選手とクロスカントリースキー選手のランニングの経済性とその評価，ランニング学研究，9：1-8，1998
- 10) Costill, D. L., Thomason, H. and Robers, E.: Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports*, 5: 248-252, 1973
- 11) Daniels, J. T.: A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17: 332-338, 1985
- 12) 中野昭一，佐伯武頼，長尾陽子，寺尾保，内藤佳津子：栄養学総論—からだと栄養—，医歯薬出版，152-158，1991
- 13) マルガリア・ロドルフォ（金子公有訳）：身体運動のエネルギー，バースボールマガジン社，96-117，1978 (Margaria, R.: *Biomechanics and energetics of muscular exercise*, Oxford Univ. Press: England, 1976)
- 14) 名取礼二監修：健康・体力ハンドブック，その理論と指標，大修館書店，310-331，1983
- 15) Bergman, B. C., and George, A. B.: Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J. Appl. Physiol.*, 86 (2): 479-487, 1999
- 16) 中野昭一編：図説・運動・スポーツの功と罪，医歯薬出版，152-171，1997
- 17) 佐竹昌之，池上晴夫：長距離走におけるピッチとストライドの変化が走効率に及ぼす影響，体育学研究，30（3）：231-239，1985
- 18) Morgan, D. W., Martin, P. E., Baldini, F. D. and Krahenbuhl, G. S.: Effects of prolonged maximal run on running economy and running mechanics. *Med. Sci. Sports* 22: 834-840, 1990
- 19) Margaria, R., Cerretelli, P., Aghemo, P. and Sassi, G.: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.*, 18: 367-370, 1963
- 20) Hagan, R. D., Strathman, T., Strathman, L. and Gettman, L. R.: Oxygen uptake and energy expenditure during horizontal treadmill running. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 49: 571-575, 1980

---

# Exploring the Usefulness of Monitoring EEG Activity as a Means of Enhancing Athletic Performance

—Study of Technological Requirements for the Remote  
and Real Time Measurement of EEG Activity of Athletes—

Adarsh SANDHU (Department of Electrical Engineering)

Yoshiaki OTSUKA (Department of Electrical Engineering)

Kyoko HIKITA (Department of Electrical Engineering)

Akane OZAWA (Department of Electrical Engineering)

Yasuhiro SHIBUYA (Department of Electrical Engineering)

Suketsune IWAGAKI (Department of Exercise Physiology)

Tamotsu TERAO (Research Institute of Sports Medical Science)

Tetsuo SHIMIZU (School of Humanity and Culture, Course of Music)

---

## Abstract

The initial results of a study on the technological requirements for the remote and real time measurement of EEG activity of athletes are reported. A specially designed portable integrated circuit consisting of an differential amplifier, notch filter, analog to digital converter and a transmitter was used to record the very small fluctuations in potential difference (electroencephalographs, EEG) between three sensitive electrodes (one common and two measurement electrodes) attached to the forehead of a subject. The subjects were able to move freely during measurement without effecting the EEG signal measurement. The EEG signal was measured in real time and transmitted to a receiver connected to a remotely located lap top computer for storage and analysis. The hardware enabled the sampling of 120 data points per second and the frequency components of the EEG signal were separated by a fast Fourier transform (FFT). Further, a unique set of program routines were developed using Interactive Data Language (IDL) for analysis of the vast quantity of data obtained during each experiment. The practical application of this system for the remote and real time measurement of EEG signals was studied by carrying out experiments on (1) the effect of music on the excited state of the mind and (2) the measurement of EEG signals of a subject vigorously pedaling a bicycle. Both sets of experiments showed our hardware and analytical software to be promising for the remote and real-time measurement of EEG signals of both stationary and mobile subjects.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 28-35, 2000)

## 1. Introduction

There are increasing physical and physiological demands on athletes to improve their performance to successfully compete at an international level. The performance of athletes has been experimentally studied using methods such as monitoring cardiorespiratory function, time variation of red blood cell counts in long distance runners, and the effect of atmospheric pressure on the metabolic rate (see Tokai J. Sports Med. Sci. No.11, 1999 for an excellent selection of articles related to this field). The results of such investigations offer a valuable insight into the physical state of athletes and could be used for developing training programs to enhance their performance.

However, to our knowledge there have been no reports on the systematic study of the psychophysiological state of athletes during training, that is, investigations on exploring the usefulness of "brain waves" as a means of enhancing athletic performance. The monitoring of brain wave activity during training could be a valuable method for improving the performance of athletes by aiding them to (1) perfect individual techniques for improving concentration and warming-up before a competition and (2) for maintaining a stable state of mind during the actual event. Thus information about brain wave activity could be used a self-diagnostic tool for performance enhancement.

One reason for the lack of research on the brain waves of athletes is that conventional technology is designed to measure stationary subjects, quite often sitting or lying down. Brain activity of static subjects is usually measured by attaching sensitive electrodes to regions of the scalp and recording the very small voltages of electrical activity produced by the cerebral cortex of the brain. These

recordings are referred to as electroencephalography or EEG after the pioneering work of Berger<sup>1)</sup>. The EEG represents voltage plotted against time. The original cortical EEG signal is strongly attenuated as it passes through the leptomeninges, cerebro-spinal fluid, dura matter, bone, galea and scalp before reaching the electrodes. Corticographic discharges show amplitudes of 500-1500 microvolts and the scalp EEG are much less and lie between 10 and 100 microvolts. The raw EEG signal appears to be a continuous "noise" spectrum but if the frequencies are analyzed it can be seen that the signal is composed of the following frequency components and interpretations :

Delta range is between 0.1- 4 Hz Hz and is predominant in sleep.

Theta range is between 4-8 Hz and there is still controversy about the precise interpretation of this frequency band but it has been associated with drowsiness.

Alpha range is between 8-14 Hz and perhaps the most studied of all the bands. It is associated with a resting state and a lack of mental activity.

Beta range is between 14-40 Hz and most researchers interpret beta activity as indicating high levels of arousal and active cognitive processing.

However, the measurement and interpretation of EEG signals is non-trivial even in resting, stationary subjects and significant technological developments are required for EEG studies of moving subjects such as athletes.

In this paper we report on the development of technology for the remote and real time measurement EEG signals of both stationary and moving subjects. Initial results are very encouraging and show that our hardware and analytical software could be used by athletes as a self-diagnostic tool to assist with enhancement of their athletic performance.

## 2. Experimental

### 2.1 Electrodes

Measurements on stationary subjects were carried out using disposable EEG electrodes (NEC medical supplies 45345 Ag/Agcl). These electrodes were satisfactory for such subjects but they became loose and eventually detached in the case of moving subjects due to perspiration and vibration. A wide range of electrodes were studied and SEE103 Ag/Agcl EEG electrodes fixed to the forehead using surgical tape (Riba Tape Ltd) were found to function satisfactorily even after the subject ran for over one hour on a tread-mill.

### 2.2 Amplifier Design and EEG Signal Processing

A commercially available lightweight amplifier circuit<sup>3)</sup> was modified so as to be able to monitor EEG signals remotely up to distances of 500 meters. The EEG signal from the electrodes was amplified (by a factor of 30,000) using a differential amplifier and filtered by a notch filter to remove frequency components above 60 Hz. The resulting signal was then digitised at a sampling rate of 120 times per second and recorded by a laptop computer. The EEG signal could also be recorded on conventional magnetic tape if required.

### 2.3 Data Analysis and Visualisation

The digitised EEG signal was separated into its frequency components by a fast Fourier transform (FFT) and stored as an ASCII text data file. The FFT produces a power coefficient for each frequency band being studied. The Fourier power coefficients indicate the degree of brain activity in the overall EEG signal that is present at each fre-

quency level.

The FFT data in the form of an ASCII text file could be viewed in graphical form using standard software routines such as Microsoft Excel but there are severe limitations in the amount of information that can be gleaned by such methods. We decided to establish our own program routines for an in depth analysis of the vast amounts of EEG data. After an extensive survey of the software available we decided to use the Interactive Data Language (IDL) developed by Research System Inc., USA. The IDL is a very powerful array-oriented language that enables rapid visualisation of almost any form of data including ASCII, JPEG, GIF, BMP, and TIFF.

An example of the IDL program routines developed by us for this work is shown in fig. 1. The IDL resembles languages such as FORTRAN and C, but we found it to be much simpler to learn and use. The use of IDL programming enabled us to plot and analyze the FFT data with ease using a wide range of parameters.

### 2.4 Initial Experiments

The equipment used is shown in photograph 1.

We carried out two series of experiments to test the potential of the technology described above. In the first set of experiments, we examined the differences in EEG activity during the process of solving simple arithmetic problems and when listening to "relaxing" music (EXPT#1). The subjects were 100 students between the ages of 18 and 25 who were each asked to add lines of numbers, such as  $2 + 8$  or  $3 + 2$ , both before and after listening to the relaxing music. The experimental procedure was as follows :

- (a) solve simple arithmetic for 5 minutes
- (b) listen to music for 5 minutes
- (c) solve simple arithmetic for 5 minutes
- (d) lie still without music for 5 minutes

```

prog
pick file
types=instr(129)+3
names=sindex(129)
names[0]='time & names[1]='mdata
locations=sindex(129)*2 & locations[1:128]+1
groups=instr(129)+1 & groups[0]=0
file=dialog_pickfile()
data=read_ascii(file,template=template_1)
time_1=float(data,time)
mdata_1=float(data,mdata)
get axis mod
resulty=info[1] mod pp
resultx=info[2] mod pp
make bmatrix
elementy=(info[1]-resulty)/pp
elementx=(info[2]-resultx)/pp
bmatrix=liarr(elementy,elementx)
make axis matrix
yblaxis=liarr(elementy)
xblaxis=liarr(elementx)
plot contour (cell fill)
window,1,xsize=xs,ysize=ys
contour,mblmatrix,yaxsz,xaxsz,nlevels=29,cell_fill,background=255,color=0,$
xtitle='Frequency[Hz]',ytitle='Time[min]',ztitle='FFT Power'
plot surface
window,2,xsize=xs,ysize=ys
surface,mblmatrix,yaxsz,xaxsz,background=255,color=0,$
xtitle='Frequency[Hz]',ytitle='Time[min]',ztitle='FFT Power'
plot,image
window,4,xsize=xs,ysize=ys
image,mblmatrix,xscale=xaxsz,yscale=yaxsz,$
xtitle='Frequency[Hz]',ytitle='Time[min]'
end

```

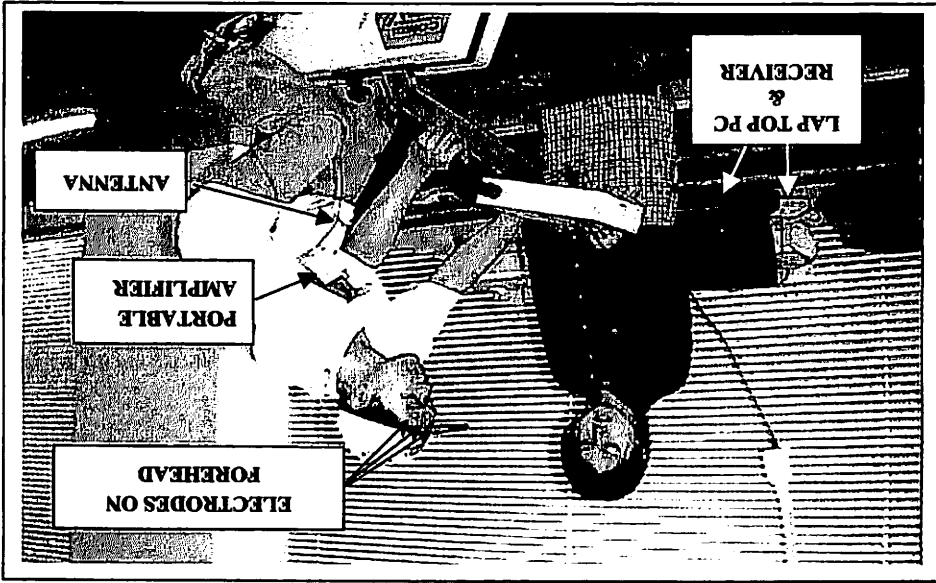
Fig. 1 Example of an IDL program routine

Fig. 2 (a)-(c) show a selection of typical graphical representations of the FFT-EEG data obtained using one of our IDL program routines for EXPT#1.

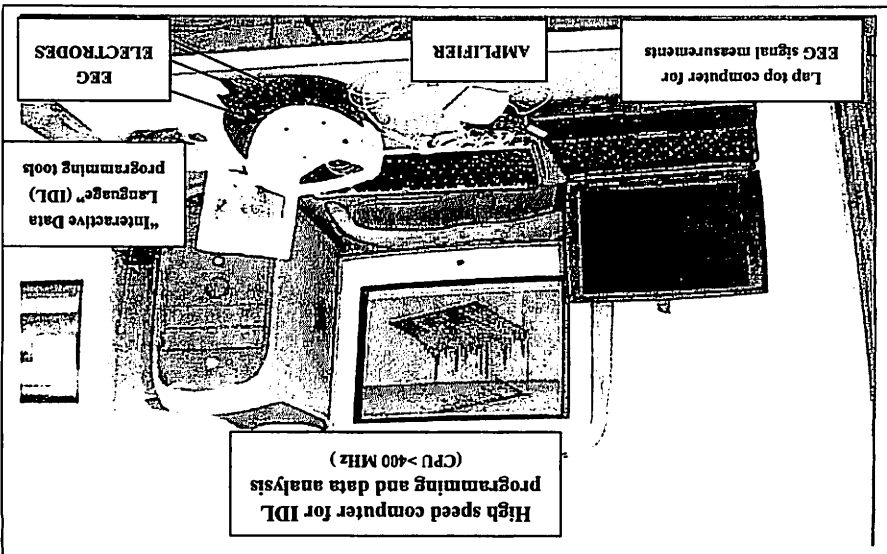
### 3. Results and Discussion

The EEG activity was monitored throughout this process and analyzed using our IDL program routines. The second experiment involved measuring a subjects EEG signal before, during and after pedaling an exercise bicycle (EXPT#2). The experimental set-up shown in photograph 2.

Photograph 2 EEG measurement of an active subject



Photograph 1 EEG signal measurement system



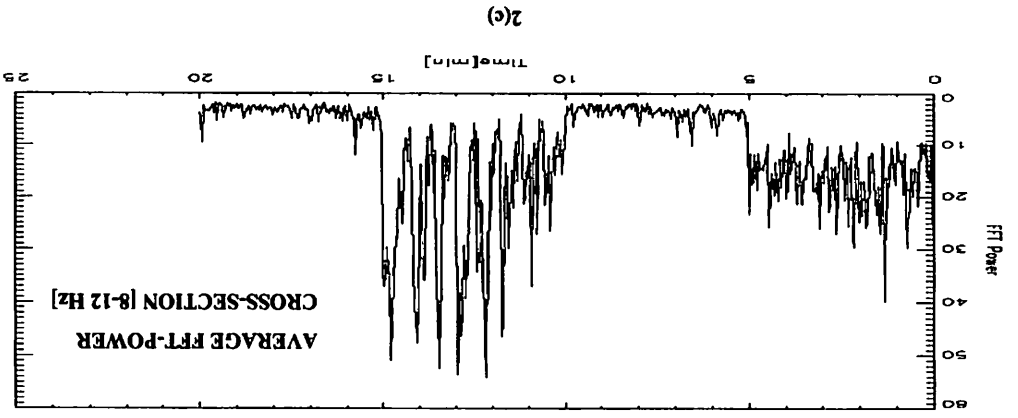
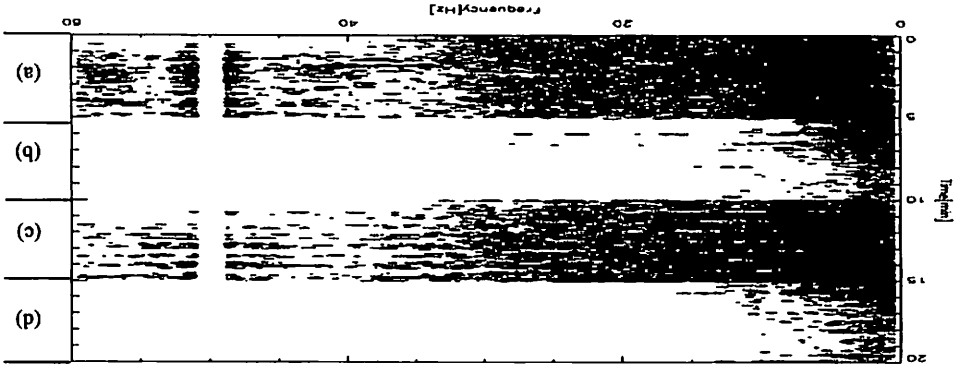
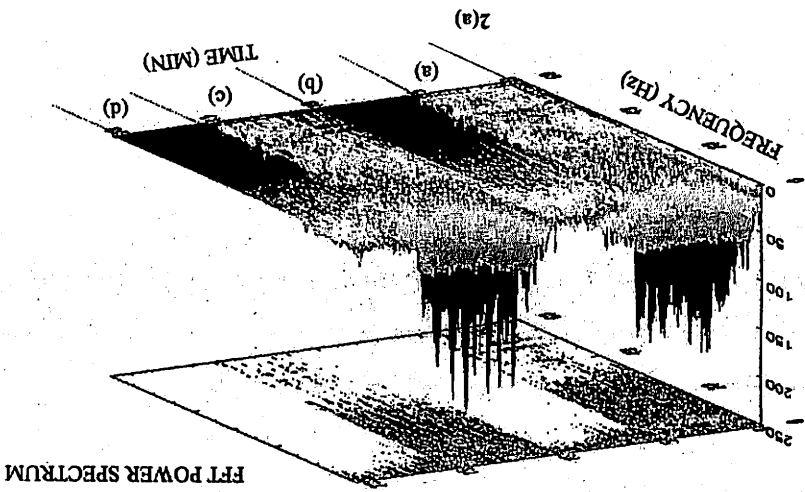


Fig. 2

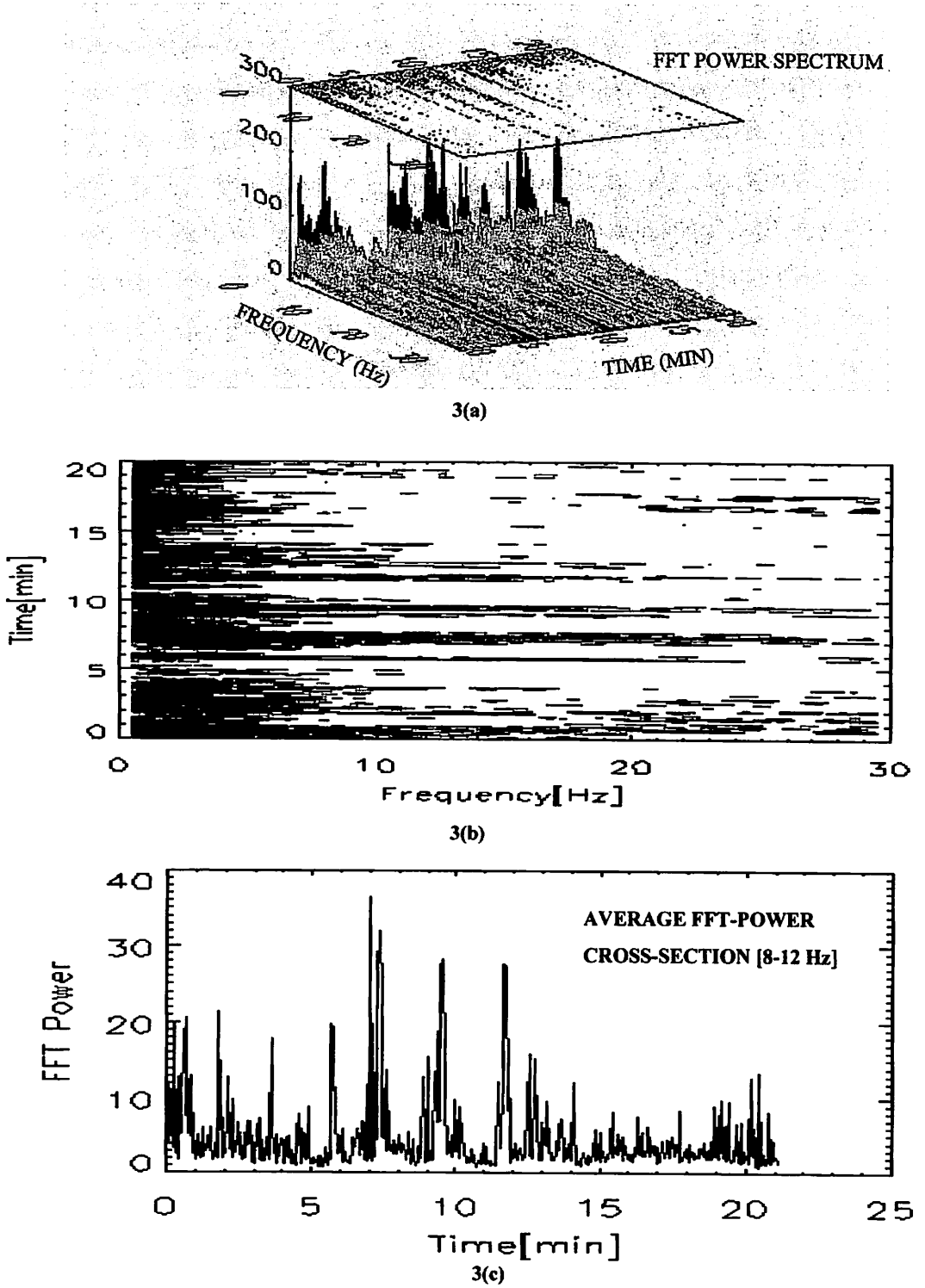


Fig. 3



Fig 2 (a) shows a 3 dimensional FFT power spectrum taken during the four procedures (a-d). A pronounced reduction in EEG activity is observed when listening to music. Figs. 1 (b) and 1 (c) show the 2 dimensional and average FFT power cross-section (averaged between 8-14 Hz) of the FFT-EEG data, respectively.

Figs 3 (a) (c) show the IDL graphical representation for EEG data measured for EXPT#2. A complicated set of waveforms can be seen with the large power spectrum amplitudes corresponding to intervals of intense pedaling of the bicycle.

The interpretation of these results will be reported in a separate paper.

#### 4 . Summary

We reported on the development of technology for the real time measurement of EEG activity of athletes. A specially designed portable integrated circuit consisting of an differential amplifier, notch filter, analog to digital converter and a transmitter was used to record the EEG signal between three sensitive electrodes. The EEG signal was measured in real time and transmitted to a receiver

connected to a remotely located lap top computer for storage and analysis. The subjects were able to move freely during measurement without effecting the EEG signal measurement. Further, we developed a unique set of program routines using Interactive Data Language (IDL) for data analysis. The practical application of this system for the remote and real time measurement of EEG signals was experimentally studied using stationary and mobile subjects. Our experiments showed the hardware and analytical software to be promising for the remote and real-time measurement of EEG signals of both stationary and mobile subjects.

#### Acknowledgements

The authors would like to thank Professor Shozo Okabe (Department of Electrical Engineering) and Mr. Akira Bakoshi (Chief, Sports Section) for their support and encouragement during this research.

#### References

- 1) Beck. H. Uber das Elektroenzephalogramm des Menschen: Arch. Psychiat. Nervenkr. 87, 527-570, 1929
- 2) Random Electronics Design Incorporated, Tokyo, Japan.

# 女子柔道選手の体重調整による 体組成の変化

恩田哲也 (スポーツ医科学研究所)      有賀誠司 (スポーツ医科学研究所)  
寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)      中村 豊 (スポーツ医科学研究所)  
宮崎誠司 (医学部整形外科)      白瀬英春 (体育学部武道学科)  
中西英敏 (体育学部武道学科)

The study on the body composition of women Judo players  
pre & post weight control

Tetsuya ONDA, Seiji ARUGA, Tamotsu TERAU, Yutaka NAKAMURA,  
Seiji MIYAZAKI, Hideharu SHIRASE and Hidetoshi NAKANISHI

## Abstract

In weight-categorized sports, weight loss and weight control have a significant influence on an athlete's competitiveness. This study will attempt to analyze the changes in body composition of athletes as a result of weight loss for such sports.

Four female university judo club members were used as the subjects for this research. The following measurements using the Hologic QDR-4500 were taken before and after weight control: body weight, body fat percentage, body fat volume (Head, L-arm, R-arm, Trunk, L-leg, R-leg, Totals), and bone mineral density (BMD).

The results showed were as follows. An average weight loss of 4.2kg ( $\pm 1.1$ ) was recorded. This was 6.7% of the body weight before weight control began. An average reduction of 3.6 percent ( $\pm 1.8$ ) was observed for body fat percentage. Weight reduction of 72.9% was as a result of reduced body fat. Sectional changes in fat volume showed there was a definite reduction in all parts of the body except the head region, (head and face), with the trunk showing the greatest reduction. Subjects had a BMD value that was above average both before and after weight control; this value increased after the weight control had been completed. From these measurements, it can be assumed that fat volume reduction was most apparent in the trunk, and there was no significant influence in BMD through reduction of overall body weight. (Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 36-41, 2000)

## I. 序 論

体重区分のある運動競技では、その競技選手は  
体重区分内で、最も良い身体コンディションを作

らなくてはならない。体重調整を必要とする選手  
にとっては、試合前の一つの大きな戦いであると  
言ってもよいであろう。通常、その体重調整とし  
ては、体脂肪量を減らし、除脂肪体重の減少を出  
来るだけ抑えることが望ましい。しかしながら、  
一概に体脂肪量と言っても、身体の部位によって

その量も異なり、競技特性といったものにも関係すると思われる。Despres<sup>1)</sup>らは運動での脂肪量の減少は、男性は腹部の脂肪が他の部位に対して大きく減るのに対し、女性の場合、身体全体からなり部位での差は大きくなかったと述べている。Krotkiewski<sup>2)</sup>、Shimokata<sup>3)</sup>らも同様の報告をしている。また、体重調整により骨密度にも何らかの影響があると思われる。特に、運動競技者においては、栄養面のみならず、その競技種目や競技種目のためのトレーニングにおける荷重負荷の特性といった影響もあるであろう。そこで今回は大学女子柔道部員を対象として、体重調整前と体重調整後の二回、体重・体脂肪量・骨密度を計測し、減量における体組成の変化の把握を目的とし、今後運動競技力向上の発展に結びつけるものである。

## II. 方 法

対象は東海大学女子柔道部員4名(年齢19.3歳±1.5、身長157.0cm±3.6)であった。測定時期においては、試合から前後3週間以上期間のある1999年3月30日の14時から16時(体重調整前)と全日本女子選抜柔道体重別大会関東予選の前日となる1999年9月22日14時から16時(体重調整後)に2度測定を行った。測定項目及び部位については、体重、体脂肪率、体脂肪量(Head, L-arm, R-arm, Trunk, L-leg, R-leg, Totals)、骨密度(BMD)を測定した。測定方法はHologic社製、QDR-4500Aを用い二重エネルギーX線吸収法(DXA法)で計測し、体重調整前後の比較に対しては、Tテストを用い5%水準で、その差の有無を判定した。

## III. 結 果

体重(表1)は平均で4.2kg(±1.1)の減量が行われ、この値は体重調整前の体重の約6.7%と

なる。最も大きく減少した被験者は、今回最も体重の重かった被験者Dで5.4kgの減量がみられ、割合的にも被験者Bとならんで体重調整前の体重に対して7.4%の減量認められた。最小は最も体重の軽い被験者Aで2.8kg、5.5%の減量であった。身体全体における体脂肪率(表2)では、平均3.6%(±1.8)の減少がみられた。最も大きく減少したのは被験者Bの5.5%であり、逆に最も少なかったのは、最も体重の重かった被験者Dの1.7%であった。

体脂肪量の変化を部位別にみみると、Head(表3)における脂肪量の減量の平均は、20.8g(±19.4)、2.4%とすべての部位の中で最も少ない。最高は被験者Cの40.2g(4.2%)であり、次いで

表1 体重の変移(kg)

Table 1 The body weight of the pre & post weight control

	Mar-99	Sep-99	差
A	50.8	48.0	2.8
B	59.5	55.1	4.4
C	66.6	62.5	4.2
D	73.2	67.8	5.4
平均	62.5	58.3	4.2
S.D	9.6	8.6	1.1

表2 体脂肪率の変移(%)

Table 2 The body fat % of the pre & post control

	Mar-99	Sep-99	差
A	20.5	18.1	2.4
B	23	17.5	5.5
C	22.7	17.9	4.8
D	24.3	22.6	1.7
平均	22.6	19.9	3.6
S.D	1.6	2.4	1.8

表3 Headの体脂肪量(g)

Table 3 The amount of fat at the Head (g)

Mar-99	Sep-99	差	減量の割合
786	784	2.0	0.3%
789.3	783	6.3	0.8%
958.6	918.4	40.2	4.2%
946	911.4	34.6	3.7%
870.0	849.2	20.8	2.4%
95.2	75.9	19.4	2.0%

表4 Armsの体脂肪量 (g)

Table 4 The amount of fat at the arms (g)

	L-arm				R-arm			
	Mar-99	Sep-99	差	減量の割合	Mar-99	Sep-99	差	減量の割合
A	864	689.2	174.8	20.2%	793.9	699.7	94.2	11.9%
B	1002.9	663.9	339	33.8%	1002.3	701.7	300.6	30.0%
C	966.4	754.9	211.5	21.9%	984.4	751.2	233.2	23.7%
D	1255.8	1097.5	158.3	12.6%	1355.5	1112.2	243.3	17.9%
平均	1022.3	801.4	220.9	21.6%	1034.0	816.2	217.8	21.1%
S.D	166.4	201.1	81.8	8.8%	234.1	198.8	87.6	7.8%

表6 Legsの体脂肪量 (g)

Table 6 The amount of fat at the Legs (g)

	L-leg				R-leg			
	Mar-99	Sep-99	差	減量の割合	Mar-99	Sep-99	差	減量の割合
A	2090.9	1894.5	196.4	9.4%	2364.6	1987.9	376.7	15.9%
B	2553.4	1777	776.4	30.4%	2592.2	1951.3	640.9	24.7%
C	3265.3	2385.3	880	27.0%	3305.3	2493.5	811.8	24.6%
D	3775.9	3349.2	426.7	11.3%	3921.7	3298.6	623.1	15.9%
平均	2921.4	2351.5	569.9	19.5%	3046.0	2432.8	613.1	20.1%
S.D	746.9	715.4	315.6	10.7%	708.1	628.0	179.1	5.0%

最も重たい被験者Dの34.6g (3.7%) と軽い二人が1%に満たないのと対照的である。最も少ない減量は被験者Aの2.0g (0.3%) であった。

L-arm (表4) においては、平均で220.9g (±81.8) の減量がみられた。割合としては体重調整前より21.6%が減少したことになる。最大は被験者Bで、339.0g (33.8%) の減少がみられ、最小は被験者Dの158.3g (12.6%) であった。

R-arm (表4) では、平均217.8g (±87.6)、割合では21.1%の減少がみられた。最高はL-arm 同様に被験者Bで300.0g (30.0%) の減量で、逆に最も少なかったのは、体重の最も軽い被験者Aで94.2g (11.9%) であり、この被験者に関しては、左右の上肢における減少量の差が最も大きな割合となっている。

Trunk (表5) では今回測定した部位の中で、最も脂肪量が体重調整前後及び減少量において多かった。平均減量は、1383.0g (±553.4) で25.9%の割合であった。最も大きく減ったのは被験者Bの1933.8 (33.9%) であり、被験者Cにおいても30%の減少がTrunkではみられた。量的に最

表5 Trunkの体脂肪量 (g)

Table 5 The amount of fat at the Trunk (g)

	Mar-99	Sep-99	差	減量の場合
A	3498.5	2644.5	854.0	24.4%
B	5709.9	3776.1	1933.8	33.9%
C	5654.6	3873.1	1781.5	31.5%
D	6520.7	5557.9	962.8	14.8%
平均	5345.9	3962.9	1383.0	25.9%
S.D	1293.7	1200.7	553.4	8.6%

も減量が少なかったのは被験者A (854.0g、24.4%) であるが、その割合では被験者D (962.8g、14.8%) であった。

L-leg (表6) の平均減量と減少の割合は、平均569.9g (±315.6)、19.5%と唯一Headを除いた測定部位で10%代となっている。最高は量的には被験者Cの880g (27.0%) であったが、減量の割合では被験者Bの776.4g (30.4%) となった。被験者Bは体重調整後L-legの脂肪量が被験者4人中最も少なくなっている。最も少ない減少は量、割合において体重の最も軽い被験者Aの196.4g、9.4%であった。

R-leg (表 6) においては、平均で613.1g (± 179.1) の減量がみられ、体重調整前より20.1%の減少がみられた。最大は被験者Bの640.9g (24.7%) の減量に対し、最小は被験者Aの376.7g (15.9%) であった。

骨密度 (表 7) は、体重調整前後ともに平均で1.2gms/cm<sup>2</sup>を超えた高い値を示した。又、平均では僅かではあるが0.02gms/cm<sup>2</sup> (± 19.4) の増加がみられた。最も大きな値を示したのは体重調整前後とも、体重の一番軽い被験者Aで体重調整前が1.247gms/cm<sup>2</sup>、体重調整後が1.278gms/cm<sup>2</sup>であり、その変化量も0.03gms/cm<sup>2</sup> (2.48%) と最大であった。逆に、最も小さかった値を示したのは、体重調整前後とも被験者B (前1.151gms/cm<sup>2</sup>、後1.167gms/cm<sup>2</sup>) であったものの、増加量におい

ては被験者Cが0.01gms/cm<sup>2</sup> (1.06%) で最小であった。

以上において体重調整前・後における差 (図 1) は、体重・体脂肪率・骨密度・Headを除くすべての部位で有意な差が認められた。

#### IV. 考 察

今回の測定において、体重では平均で62.5kgが58.3kgと体重調整前後で4.2kgの減量がされ、体脂肪率においては、体重調整前22.6%あったものが19.0%に減少している。又、今回の体重調整による減量における脂肪量の割合は70%を越えるものであった。アトランタオリンピックの代表選手 (重量級を除く)<sup>1)</sup> の通常の体脂肪率が約19%であることを考慮すると、今回の被験者は体重調整前の体組成において、余分な脂肪が多く付着しており、体重調整後においてはそれらの脂肪の減量により、試合に向けてよりよい身体組成に近づいたと考えられるが、普段からのコンディショニングにおいての、自己管理、栄養面への認識といったものの影響で、このように一流選手との差が生じ、結果的に競技レベルとしての違いになっているの

表 7 骨密度の変移 (gms/cm<sup>2</sup>)  
Table 7 BMD of the pre & post weight control

	Mar-99	Sep-99	差
A	1.247	1.278	-0.031
B	1.151	1.167	-0.016
C	1.224	1.237	-0.013
D	1.215	1.234	-0.019
平均	1.209	1.229	-0.020
S.D	0.0	0.0	0.0

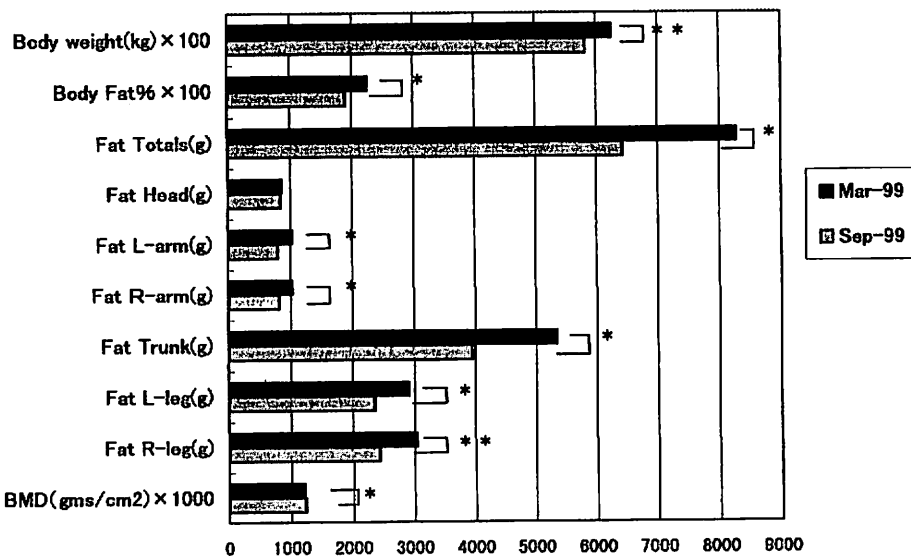


図 1 体重調整前後における体組成の変化  
Fig. 1 The body composition pre & post weight control

かもしれない。実際にアトランタオリンピック女子代表選手の平均年齢は21.2歳<sup>1)</sup>で代表選手7名のうち大学生も3名含まれていた。

身体部位別の脂肪量の変化については、Headでは体重調整前、減量幅で他の部位と比較して最もその量が少ない。減少幅においては平均で僅か2.4%でしかない。最も脂肪が着きにくく、逆に脂肪が減りにくい部位であり、体重調整においても最も影響を受けにくい身体的箇所と考えることが出来る。

上肢におけるL-armでは、体重調整前後より220.9g、20.6%の減少がみられ、R-armでは217.8g、21.1%と同じ程度の減少であった。各部位における脂肪減少率でもL-armとR-armでは差がみられなかった (P=0.69)。柔道の場合、右組・左組と組み方があり、利き腕が異なりその役目も違う。今回の被験者の内、右組み手が1名、左組み手が3名であったが、右組の被験者はR-armの脂肪の減少量が233.2g、23.7% (L-arm: 211.5g、21.9%) L-armよりも多く、反対に左組み手の被験者の3名の内2名がL-armの減少量が多いものの、今回の測定では、体重調整における脂肪量の変化におけるその差は明確には現れなかった。

Trunkでは、今回の測定における6カ所の部位の中で、最も脂肪の蓄積量が多く、体重調整により減少した量においてもその割合は25%以上で他の部位よりも大きい。男性では体重の変動により主に、腹部の脂肪量が減るが、女性ではその傾向は少なく身体全体で減少すると言われていたが<sup>1) 2) 3)</sup>、今回の測定では、そのような傾向はなく、むしろ男性的な傾向が現れた。成人の女性の体脂肪率が平均約25%<sup>6)</sup>であることを考慮すると、体脂肪量は体重調整前においても少なく、通常に男性が女性より脂肪量が少なく筋肉量が多いことを考えると、一般女性よりも脂肪量が少なく筋肉の発達が大きい女子の運動競技選手では、体重調整においては、男性的な減少の仕方をするのかもしれない。

下肢におけるL-legでは、体重調整前より、平

均で569.9g、19.5%の減少がみられ、R-legでは613.1g、20.1%となっている。先にも述べたが、柔道は組み手や得意技により、左右の上下肢の役割が異なるものの、今回の測定ではその差は現れなかった (P=0.592)。1978年にNoland<sup>7)</sup>らが、特定部位だけの運動と全身運動を行わせても、その特定部位における体組成の変化に差はないと言う報告と同様な結果を示している。

骨密度に関しては、平均で1.2g/cm<sup>2</sup>と高く、この値は体重調整後においても殆ど変わらなかった。骨密度は除脂肪体重と相関がある<sup>8)</sup>と言われていたが、今回は除脂肪体重と相関を求めると、除脂肪体重が多いほど骨密度が低くなる負の相関 (r = -0.89) を示した。これは、骨密度に影響を与えるものとして、普段摂取する栄養の他に運動<sup>9) 10)</sup>があげられているが、今回の被験者の様に、日々トレーニングを行っている競技選手においては、運動の形体、質、頻度、といったものによる影響が骨密度を決定する大きな因子となっていることが再確認された。

今回の測定により、体重区分のある女子運動選手では減量により、体脂肪量は体幹を中心として減り、これは女性より筋肉量が多く、脂肪量が少ない男性の体組成の変動と似ており、骨密度においては、今回の女子柔道選手の場合、体重調整での影響は受けていないといえる。

## V. ま と め

本研究は、減量における体組成の変化の把握を目的とし、体重調整を必要とする大学女子柔道部員4名における、体重調整前後での体重、体脂肪率、部位別脂肪量、骨密度をHologic社製 QDR-4500Aを用い測定をした。その結果以下の点が明らかになった。

- 1) 体重は平均で4.2kgの減量がされ、体脂肪率においては3.6%の減少がみられた。今回の体重調整では70%以上が脂肪量の減少であった。

- 2) 身体部位別で、体重調整前後において脂肪量が最も多かったのはTrunk（体幹部）であり、逆に最も少なかった部位は、体重調整前ではHead（頭部、顔面部）であったが、体重調整後においては、L&R-arm（左右上肢）それぞれがHeadの量より少なくなった。
  - 3) 身体部位別における体重調整前後の脂肪量の変化を比較して、最も多く減ったのはTrunk（体幹部）で、体重調整前の25%以上の減少であった。逆に、最も減少が少なかったのはHead（頭部、顔面部）であり僅か2.4%ほどであった。
  - 4) 骨密度においては、体重調整前後において平均で $1.2\text{g}/\text{cm}^2$ と高く、又その変化においては体重、体脂肪量とは反対に、体重調整後の値が僅かではあるが、すべての被験者で高くなった。
- 2) Krotkiewski M & Bjorntorp P: Muscle tissue obesity with different distribution of adipose tissue. Effect of physical training. *Int J Obesity*; 10: 331 - 341. 1986.
  - 3) Shimosaka H, Andres R, Coon PJ: Studies in the distribution of body fat II, longitudinal effects of change in weight. *Int J Obesity*; 13: 455-64. 1989.
  - 4) (財)日本オリンピック委員会 強化本部；第26回オリンピック競技会日本代表選手体力測定報告書, 1997.
  - 5) 中野昭一 編：図説・運動の仕組みと応用, (株)医師薬出版, 249, 1987.
  - 6) Noland M & Kearney JT: Anthropometric and densitometric response of women to specific and general exercise. *Res Quarterly*. 49. 322-8. 1978.
  - 7) 小沢治夫, 福永哲夫, 船渡和男, 阿部孝, 田中康博：ボディービルダーの骨密度と筋パワー, *体力科学*42-6, 596, 1993.
  - 8) 林泰史：骨粗鬆症における運動の意義と実際, *臨床スポーツ医学*, Vol.16, No. 6, 665 - 671, 1999.
  - 9) 呉 堅, 北村実穂子：スポーツ選手の骨密度とウエイトコントロール, *体育の科学*, Vol.49, 919 -24, 1999.

参考文献

- 1) Despres J P, Tremblay A, Nadeau A, Bouchard C: Physical training and change in regional adipose tissue distribution. *Acta Med Scand*; 723. 205-212. 1988.

# 大学女子バレーボール選手における ウェイトトレーニングの長期的実施に 伴う形態及び体力の変化

有賀誠司 (スポーツ医科学研究所)

成田明彦 (体育学部体育学科)

積山和明 (体育学部体育学科)

湯浅康弘 (スポーツ教育センター)

生方 謙 (体育学部非常勤講師)

恩田哲也 (スポーツ医科学研究所)

中村 豊 (スポーツ医科学研究所)

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)

## Effects of Long-term Strength Training Program in Collegiate Woman Volleyball Players

Seiji ARUGA, Akihiko NARITA,  
Kazuaki TSUMIYAMA, Yasuhiro YUASA,  
Ken UBUKATA, Tetsuya ONDA,  
Yutaka NAKAMURA and Tamotsu TERAO

### Abstract

The purpose of this study was to formulate guidelines for an appropriate weight training program for collegiate volleyball players in Japan. The participants were eleven collegiate woman volleyball players who had no experience in weight training. The program was conducted for 25 months. The changes in body composition and physical strength during the term of 25 months were examined.

The main results were as follows:

- 1) In the body composition, an effective gain of lean body mass during the term was not observed, but a significant decrease of percent fat was seen.
- 2) In the case of 1RM/body weight, bench press, squat, and power clean, which are the guidelines of muscular strength, were examined, and the results show that all of the above contributed to a tendency of gradually increasing 1RM/body weight during the program.
- 3) The measurement value of the vertical jump, which is the guideline of jumping ability, showed the greatest increase during the term of the competition. It reached the maximum value after a decrease in the value during the off-season. On the other hand, in the study of the running vertical jump, there was no successful change in the measurement value from the first to the fourth. However, an increase was found in the fifth.
- 4) The measurement value of side step, which is the guideline of agility, showed a change similar to the value of the vertical jump. The results show that after a significant increase was found in the third, a tendency to decrease was once recorded in the fourth, and the value reached its maximum in the fifth.



This examination suggests that a long-term planned weight training program is effective for improving the body composition of collegiate volleyball players and their general physical strength. In addition, the measurement value of the vertical jump and side step, which can be considered as highly specific athletic abilities for volleyball, decreased during the off-season, and tended to increase during the term of a tournament. Therefore, the results suggest that a program that changes the load and frequency of weight training at every fixed term is effective. Meanwhile, the results also showed that the increase of the measurement value of the running vertical jump took more time than the one of the vertical jump. This finding implied that a higher skill level and superior effective neuromuscular function are demanded. (Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 42-53, 2000)

## I. 緒 言

近年、ウエイトトレーニングは、バレーボール選手の競技力向上のために欠かすことができないトレーニング手段として認知されるようになってきている。特に、米国の大学バレーボールチームにおいては、競技特性や試合シーズンを考慮して、計画的に期分けされたウエイトトレーニングプログラムが実践されており、体力の改善や、バレーボールのパフォーマンスに対して効果的であったことが報告されている<sup>1) 2) 3)</sup>。また、バレーボールの練習や試合においては、ジャンプからの着地や急激な方向転換等、下肢への衝撃力が強いプレーが頻繁に見られ、これらが要因となって発生する傷害が多い傾向にある<sup>4) 5) 6)</sup>。このため、バレーボール選手には、傷害予防を目的とした下肢筋群の筋力強化や、計画的トレーニングによるオーバーワークの予防も必要であると考えられる。

一方、日本におけるバレーボール選手のウエイトトレーニングの実践例については、近年になって報告されるようになってきたが<sup>7) 8)</sup>、ウエイトトレーニングの長期的な効果やパフォーマンスとの関連について言及されたものは見当たらない。また、日本の大学バレーボールチームにおいては、多人数が同時にウエイトトレーニングを実施できる施設や器具が整備されていないこと、ウエイトトレーニング指導の専門家が少ないことなどの諸事情から、チーム単位で年間を通じて計画的なウエイトトレーニングプログラムを実践している例は非常に少ないのが実状である。さらに、日本の大学バレーボール競技の試合シーズンは、米国と

比較すると長期的かつ分散的に計画されており、米国で効果を上げているウエイトトレーニングプログラムをそのまま導入することは困難であると考えられる。

そこで、本研究では、国内の大学一流女子バレーボールチームを対象とし、競技特性や選手の体力水準、試合シーズンを考慮したウエイトトレーニングプログラムを長期間にわたって実施させ、その期間の形態及び体力測定値の変化について検討することにより、日本の大学バレーボール競技に適合したトレーニングプログラムの作成や指導のための指針を得ることを目的とした。

## II. 方 法

### 1. 対象

本研究の対象は、関東大学女子一部リーグに所属し、1998年の全日本大学選手権にて優勝した実績を持つ、大学女子バレーボールチームの選手11名(身長; 170.6±3.5cm)であった。対象となった選手の学年は、トレーニングプログラム開始時(1996年10月)において、1年生6名、2年生5名であり、1996年10月以前はチームにおいてウエイトトレーニングを実施していなかった。

### 2. ウエイトトレーニングのプログラム

対象となった選手には、1996年10月から1998年10月までの25ヶ月間にわたり、競技特性や試合シーズンを考慮して作成されたウエイトトレーニングプログラムを継続的に実施させた。ウエイトトレーニングプログラムの作成やその実施にあたっては、バレーボールの競技特性とプログラム開始時

の形態及び体力測定値の水準を配慮した。また、プログラムの期分けや、各トレーニング期の条件設定にあたっては、O'Bryant<sup>31)</sup>が1982年に提唱したトレーニングの量と強度の調整に関する概念や、Bompa<sup>10) 11)</sup>、Schoitsら<sup>12)</sup>、Willoughby<sup>13)</sup>、Kraemer<sup>14)</sup>の先行研究による知見を考慮した。

に基づいて作成した。

ウェイトトレーニングプログラムは、3時間程度のバレーボールの技術練習終了後、約15分の休息を取ってから、専門指導者による十分な管理の下で実施した。なお、トレーニング時に選手の主観的疲労が過度に認められた場合には、トレーニングの量及び質を適宜軽減又は調整し、オーバートレーニングの防止に留意した。各期のトレーニング内容は、以下の通りである。

### 1) トレーニング目標

25ヶ月間のウェイトトレーニングプログラムの重点目標は、①ウェイトトレーニングの主要3種目(パワークリーン、スクワット、ベンチプレス)の最大挙上重量の向上、②ジャンプ能力の指標となる、垂直跳びとランニングジャンプの跳躍高の向上、③敏捷性の指標となる反復横跳び測定値の向上の3項目とした。

### (1) 第1期のトレーニングプログラム

秋期の試合シーズン終了後の10月下旬から12月までの10週間の期間を第1期とし、ウェイトトレーニングの基本エクササイズ(パワークリーン、スクワット、ベンチプレス)の正しいフォームの習得や筋肥大を主目的として、2分割のプログラムを1回当たり約1時間、週3回実施した(表2)。このプログラムにおいては、主に8~12RMの重量を用い、各セットともオールアウトまで反復を行わせ、セット間の休息時間は1分とした。また、補助者によって安全が確保できる種目については、オールアウトまで反復を行った後に、補助者の最小限の力を借りてさらに2回反復するフォーストレプス法を採用した。

### 2) トレーニングプログラムの内容

表1に、1996年10月より1998年10月までの25ヶ月間にわたるウェイトトレーニングプログラムの概要を示した。年間のウェイトトレーニングプログラムは、4月上旬から7月上旬頃にかけての春期の試合シーズンと、9月上旬から11月下旬頃にかけての秋期の試合シーズンを考慮して、1年間を6つの期間に分割し、それぞれの期の重点目標

表1 ウェイトトレーニングの長期計画  
Table 1 Periodization of weight training

月	1996.10				11				12				1997.1				2				3				4				5				6				7				8				9				10																																
週番号	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43																									
試合																																																																																	
形態・体力測定	○													○																																																																			
トレーニング期	1年目第1期				1年目第2期				1年目第3期				1年目第4期				1年目第5期				1年目第6期																																																												
ウェイトトレーニングの内容	フォームの習得、筋肥大 8~12RM 最大反復 週3回				最大筋力養成 1~5RM ピラミッド法 週3回				パワー養成 1~5RMを用いる高負荷の日と低負荷による回復的動作によるトレーニングの日を交互に週3回実施				筋力・パワーの維持 3~8RM 週2回				パワー養成 1~5RMを用いる高負荷の日と50%1RMによる回復的動作によるトレーニングの日を交互に週3回実施				筋力・パワーの維持 3~8RM 週2回																																																												

月	11				12				1998.1				2				3				4				5				6				7				8				9				10																																
週番号	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43																									
試合																																																																													
形態・体力測定														○																																																															
トレーニング期	1年目第6期				2年目第1期				2年目第2期				2年目第3期				2年目第4期				2年目第5期				2年目第6期																																																				
ウェイトトレーニングの内容	筋力・パワーの維持 3~8RM 週2回				フォームの修正、筋肥大 8~12RM 最大反復 週3回				最大筋力養成 1~5RM ピラミッド法 週3回				パワー養成 1~5RMを用いる高負荷の日と50%1RMによる回復的動作によるトレーニングの日を交互に週3回実施				筋力・パワーの維持 3~8RM 週2回				パワー養成 1~5RMを用いる高負荷の日と50%1RMによる回復的動作によるトレーニングの日を交互に週3回実施				筋力・パワーの維持 3~8RM 週2回																																																				

(2) 第2期のトレーニングプログラム

1月上旬から2月下旬までの8週間を第2期とし、基本エクササイズの最大挙上重量の向上を主目的として、2分割のプログラムを週3回実施した(表3)。

最大挙上重量の向上を目的とした基本エクササイズについては、セットごとに使用重量を増加させ、回数を減少させるピラミッド法を採用し、最大1~3RM(90~100%1RM)の重量を使用した。なお、セット間の休息時間は2~3分と規定した。

(3) 第3期のトレーニングプログラム

3月中の4週間を第3期とし、パワーの養成を主目的としたプログラムを実施した。基本エクササイズについては、1~3RMの高負荷を使用するコースと、30~50%1RMの負荷を使用して爆

発的に最大スピードでトレーニング動作を行うコースを設定し、それぞれのコースを交互に週3回実施した(表4)。なお、この期間においては、ウエイトトレーニングを実施する直前に、バレーボールの動作に関連した動きを伴うジャンプエクササイズ、又はメディシンボールエクササイズを導入し、1回のトレーニング当たり4種目、それぞれについて10回2~3セットずつ実施した。

(4) 第4期のトレーニングプログラム

春期の試合シーズンである4月上旬から6月下旬までの12週間を第4期とし、筋力及びパワーの維持を主目的としたプログラムを実施した(表5)。基本エクササイズについては、3~8RMの負荷を用いて、試合間の疲労回復や体調の調整に配慮しながら、週2回のトレーニングを実施した。

表2 第1期のウエイトトレーニングプログラム  
Table 2 Weight training program at the first period

Aコース		Bコース	
種目	条件	種目	条件
パワークリーン	50~60%1RM×12回×3セット	ベンチプレス	8~10RM×最大反復×4セット
スクワット	12RM×10回×4セット	ダンベルフライ	10RM×10回×2セット
レッグプレス	8RM×最大反復×3セット	けんすい	5~8回×2セット
レッグエクステンション	10RM×最大反復×3セット	ラットプルダウン	10RM×最大反復×2セット
レッグカール	10RM×最大反復×3セット	ダンベルロウ	10RM×10回×左右2セット
カーフレイズ	15RM×15回×2セット	ショルダープレス	10RM×10回×3セット
トランクカール	12回×3セット	サイドレイズ	10RM×最大反復×3セット
バックエクステンション	8~10kg×12回×3セット	アームカール	10RM×10回×3セット
※AコースとBコースを交互に週3回実施		ブルオーバー	12RM×10回×3セット
		リストカール、リハ-リストカール	各15回×2セット

表3 第2期のウエイトトレーニングプログラム  
Table 3 Weight training program at the second period

Aコース		Bコース	
種目	条件	種目	条件
メディシンボールエクササイズ		ジャンプエクササイズ	
①フェストパス	12回×2セット	①ラテラルジャンプ	ミニト-ル3台×10回×2セット
②オーバ-ヘッドスロー	12回×2セット	②180度ジャンプ	10回×2セット
③サイドスロー(膝立姿勢)	10回×左右2セット	③ハードルホップス	60~80cm×5台×4セット
④シットアップスロー	10回×2セット	④ラテラルボックスジャンプ	30cm台×10回×2セット
パワークリーン	①60%×8回 ②75%×3回 ③90%×2回 ④80%×5回×2セット	ベンチプレス	①60%×8 ②70%×5 ③80%×2 ④90%×3 ⑤80%×5×2 ⑥70%×10
スクワット	①60%×8回 ②70%×3回 ③90%×2回 ④80%×5回×2 ⑤70%×7回	チンニング	5~8回×2セット
サイドランジ	20~45kg×12回×2セット	ラットプルダウン	8RM×8回×2セット
レッグカール	10RM×10回×2セット	シーティッドロウ	8RM×8回×2セット
グライディングシットアップ	5~10kg×10回×左右2セット	ショルダープレス	8RM×8回×3セット
クランチ	12回×3セット	サイドレイズ	10RM×10回×3セット
バックエクステンション	8~10kg×12回×2セット	ブルオーバー&エクステンション	10RM×10回×3セット
※AコースとBコースを交互に週3回実施		バーベルカール	10RM×10回×3セット
		リストカール、リハ-リストカール	各15RM×15回×2セット

(5) 第5期のトレーニングプログラム

春期の試合シーズン終了後の7月上旬から、秋期の試合シーズン開始前の8月下旬までの8週間を第5期とし、春期の試合シーズン後の体調調整や、筋力・パワーの回復及び改善を主目的としたプログラムを実施した(表4)。トレーニング内容は第3期とほぼ同様とした。

(6) 第6期のトレーニングプログラム

秋期の試合シーズンである9月上旬から10月下旬までの8週間を第6期とし、筋力及びパワーの維持を主目的としたプログラムを実施した(表5)。トレーニング内容は第4期とほぼ同様であった。

3. 形態及び体力の測定

ウエイトトレーニングプログラムの実施期間中

の形態や体力の変化を調べるために、合計5回の測定を実施した。1回目の測定は、プログラム開始時の1996年10月に実施し、以降、2回目の測定はオフシーズン中頃の1997年1月、3回目の測定は春期試合シーズン終了後の1997年7月、4回目の測定は2年目のオフシーズン中頃の1998年2月、5回目の測定は2年目の春期シーズン終了後の1998年6月であった。

形態の測定項目は、体重と体脂肪率であった。体脂肪率の測定は、タニタ社製インピーダンス式体脂肪測定器TBF305を用い、起床して排尿した直後に実施した。

体力の測定項目は、筋力の指標として、パワークリーン、スクワット、ベンチプレスの最大挙上重量の体重比(1RM体重比)、ジャンプ能力の指標として垂直跳びの跳躍高と自由な距離の助走からの跳躍高(ランニングジャンプ)、敏捷性の

表4 第3期・第5期のウエイトトレーニングプログラム  
Table 4 Weight training program at the third and fifth period

Aコース		Bコース	
種目	条件	種目	条件
メディシンボールエクササイズ		ジャンプエクササイズ	
①オーバーヘッドスロー	12回×2セット	①ジャンプアップ	10回×2セット
②デフスジャンプ&オーバーヘッドスロー	12回×2セット	②ラテラルボックスジャンプ	12回×2セット(台高30cm)
③サイドスロー(立位)	10回×2セット	③デフスジャンプ	10回×3セット(台高40~60cm)
④シットアップスロー	10回×左右×2セット	④ボックスシャッフル	10回×3セット(台高45cm)
パワークリーン 重い負荷の日	①50%×8回 ②75%×3回 ③90%×2回 ④90%×2回 ⑤80%×6回	ダンベルプッシュプレス	12~18kg×10回×3セット
軽い負荷の日	①30%×10回 ②50%×6回 ③50%×6回 ④50%×6回 ⑤50%×6回	ダンベルスナッチ	12~20kg×10回×3セット
スクワット 重い負荷の日	①50%×8回 ②75%×3回 ③90%×2回 ④90%×2回 ⑤80%×6回	ベンチプレス 重い負荷の日	①50%×8回 ②75%×3回 ③90%×2回 ④90%×2回 ⑤80%×6回
軽い負荷の日	①30%×10回 ②50%×6回 ③50%×6回 ④50%×6回 ⑤50%×6回	軽い負荷の日	①30%×10回 ②50%×6回 ③50%×6回 ④50%×6回 ⑤50%×6回
サイドランジ(ダンベル)	10~15kg×12回×2セット	ラットプルダウン	8RM×8回×2セット
レッグカール	10RM×10回×2セット	サイドレイズ	10RM×10回×3セット
トランクツイストツィング	5~10kg×10回×左右2セット	バーベルカール	10RM×10回×3セット
クランチ	12回×3セット		
バックエクステンション	8~10kg×12回×2セット		

※AコースとBコースを交互に週3回実施

表5 第4期・第6期のウエイトトレーニングプログラム  
Table 5 Weight training program at the fourth and sixth period

Aコース		Bコース	
種目	条件	種目	条件
パワークリーン	80~90%1RM×5回×3セット	ダンベルプッシュプレス	12~18kg×10回×3セット
スクワット	80~90%1RM×5回×3セット	ベンチプレス	80~90%1RM×5回×3セット
レッグカール	10RM×10回×2セット	ラットプルダウン	10RM×10回×2セット
クランチ	15回×2セット	サイドレイズ	10RM×10回×2セット

※体調を考慮してAコースとBコースを交互に週2回実施

※その他、各自指示された障害予防のためのトレーニングを実施

指標として反復横跳びの計6項目であった。

ベンチプレスとスクワットの最大挙上重量の測定については、藤瀬ら<sup>15)</sup>が規定した方法に基づき、十分なウォームアップを行った後に実施した。ベンチプレスの測定においては、動作中に両足を床に付けておくとともに、臀部がベンチのシートから浮かないようし、バーベルを胸に触れるまで下ろしてから、肘が完全に伸びきるまで挙上した場合に成功とした。スクワットの測定においては、バーベルを肩の上のせ、大腿の上端部が床と平行になるところまでしゃがみ、腰背部の姿勢を維持したまま直立するまで挙上した場合に成功とした。

パワークリーンの最大挙上重量の測定における動作については、バーベルを床に置いた状態から、胸まで一気に挙上し、肩の高さでバーベルをキャッチした後、直立して静止できた場合に成功とした。

#### 4. 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で示した。各測定値の差の検定には、paired t-testを用い、有意水準は5%未満とした。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. トレーニング実施期間中の形態の変化

図1にウエイトトレーニングプログラム実施期間中の体重と体脂肪率の変化を示した。体重については、トレーニングプログラム開始時の1回目の測定時には、 $60.0 \pm 3.4\text{kg}$ であったが、2回目の測定時には $61.4 \pm 4.3\text{kg}$ へと有意に増加した ( $p < 0.05$ )。3回目の測定時には $59.3 \pm 2.4\text{kg}$ へと減少傾向を示し、その後、4回目、5回目の測定値は、3回目の測定値に対して有意な変化はみられなかった。

体脂肪率については、1回目の測定時には、 $19.4 \pm 3.7\%$ であったが、2回目の測定時には $20.3 \pm 2.1\%$ へと増加傾向を示した。3回目の測定

時には $19.4 \pm 2.3\%$ へと有意な減少がみられた ( $p < 0.05$ )。また、4回目の測定値は $19.5 \pm 1.7\%$ と3回目と同程度の数値であったが、5回目には $18.2 \pm 1.7\%$ へと有意な減少がみられた ( $p < 0.05$ )。なお、5回目の測定値は、2回目の測定値に対して有意に低い値であった ( $p < 0.001$ )。

体重と体脂肪率より算出した除脂肪体重については、トレーニングプログラムの実施期間中には、測定値の有意な変化は認められなかったが、4回目から5回目にかけて、除脂肪体重の増加量が多い傾向がみられた。

#### 2. トレーニングの実施期間中の体力の変化

##### 1) 筋力の変化

###### (1) ベンチプレスの1RM体重比の変化

図2にウエイトトレーニングプログラム実施期間中のベンチプレスの1RM体重比の変化を示した。測定値は、1回目から5回目までの測定ごとに増加傾向を示し、1回目の $0.59 \pm 0.03\text{kg}$ に対して、5回目には $0.71 \pm 0.05\text{kg}$ へと有意な増加が認められた ( $p < 0.001$ )。

###### (2) スクワットの1RM体重比の変化

図3にウエイトトレーニングプログラム実施期間中のスクワットの1RM体重比の変化を示した。測定値は、1回目から5回目までの各測定ごとに有意な増加を示し ( $p < 0.05$ )、1回目の $1.10 \pm 0.16\text{kg}$ に対して、5回目には $1.66 \pm 0.18\text{kg}$ へと有意な増加が認められた ( $p < 0.001$ )。

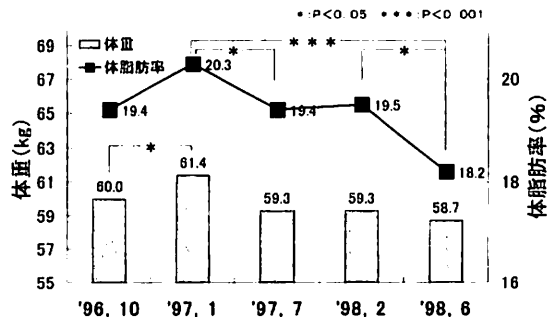


図1 体重と体脂肪率の変化  
Fig. 1 Changes of body weight and %fat

(3) パワークリーンの1RM体重比の変化

図4にウエイトトレーニングプログラム実施期間中のパワークリーンの1RM体重比の変化を示した。測定値は、1回目から5回目までの各測定ごとに増加する傾向を示し、1回目の0.57±0.07kgに対して、5回目には0.76±0.06kgへと有意な増加が認められた (p<0.001)。

は、1回目が49.0±2.49cm、2回目が49.91±2.77cmであり、有意な変化はみられなかったが、3回目には53.00±2.76cmとなり、1回目及び2回目の測定値に比べて有意な増加が認められた (p<0.001)。その後、4回目の測定値は51.27±3.32cmとなり、3回目の測定値に比べて有意な減少 (p<0.001) がみられ、5回目には最高値となる55.64±3.41cmへと4回目の測定値と比較して有意な増加が認められた (p<0.001)。

2) ジャンプ能力の変化

(1) 垂直跳び測定値の変化

図5にウエイトトレーニングプログラム実施期間中の垂直跳びの測定値の変化を示した。測定値

(2) ランニングジャンプの測定値の変化

図6にウエイトトレーニングプログラム実施期

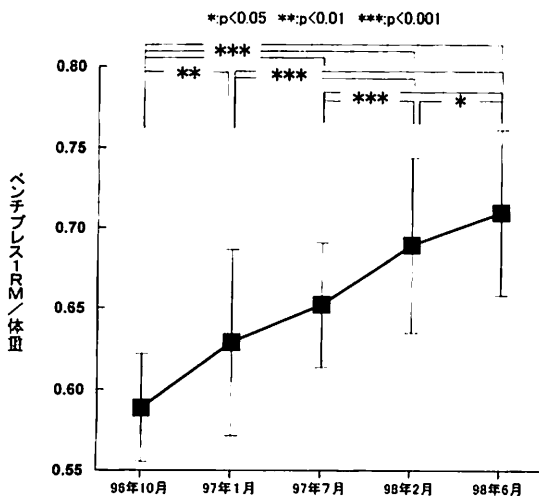


図2 ベンチプレス1RM体重比の変化  
Fig. 2 Changes of bench press 1RM/body weight

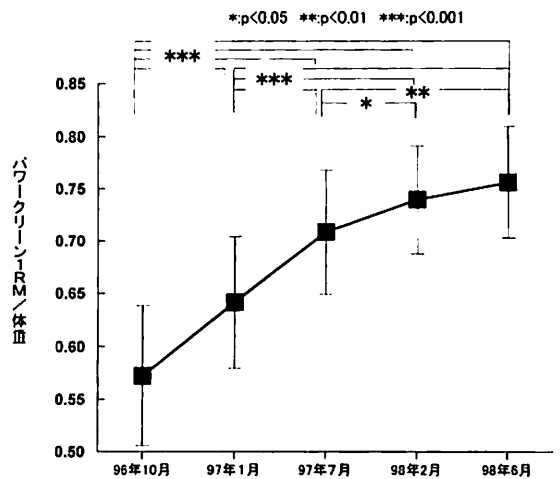


図4 パワークリーン1RM体重比の変化  
Fig. 4 Changes of power clean 1RM/body weight

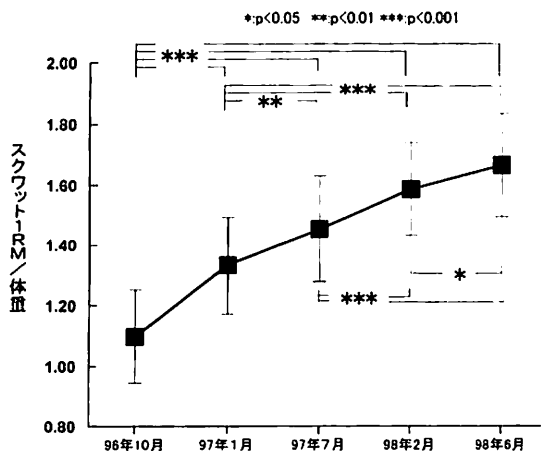


図3 スクワット1RM体重比の変化  
Fig. 3 Changes of squat 1RM/body weight

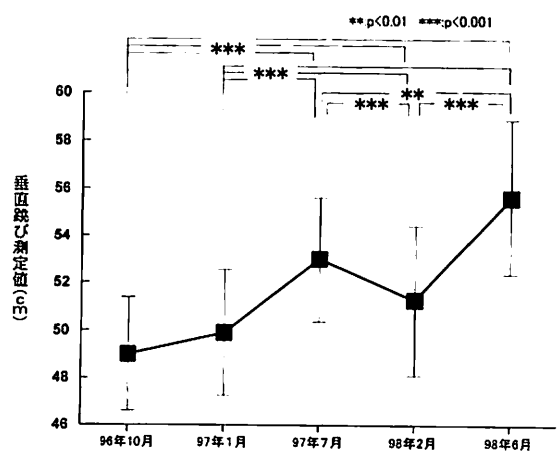


図5 垂直跳びの測定値の変化  
Fig. 5 Changes of vertical jump score

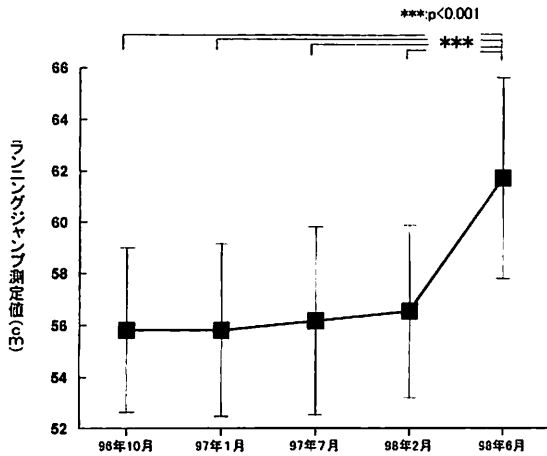


図6 ランニングジャンプの測定値の変化  
Fig. 6 Changes of running vertical jump score

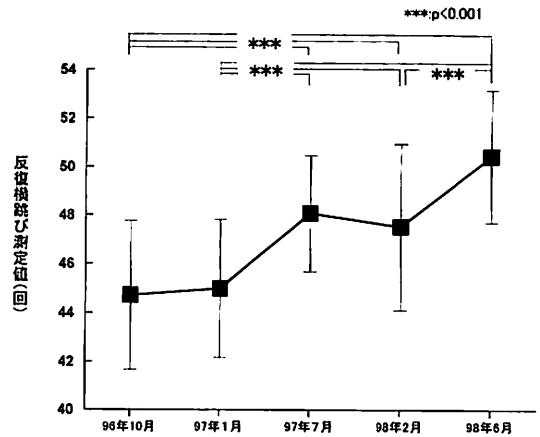


図7 反復横跳びの測定値の変化  
Fig. 7 Changes of side step score

間中のランニングジャンプの測定値の変化を示した。1回目の測定値は $55.82 \pm 3.34$ cmであり、1回目から4回目までの測定値には有意な変化がみられなかったが、5回目には $61.73 \pm 4.10$ cmへと有意な増加が認められた ( $p < 0.001$ )。

### 3) 敏捷性の変化

#### (1) 反復横跳び測定値の変化

図7にウエイトトレーニングプログラム実施期間中の反復横跳びの測定値の変化を示した。測定値は、1回目が $44.73 \pm 3.20$ 、2回目が $45.00 \pm 2.97$ であり、1回目から2回目にかけては有意な変化がみられなかったが、3回目には $48.09 \pm 2.51$ となり、1回目及び2回目の測定値に比べて有意な増加が認められた ( $p < 0.001$ )。その後、4回目の測定値は $47.55 \pm 3.59$ となり、3回目の測定値に比べて有意ではないが減少する傾向を示した後、5回目には最高値となる $50.45 \pm 2.88$ へと4回目の測定値と比較して有意な増加が認められた ( $p < 0.001$ )。

ジャンプ能力や敏捷性が要求されることから、できるだけ体脂肪率を低く抑えることが必要であると考えられる<sup>8)</sup>。ウエイトトレーニングプログラムの実施期間中、体脂肪率については、初期の段階で一時的な増加がみられたが、その後は経時的に減少する傾向を示した。日本体育協会<sup>16)</sup>によって測定されたアトランタ五輪に出場した女子バレーボール選手の体脂肪率の平均値は19.3%であり、吉田<sup>17)</sup>は大学女子バレーボール選手の体脂肪率の目標値を19%以下としたが、今回の測定では5回目に19%を下回る数値となった。

長期的なウエイトトレーニングの実施によって、筋肥大による顕著な体重増加が、跳躍高や敏捷性に悪影響をもたらすことが懸念されたが、ウエイトトレーニングプログラム期間中の除脂肪体重の増加量は1.2kgにとどまり、有意な増加はみられなかった。また、垂直跳び、ランニングジャンプ、反復横跳びの測定値には有意な増加が認められ、跳躍高や敏捷性に対する長期的な悪影響は生じなかった。

ウエイトトレーニングプログラム実施期間中の体重と体脂肪率の変化については、2回目の測定時に体重が有意に増加し、体脂肪率も増加傾向を示した。その後、3回目には体重及び体脂肪率は1回目の測定値と同レベルまで減少し、4回目には変化がみられず、5回目の測定時に体脂肪率の

## IV. 考 察

### 1. プログラム実施期間中の形態の変化について

バレーボール競技においては、高いレベルのジ

有意な減少がみられた。試合のないオフシーズン（2回目及び4回目測定時）には、体脂肪率が増加または変化がみられず、試合期（3回目及び5回目測定時）には、体脂肪率の減少がみられたことから、期分けされたウエイトトレーニングプログラムの実施は、試合期における選手の身体組成に対して効果的に作用したと推測された。

2回目測定時の体重や体脂肪率の増加の要因としては、1996年10月下旬から12月下旬までの第1期のプログラム実施期間において、ウエイトトレーニングに重点を置いたために技術練習の時間が通常の2分の1程度となり、消費エネルギーが減少したことが考えられた。一方、試合期（3回目及び5回目測定時）の体脂肪率減少については、主として技術練習の量の増加によって、エネルギー消費量が増大したことが要因となったと思われるが、5回目に体脂肪率が減少した際には、除脂肪体重も有意ではないが増加傾向にあったことから、筋量の増大がエネルギー代謝の促進<sup>18)</sup>につながり、このことも体脂肪率減少の一因となったのではないかと推測された。

ハンドボール競技においては、1997年の世界選手権に向けた男子日本代表選手の強化の過程において、ウエイトトレーニングを長期的に実践したが、この過程においては、初期の段階で体脂肪率が増加しながら除脂肪体重が増加し、一定期間が経過してから体脂肪率が減少する傾向があったことを報告している<sup>19)</sup>。また、有賀ら<sup>20)</sup>は、一流男子柔道選手に長期にわたってウエイトトレーニングを実施させたところ、まず最初に体脂肪率の増加を伴いながら除脂肪体重が増加し、次いで除脂肪体重を維持しつつ体脂肪率の減少がみられたと報告している。さらに、有賀ら<sup>21)</sup>は、男子アメリカンフットボール選手にウエイトトレーニングを長期にわたって実施させた場合にも、柔道選手と同様の身体組成の変化パターンを示したことを報告している。本研究では、ウエイトトレーニングプログラムの実施過程において、除脂肪体重の顕著な変化はみられなかったが、体脂肪率の変化パターンについては類似した傾向がみられた。ウエ

イトトレーニングプログラムの実施に伴う形態の変化には、性差、種目特性、技術練習の内容、試合日程、食事、気候などの要素が関与していると思われ、今後はこれらについても検討課題とした。

## 2. プログラム実施期間中の体力の変化について

### 1) バーベル挙上能力について

筋力の指標として測定された、ベンチプレス、スクワット、パワークリーンの1RM体重比の値は、ウエイトトレーニングプログラム実施期間中、3種目ともに有意な増加が認められ、経時的に増加する傾向がみられた。対象となった選手は、プログラム開始前にはウエイトトレーニングの経験がなかったこと、プログラム実施期間中には除脂肪体重の有意な増加が認められなかったことから、3種目の1RM体重比の向上には、動作中に使用される筋群に関わる運動単位の動員の促進や、トレーニング動作の効率化などが要因となったのではないかと推測された。

一方、3種目の挙上重量の絶対値の増加率は、ベンチプレスでは、2回目の測定値は1回目測定値に対して9.0%、3回目測定値は2回目測定値に対して0.6%、4回目測定値は3回目測定値に対して6.5%、5回目測定値は4回目測定値に対して2.2%となった。また同様に、スクワットについては、24.1%、5.5%、9.7%、4.1%、パワークリーンについては、14.6%、6.9%、4.9%、1.5%となった。3種目ともに、1回目から2回目にかけての増加率が最も高く、その後増加率はしだいに減少する傾向がみられた。これらのことから、3回目測定時以降の1RM体重比の有意な増加には、挙上重量の絶対値の増加だけでなく、体重の減少も要因となったのではないかと推測された。

米国NSCA (National Strength and Conditioning Association) は、爆発的パワーを養成するための強度の高いプライオメトリックトレーニングを安全に実施するためには、スクワットにおいて体重の1.5倍の重量を挙上できるようにすることを推



奨しており、これを支持する報告も多くみられる<sup>22) 23) 24) 25)</sup>。本研究では、プログラムを導入して1年5ヶ月後の4回目の測定時にスクワットの1RM体重比が推奨値の1.5を上回る結果となった。

## 2) ジャンプ能力と敏捷性について

ウエイトトレーニングプログラム実施期間中の垂直跳びと反復横跳びの測定値については、1回目から2回目にかけては有意な増加がみられず、2回目から3回目にかけて有意に増加し、3回目から4回目にかけて減少する傾向がみられた後、4回目から5回目にかけて最大値へと有意に増加する変化パターンを示した。測定値の有意な増加がみられなかった時期や減少傾向がみられた時期は、いずれもオフシーズン期であり、その後試合期においてリバウンド的に測定値の顕著な増加がみられた。本研究のトレーニングプログラムは、オフシーズンの第1期及び第2期のプログラムにおいて、筋肥大や基本エクササイズの挙上重量の向上を目的として、中～高強度の負荷を用いて、ゆっくりとした動作によるウエイトトレーニングを集中的に実施し、試合期に近い第3期のプログラムにおいては、負荷を軽減し、素早い動作のウエイトトレーニングや各種ジャンプエクササイズを実施した。このように期分けしたプログラムによって、第1期及び第2期に養成された一般的な筋力が、第3期のプログラムの実施によって、専門的なパワー発揮能力へと転化され<sup>26)</sup>、垂直跳びや反復横跳び測定値のより大きな改善が得られたのではないかと推測され、ウエイトトレーニングの負荷や回数等の条件を一定期間ごとに変化させる期分けプログラムの有効性が示唆された。

本研究では、オフシーズンに一般的な筋力を強化するトレーニングを集中的に実施する「筋力集中法<sup>27)</sup>」と呼ばれるプログラムを採用したが、このプログラムは、年間を通じて専門的体力の養成のみを目的としたトレーニングを実施するプログラムよりも、競技パフォーマンスの改善に対して効果的ではないかと考えられている<sup>28) 29)</sup>。今後、大学女子バレーボール選手における筋力集中法に基

づくトレーニングプログラムの有効性を検証するためには、他のトレーニング方法を実施した場合との比較検討を行うことが必要であろう。

自由な助走距離からの跳躍高を測定するランニングジャンプについては、1回目から4回目までの測定値には有意な変化はみられず、5回目測定時に有意な増加が認められた。ランニングジャンプの測定値が有意に増加するまでには、垂直跳びよりも長い期間を要したが、この要因としては、ランニングジャンプでは助走によって得られた水平方向のエネルギーを踏切動作時に垂直方向へと変換することが必要であり、垂直跳びよりも高いレベルのスキルが要求されることが関与したのではないかと思われた。また、ランニングジャンプの踏切局面は、いわゆるリバウンド型ジャンプ<sup>30)</sup> <sup>31) 32) 33)</sup> であり、垂直跳び動作のようにジャンプ直前の膝関節や股関節の大きな屈曲動作を行わないことから、垂直跳びよりも高いレベルの下肢筋群の伸張—短縮サイクルが要求されることも要因となったのではないかと推測された。

## V. ま と め

本研究では、日本の大学バレーボール選手に適合したウエイトトレーニングプログラムの作成や指導のための指針を得ることを目的とし、ウエイトトレーニング経験のない大学女子バレーボール選手11名を対象として、25ヶ月にわたる計画的なウエイトトレーニングプログラムを実施させ、期間中の形態と体力の変化について検討を行い、次のような結果を得た。

- 1) 形態については、プログラム実施期間中に除脂肪体重の有意な増加はみられず、体脂肪率の有意な減少が認められた。
- 2) 筋力の指標となるベンチプレス、スクワット、パワークリーンの1RM体重比については、プログラム実施期間中にいずれも経時的に増加する傾向がみられた。
- 3) ジャンプ能力の指標となる垂直跳びの測定値

については、オフシーズン期に有意な減少がみられた後、試合期に有意な増加を示した。一方、ランニングジャンプについては、1回目から4回目までの測定値には有意な変化はみられず、5回目に有意な増加が認められた。

- 4) 敏捷性の指標となる反復横跳びの測定値については、3回目に有意な増加がみられた後、4回目にいったん減少傾向を示し、5回目に最大値へと有意に増加し、垂直跳びの測定値と類似した変化パターンを示した。

以上のことから、計画的なウエイトトレーニングプログラムの長期にわたる実施は、大学女子バレーボール選手の形態や一般的体力の改善に対して効果的であることが示唆された。また、バレーボール競技において専門性が高いと考えられる垂直跳びや反復横跳びの測定値は、オフシーズンにいったん低下した後、試合期にリバウンド的に増加する傾向がみられ、ウエイトトレーニングの負荷や回数等の条件を一定期間ごとに変化させる期分けプログラムの有効性が示唆された。一方、ランニングジャンプの測定値が増加するまでに垂直跳びよりも長期を要したことについては、より高いレベルのスキルや、効率的な神経及び筋の作用が要求されることが要因となったのではないかと推測された。

本研究の一部は、1999年日本体育学会にて報告した。

#### 参考文献

- 1) Simmons, J., and T. Hile.: Year round strength and conditioning program for volleyball at the University of Southern California, NSCA Journal, 6(4), 57-58, 1984.
- 2) Black, B.: Conditioning for volleyball. Strength and Conditioning, 17 (5), 53-55, 1995.
- 3) Timothy, J. Piper: In-Season Strength/Power Mesocycle for Women's Collegiate Volleyball, Strength and Conditioning, 19 (3), 21-25, 1997.
- 4) 松田孝幸, 寺崎拓也: バレーボール選手のケガと身体管理 (1), コーチングクリニック, 11-6, 62-65, 1997.
- 5) 武藤芳照編著: スポーツ障害のメカニズムと予防のポイント, 文光堂, 1992, 111-122.
- 6) 福林徹編: スポーツ外傷・障害とリハビリテーション, 文光堂, 1994, 152-159.
- 7) 魚住廣信: バレーボールのためのパワートレーニング, JVA VOLLEYBALL, 66, 26-31, 1992.
- 8) トレーニング科学研究会編: レジスタンストレーニング, 朝倉書店, 1994, 181-191.
- 9) O'Bryant, H. S.: Periodization, A theoretical model for strength training. Louisiana State University, 1982.
- 10) Bompa, T. O.: Theory and Methodology of Training. Dubuque, Iowa, Kendall/Hunt Publishing Inc. 1983.
- 11) Bompa, T. O.: Periodization of strength, Veritas Publishing Inc, 1993.
- 12) Schoitz, M. K., J. A. Potteiger, P. G. Huntsinger, and D. C. Denmark: The short-term effects of periodized and constant-intensity training on body composition, strength and performance, Journal of Strength and Conditioning Research, 12 (3), 173-178, 1998.
- 13) Willoughby, D. S.: The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength, Journal of Strength and Conditioning Research, 7 (1), 2-8, 1993.
- 14) Fleck, J. F., Kraemer, W. J.: Designing resistance training programs, Human Kinetics, 1987.
- 15) 藤瀬武彦, 杉山文宏, 松永尚久, 長畑芳仁: 一般青年男女における筋力評価尺度としてのバーベル挙上能力測定を試み, 体育学研究, 39, 403-419, 1995.
- 16) 日本オリンピック委員会: 第26回オリンピック競技大会日本代表選手体力測定報告書, 1997年.
- 17) ブックハウスエイチディ: 体脂肪測定をコンディショニングに活かす, 月刊トレーニングジャーナル, 18 (9), 21-24, 1996.
- 18) Van Etten. et al.: Effect of weight training on energy expenditure and substrate utilization during sleep, Medical and Science in sports and exercise, 27 (2), 1995.
- 19) ブックハウスエイチディ: 世界に当たり負けし

- ない身体づくり戦略～ハンドボール男子ナショナルチーム, 月刊トレーニングジャーナル, 19 (5), 17-19, 1997.
- 20) 有賀誠司, 寺尾保, 中村豊, 恩田哲也, 山下泰裕, 中西英敏, 佐藤宣践, 白瀬英春, 橋本敏明, 古谷嘉邦: 柔道競技におけるトレーニング方法に関する研究～一流柔道選手の階級増を目的としたトレーニングの実践例とその効果～, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第10号, 60-70, 1998.
- 21) 有賀誠司, 中澤一成, 麻生敬, 安部総一郎, 恩田哲也, 中村豊, 寺尾保: 大学アメリカンフットボールチームにおける計画的ウエイトトレーニングプログラム導入の効果, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第11号, 30-43, 1999.
- 22) Bielic, E: Practical considerations for utilizing plyometrics. Part1, National Strength and Conditioning Association Journal, 8 (3), 14-22, 1986.
- 23) Chu, D: Jumping into plyometrics, Human Kinetics, 1992.
- 24) Gambetta, V: plyometric training, Track and Field Quarterly Review, 78 (1), 58-59, 1978.
- 25) Verhoshanskii, U.: Depth jumping in the training of jumpers. Track and field Quarterly Review, 79 (1), 60, 1979.
- 26) Stone, M. H.: Literature review: Explosive exercises and training, NSCA Journal, 15 (3), 4-15, 1993.
- 27) 村木征人: 上級ジャンパーのトレーニングの合理化, 筋力集中方式トレーニングの理論と実際, Japanese Journal of Sports Sciences, 4 (11), 797-802, 1985.
- 28) Verhoshanskii, U.: Special strength training, Soviet Sports Review, 16 (1), 6-10, 1981.
- 29) Verhoshanskii, U.: How to set-up a training program in speed-strength events, Soviet Sports Review, 16 (2), 53-57, 1981.
- 30) Koji ZUSHI: Parameters determining rebound drop jump ability. Proceedings of international congress on Biomechanics, 1518-1519, 1993.
- 31) 高松 薫: デブスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高及び下肢にかかる負荷特性に及ぼす影響, 昭和63年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 46-55, 1989.
- 32) 関子浩二: バリステックな伸張—短縮サイクル運動の速行能力を決定する要因—筋力及び瞬発力に着目して—, 体力科学, 44, 154, 1995.
- 33) 関子浩二: リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因—下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して—, 体育学研究, 40, 29-39, 1995.

自転車エルゴメーター運動時に  
Virtual Realityが呼吸循環応答及び  
心理的要因に与える影響

村木孝行 (医学部付属病院リハビリテーション科)

重田 暁 (医学部付属病院リハビリテーション科)

森川千鶴 (医学部付属病院リハビリテーション科)

田所美樹 (医学部付属病院リハビリテーション科)

増田芳之 (医学部付属病院リハビリテーション科)

出江紳一 (医学部リハビリテーション学教室)

石田 暉 (医学部リハビリテーション学教室)

Effects of virtual reality during bicycle ergometer exercise  
on cardiopulmonary response and psychological factor

Takayuki MURAKI, Kyo SHIGETA,  
Chizuru MORIKAWA, Miki TADOKORO,  
Yoshiyuki MASUDA, Shinichi IZUMI  
and Akira ISHIDA

Abstract

The purpose of this study was to examine effects of virtual reality during bicycle ergometer exercise on cardiopulmonary response and psychological factor. Twelve healthy males aged 21~34 years performed the exercise in virtual reality simulating cycling on the road (VISUAL) and normal exercise (CONTROL) at incremental load (experiment 1) and constant load (experiment 2). Rating of perceived exertion (RPE) and visual analogue scale (VAS) were used to evaluate psychological status.

Cardiopulmonary response for both experiment 1 and experiment 2 resulted in no significant difference between VISUAL and CONTROL and were shown to be highly reproducible. No significant difference was found in RPE and VAS between VISUAL and CONTROL. However, remarkable inter-subject differences in psychological effects measured by VAS was observed.

These results suggested that the exercise in virtual reality might be as effective as normal exercise on cardiopulmonary response. In addition, we believed that the setting of virtual reality needs to be adjusted for each trainee because of a remarkable inter-personal difference in psychological reaction.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 54-61, 2000)

## Ⅰ. はじめに

近年、コンピューター技術の進歩に伴って人工の仮想環境を体感できるvirtual reality (VR: 仮想現実感、人工現実感) が各分野において応用されてきている。特に娯楽の分野では '体感ゲーム' なるものが多く開発され、若者中心に大きな支持を得ているのは周知のとおりである。その体感ゲームからもわかるように、VRは視覚、聴覚、触覚などの各感覚を通じて仮想環境をあたかも現実のように体験し、それに対応した身体運動を導くことが可能である。さらに運動を楽しく行うことで運動中の心理的な負担の軽減や、ゲーム感覚も生じさせることにより、運動に参加する意欲 (モチベーション) の向上などの心理面での効果も期待される。

実際の訓練場面において、ランニングやウォーキング、ペダリングなど長時間の単一運動を行う全身持久力のトレーニング (有酸素運動) では、特に球技などゲーム性のあるものに比べて、モチベーションを持続させることは困難であり、そのような運動を行う際にVRを使用することは先に述べたように運動中の心理的な負担の軽減、さらには運動に対する意欲の向上や動機付けを図る手段としてより有効と思われる。

このような特徴を持つVRをスポーツや医療の分野でも応用しようとトレッドミルや自転車エルゴメーターを用いて運動することにより仮想環境を散策するものや<sup>1) 2)</sup>、バランス訓練として用いられる生馬シュミレーター<sup>3)</sup>、スキーやサッカー (シュートなど) を体感できるもの<sup>4)</sup> などのVR機器を作製しいくつかの試みがなされている。

しかしVRを用いた運動において、その仮想環境が運動中の呼吸循環応答に与える影響に関する研究はほとんど見受けられない。さらに心理面に及ぼす影響に関しては対象 (年齢、男女差など) や仮想環境の違いにより様々な反応があり、まだ十分な検討がなされていない。

VRを用いた運動が、リハビリテーションの訓練場面やフィットネスのトレーニングなどにおいて、呼吸循環応答が通常の運動時とかけ離れていれば、運動中の危険性が高くなるため仮想環境下でも呼吸循環応答が通常の運動と同様であり、かつ心理的負担が少ない方が好ましいと思われる。

そこで今回我々は、様々な感覚刺激で作られる仮想環境の中でも映像による視覚刺激による仮想環境に限定し、

①VR使用時と通常の運動時との間における呼吸循環応答の相違や再現性の確認

②VRが心理面に与える影響の確認

を目的として、自転車エルゴメーター駆動時に映像を用いたVR環境下での、各種負荷運動 (漸増負荷運動、定負荷運動) 時の呼吸循環応答および自覚的運動強度 (RPE)、Visual Analogue Scale (VAS) やアンケートによる心理面への影響について調査したので、若干の検討を加え報告する。

## Ⅱ. 方 法

### 1. 対象

本実験に参加した被験者は心疾患や呼吸器疾患の既往がなく、特別な運動歴のない21~34歳の健康男性14名であった。うち4名は諸々の理由により実験1 (漸増負荷運動)、および実験2 (定負荷運動) の一方の実験のみ参加した (10名は実験1、2の両方を施行)。その内訳は、実験1では平均年齢 $26.6 \pm 4.4$ 歳の12名で、実験2では平均年齢 $27.6 \pm 4.2$ 歳の12名を対象とした。

### 2. 使用機器

実験1、2ともに自転車エルゴメーターはコンビ社製ERGOMETER 232CXLを使用し、両下肢によるエルゴメーター駆動で運動を行った。呼吸循環応答の測定には呼気ガス分析器 (ミナト医科学社製Aeromonitor AE-280S) を用い酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2$ )、分時換気量 ( $\dot{V}E$ )、一回換気量 (TV)、呼吸数 (RR) を測

定し、また心拍数 (HR) は心電図モニター (日本光電製医用テレメータWEP-8550) を用いCM 5 誘導にて測定した。VR環境として、運動時の視覚刺激には日本リハビリテイト社製HYPER-THERAPYによる公道を走るビデオ映像を用い、頭部に装着したヘッドマウントディスプレイのサングラス部を通じて対象に映像を与えた (図1)。

### 3. 負荷方法

#### 1) 実験1 (漸増負荷運動)

負荷方法はrest 4 min. の後20wにてwarming up 4 min. 行い、以後漸増負荷運動を20w/min. のramp負荷により施行した。運動中の回転数は50rpmで維持させた。また運動条件は同一被験者に対し、映像を用いた運動 (以下VISUAL) と映像を用いない運動 (以下CONTROL) を各1回ずつ行った。なお施行順に関してはVISUALから始めるグループと、CONTROLから始めるグループを6名ずつ無作為に分けた。運動の中止基準は80%HRmaxに達した時点、あるいは症候限界性とした。

#### 2) 実験2 (定負荷運動)

実験2の負荷量 (W) の設定は、個々の運動負荷試験の結果よりwarming up時は20%HRmax時相当の負荷量、定負荷運動時には40%HRmax時相当の負荷量として、3分間のwarming upの後

定負荷運動を20分間施行した。運動中の回転数は実験1同様に50rpmで維持させた。

また運動条件は実験1と同様にVISUALとCONTROLを各1回ずつ同一被験者に対し行い、施行順はVISUALから始めるグループと、CONTROLから始めるグループを6名ずつ無作為に分けた。

測定は呼気ガス分析、心拍測定の外にRPEの指標として14段階Borgスケールの日本語版を用い、定負荷開始時より5分毎に測定した。また心理的要因について、運動終了後に下肢の疲労度、呼吸状態、運動の快適度に関し図2のごとくVASを改変したものを用い、被験者には各項目の線上の主観的な状態と相応する任意の位置に縦線を引かせた。さらにアンケートにて「運動にVRがあった方が良かったか、否か」、「スピード感はどうだったか」、「運動中の気分はどうだったか」、「運動中どんな映像を見たいか」について意見を記入してもらった。

### 4. 統計処理

実験1では最大心拍数 (HRmax) の10%~70%間にて10%HRmax毎に対応する $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ 、TV、RRを用い、実験2では運動開始後5分ごとのHR、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ 、TV、RR、RPE、運動終了直後のVASを用いた。

実験1、2ともに施行順 (1回目と2回目)、運

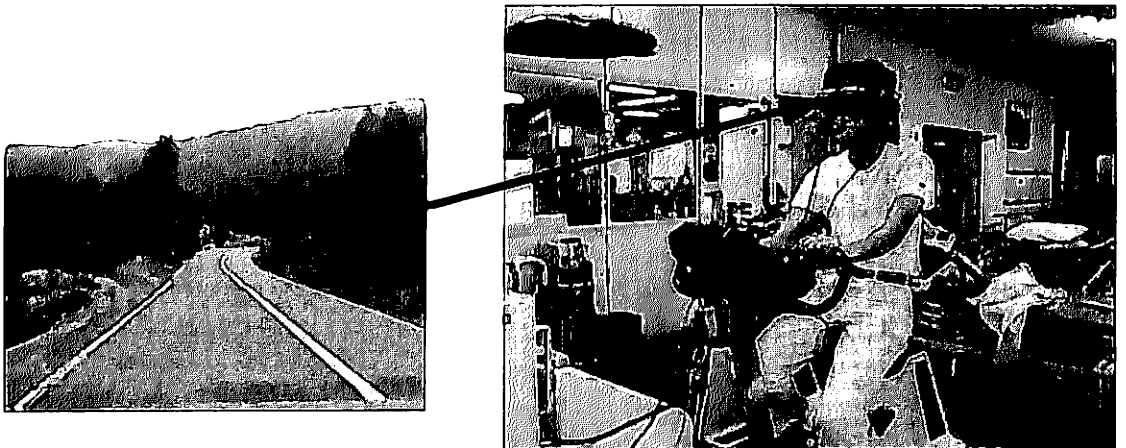


図1 実験場面  
Fig. 1 scene of experiment

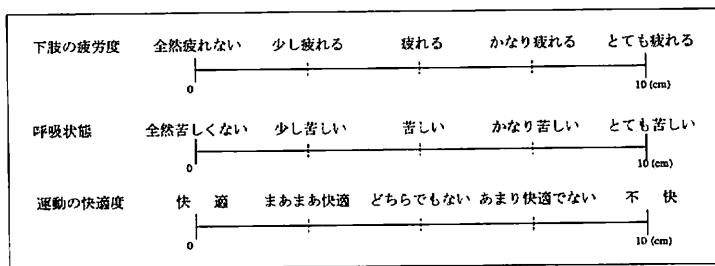


図2 Visual Analogue Scale による心理面の評価  
Fig. 2 Evaluation of psychology using Visual Analogue Scale

動条件 (VISUALとCONTROL) について各パラメータでtwo-way repeated measured ANOVA、VASに関してはpaired t-testで統計処理を行い、危険率5%以下をもって統計学的有意差とした。また測定値の再現性の評価としてBland-Altman法<sup>5)</sup>を用いて解析を行った。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. 実験1 (漸増負荷運動)

図3は10%HRmax毎の $\dot{V}O_2$ の推移を示したもので、VISUALとCONTROLのどちらも同様に直線的な増加をしている。two-way repeated measured ANOVAを用いた運動条件での比較では10%HRmax毎の $\dot{V}O_2$ では $p=0.951$ と有意差を認めなかった。またその他のパラメーターでも $\dot{V}CO_2$  ( $p=0.906$ )、 $\dot{V}E$  ( $p=0.510$ )、RR ( $p=0.648$ )、TV ( $p=0.504$ ) と全ての呼吸循環応答に関して有意差は見られなかった。

Bland-Altman法においては表1に示される通り、ほとんどのパラメーターにて10%HRmaxの変動率がやや大きく、負荷強度が上がるにつれて変動率が減少していく傾向を示し、中等度負荷(40%HRmax)以上の各10%HR毎の変動率では $\dot{V}O_2$ では6.3%~10.8%、 $\dot{V}CO_2$ では8.8%~11.9%、 $\dot{V}E$ では7.1%~7.6%、RRでは10.2%~12.1%、TVでは14.7%~16.2%と変動率は少なく、再現性が高かった。

また、試行順での比較もtwo-way repeated measured ANOVAにて各パラメーターにおける有意

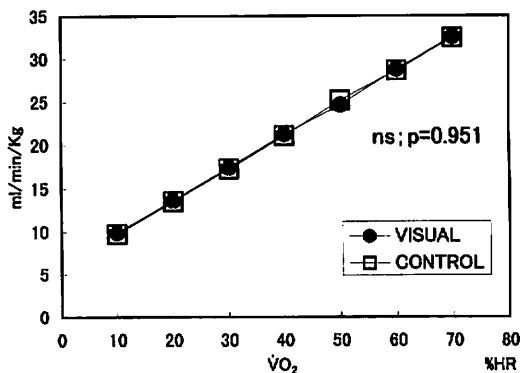


図3 実験1における $\dot{V}O_2$ の変化  
Fig. 3 Changes in  $\dot{V}O_2$  at experiment 1  
VISUAL; Exercise in Virtual Reality

差はみられず、Bland-Altman法においても運動条件による比較と同様に負荷強度が上がるにつれ変動率が減少していく傾向があったが全体的に変動率は少なく、施行順による影響は小さかった。

#### 2. 実験2 (定負荷運動)

図4は定負荷運動開始後5分毎のHR、 $\dot{V}O_2$ の経時変化を各運動条件で示したものである。どちらのパラメーターも5分の時点ではほぼ定常となり、その後は疲労とともに若干増加していく経過を示した。その経時変化においてtwo-way repeated measured ANOVAを用いた運動条件での比較では、HRでは $p=0.424$ 、 $\dot{V}O_2$ では $p=0.734$ と有意差を認めなかった。他のパラメーターについても $\dot{V}CO_2$  ( $p=0.730$ )、 $\dot{V}E$  ( $p=0.874$ )、RR ( $p=0.250$ )、TV ( $p=0.067$ ) と有意差は認めなかった。

表1 Bland-Altman 法 (実験1)

Table 1 Bland-Altman method at experiment 1

	(%HR)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
VO <sub>2</sub>	LLA	-4.651	-4.238	-3.936	-3.769	-4.884	-3.884	-4.146
	ULA	4.140	3.794	3.558	3.475	5.938	3.706	4.034
	CV	0.224	0.147	0.108	0.085	0.108	0.066	0.063
VCO <sub>2</sub>	LLA	-357.258	-335.246	-335.442	-329.728	-348.394	-379.975	-422.002
	ULA	375.115	340.001	317.095	308.279	313.843	332.323	361.249
	CV	0.398	0.224	0.153	0.119	0.101	0.092	0.088
VE	LLA	-5.592	-4.498	-3.889	-3.934	-4.632	-5.813	-7.294
	ULA	9.333	8.154	7.460	7.419	8.032	9.128	10.524
	CV	0.226	0.135	0.093	0.076	0.071	0.073	0.076
RR	LLA	-4.689	-4.876	-5.332	-6.036	-6.934	-7.974	-9.112
	ULA	4.453	4.009	3.834	3.906	4.173	4.582	5.088
	CV	0.120	0.107	0.102	0.102	0.107	0.113	0.121
TV	LLA	-370.038	-373.818	-388.266	-412.482	-445.163	-484.883	-530.301
	ULA	554.683	557.842	571.667	595.262	627.322	666.419	711.216
	CV	0.229	0.196	0.175	0.162	0.154	0.150	0.147

LLA ; lower limit agreement, ULA ; upper limit agreement, CV ; coefficient of variability

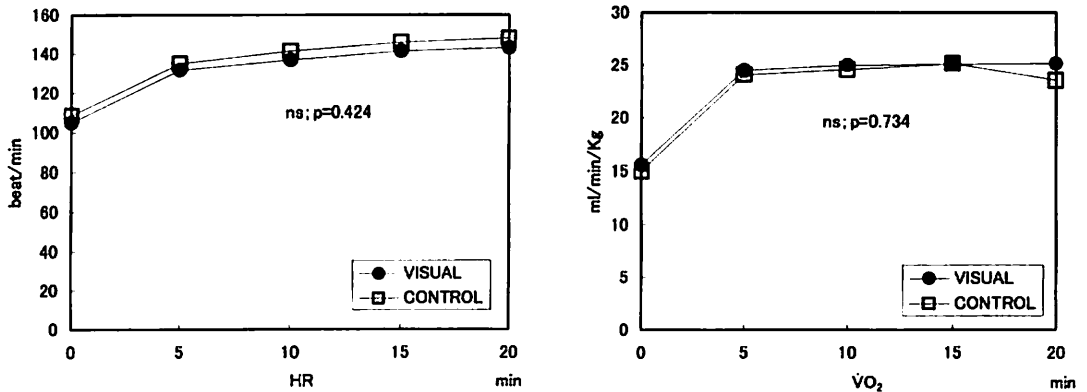


図4 実験2におけるHRとVO<sub>2</sub>の変化  
Fig. 4 Changes in HR · VO<sub>2</sub> at experiment 2  
VISUAL ; Exercise in Virtual Reality

Bland-Altman法において定負荷運動開始後5分毎の変動率はHRでは4.3%~9.4%、VO<sub>2</sub>では7.8%~15.5%、VCO<sub>2</sub>では8.6%~13.9%、VEでは9.6%~14.6%と少なく、その再現性は高かった。RR、TVでは定負荷運動開始後0分の時点でRRが26.4%、TVが27.7%、5分の時点ではRRが22.2%と変動率がやや大きかったが10分以降ではどちらのパラメーターも変動率は少なく、再現性が高かった。(表2)

試行順での比較は、各パラメーターにおける有

意差はなかった。また、Bland-Altman法においてもVO<sub>2</sub>、VCO<sub>2</sub>、VEでは運動条件と同様に変動率は少ないものの、RR、TVは0分、5分で変動率がやや大きかった。しかし、10分以降では変動率は少なく、再現性は高かった。

心理面の結果として、RPEにおける運動条件での比較では、運動終了時(20分)の平均値がVISUALは14.0±1.1、CONTROLは14.1±2.6とほとんど同値を示しており、運動中のRPEの経時変化に関してもtwo-way repeated measured ANOVA



表2 Bland-Altman 法 (実験2)

Table 2 Bland-Altman method at experiment 2

		0 (分)	5 (分)	10 (分)	15 (分)	20 (分)
HR	LLA	23.737	14.790	19.167	19.873	19.551
	ULA	-16.570	-8.290	-10.001	-10.707	-9.717
	CV	0.094	0.043	0.052	0.053	0.049
VO <sub>2</sub>	LLA	-2.944	-5.733	-10.454	-7.717	-8.844
	ULA	1.798	4.912	8.322	7.838	5.692
	CV	0.078	0.110	0.095	0.155	0.149
VCO <sub>2</sub>	LLA	-187.651	-279.870	-324.148	-223.412	418.191
	ULA	252.317	253.703	439.815	390.079	404.191
	CV	0.123	0.086	0.124	0.100	0.139
VE	LLA	-7.369	-12.172	-11.037	-8.253	-14.190
	ULA	6.004	9.082	11.679	9.677	13.423
	CV	0.123	0.118	0.122	0.096	0.146
RR	LLA	-14.540	-13.836	-10.399	-12.991	-11.049
	ULA	6.440	8.120	4.566	6.874	9.232
	CV	0.264	0.222	0.142	0.192	0.175
TV	LLA	-530.339	-543.950	-414.149	-362.763	-258.973
	ULA	1111.839	949.283	920.316	859.596	351.139
	CV	0.277	0.198	0.182	0.164	0.092

LLA ; lower limit agreement, ULA ; upper limit agreement, CV ; coefficient of variability

で統計処理を行ったところ $p=0.857$ でVISUALとCONTROLの間に有意差は認められなかった。(図5)

次に運動終了後のVASでは、運動条件の各群において下肢の疲労度、呼吸状態、運動の快適度の平均値に有意差はなかったものの、各項目で数値がVISUALの方が大きかった群、CONTROLの方が大きかった群、差がなかった群ではほぼ均等に分かれていた。(図6)

さらにアンケートでは、「運動にVRを使用した方が良かったか、否か」の問いにおいて「使用した方が良い」と答えたのが4人、「使用しないほうが良い」は7人、「どちらでもない」が1人であった。

さらに「スピード感はどうだったか」の問いに対して「遅い」、「違和感がある」と不快感を訴えるものが12人中8名と多いが、後の4名は「ちょうどいい」という意見だった。「運動中の気分はどうだったか」に対しては「不快」を訴えるものが10名で、逆に「快適だった」と答えたものが2名いた。「どのような映像が良いか」という問い

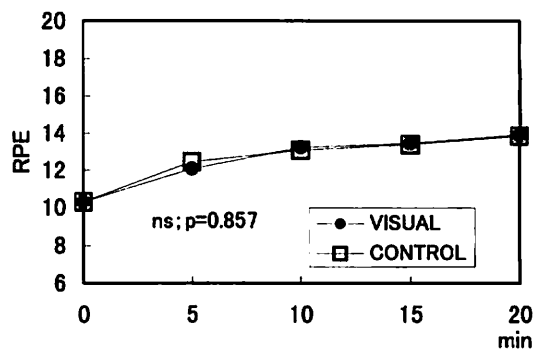


図5 RPEの変化 (実験2)

Fig. 5 Changes in RPE at experiment 2

VISUAL ; Exercise in Virtual Reality

に関しては被験者全員異なる回答をしていたが、変化があり、「レジャー感覚が持てる映像」という意見がみられた。

## IV. 考 察

### 1. 呼吸循環器系への影響

今回の実験では、漸増負荷運動、定負荷運動ともに有酸素運動や持久力トレーニングとして用い

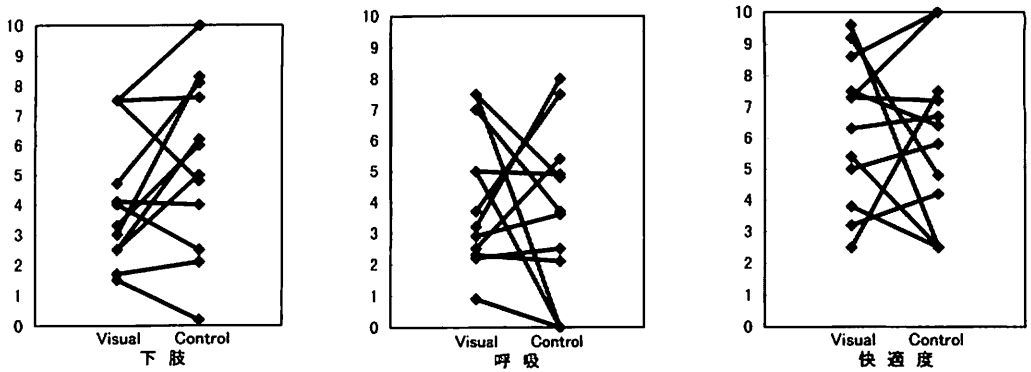


図6 VASによるVISUALとCONTROL 間の比較  
 Fig. 6 Comparison of VAS between VISUAL and CONTROL  
 VISUAL ; Exercise in Virtual Reality

る中等度 (40%HRmax) 以上の負荷にて、HR、さらに $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ においても二つの運動条件の間では高い再現性が得られた。心拍数は交感神経と副交感神経 (迷走神経) の二重神経支配にて調節されており、それぞれの神経の活動亢進が心拍数の増減に影響をもたらしている一因である。交感神経は、心理面の興奮・緊張状態の時には活動亢進となり心拍数を増加させ、副交感神経は心理的なリラクゼーションにより活動が亢進し逆に心拍数を減少させる。

今回は公道を自転車で走っているという現実感を追求した仮想環境を用いたことにより、心理的な大きな変化が要因となって交感神経あるいは副交感神経の活動が大きく亢進することはなく、その結果心拍数に与える影響は少なかったと考えられた。また、呼吸に関しても $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ においては今回用いた仮想環境の影響は少なく、通常の運動と同様の呼吸循環応答が得られたと考えられ、仮想環境下の運動においても効果的な運動が遂行可能であることが示唆された。

しかしRR、TVIに関しては有意差はみられなかったものの、漸増負荷運動時に比べ定負荷運動時においては定負荷運動開始後0分、5分の時点で変動率が $\dot{V}E$ に比べてやや大きく、負荷方法による呼吸パターンの違いによって変動が大きくなった可能性が考えられた。さらに、漸増負荷運動時においても低い負荷の時点では中等度から高度の負荷に比べ変動率が大きかったことや、実験2の

warming up (低負荷) から定負荷運動 (中等度負荷) に移行する間の低い負荷強度の時間帯は変動率も大きく、負荷強度によっても呼吸パターンがばらついた可能性がある。しかし、低い負荷での運動時において仮想環境が呼吸反応 (パターン) にどの程度の影響を及ぼすかについては明確になっておらず、今後検討していく必要があると思われる。

## 2. 心理面への影響

今回用いた仮想環境下ではRPEにおいて有意差を生じなかったが、RPEと心理面の関連を研究したものの中に、自転車エルゴメーター駆動中にディスコ音楽を用い、音楽なしの場合と比較して、HR、 $\dot{V}O_2$ などの呼吸循環器系の影響はみられないが、RPEが有意に低くなったとする藤縄らの報告<sup>5)</sup>もあり、映像用いた仮想環境下で自転車エルゴメーター駆動を行った場合でも、VRの環境によってはRPEに影響を与え、映像なしの場合と差を生じさせる可能性も考えられる。さらにRPEを決定する大きな要因となりうる心拍数も、先に述べた通り心理面への影響により変化する可能性もあり、仮想環境 (映像) による呼吸循環器応答や心理面の差異についてはさらに検討する必要があると思われる。

今回の実験では下肢の疲労度、呼吸状態、運動の快速度のVASにおいて運動条件ごとの平均値に有意差はなかったが、個人レベルで比較すると数

値がVISUALの方が大きかった者、CONTROLの方が大きかった者、差がなかった者でほぼ均等に分かれており、これは仮想環境により個々の心理面に与える影響が異なるためと考えられた。

アンケートでは「運動にVRを使用した方が良かったか、否か」の問いには使用しない方が良いと答えた人が過半数だった。これはその他のアンケートでもあったように、映像のスピードがペダリング動作と合わず違和感があったり、ヘッドマウントディスプレイの窮屈感などにより不快感を訴えるものが多かったことから、運動中の不快感が心理的には負担となったためと考えられる。その一方で、使用した方が良かったと答えた人では、気がまぎれて楽しかったという意見もあり、運動と映像のマッチングや機器の改良が進めば、運動の導入にあたっての動機付けや運動意欲の向上につながる可能性もあると考えられた。

さらに、藤江ら<sup>1)</sup>がVRを用いた歩行訓練機器で高齢者に対し数種類の映像を用いたところ、公園散歩の映像ではそれを好む人、好まない人に分かれてしまったり、寺院巡りの画像は好評で訓練に対するモチベーションが得られたが10代の男性には不評だったと報告しているように、映像の種類による影響も考えられる。今回我々が行ったアンケートでも希望する映像が全員異なっていたように、同世代の男性であっても好みの映像が異なっている。従って運動中の心理的な負担の軽減、さらに運動に対するモチベーションの向上を得るためには、個人レベルで心理的に快適さ、楽しさの持てる映像・環境を設定して行う必要がある。

今後はさらに機器が改良され、個人に合わせた仮想環境で運動を行うことが可能になれば、運動に対するモチベーションの向上がはかられ、効果的な運動を心理的な負担を少なくして行うことができると思われる。

## V. まとめ

1) 自転車エルゴメーターでの各種運動(漸増負

荷運動、定負荷運動)時に視覚刺激による仮想環境が呼吸循環応答や心理的要因に与える影響を調査した。

- 2) 呼吸循環応答は漸増負荷運動、定負荷運動の両方においてVISUALとCONTROLの間に有意な差がなく、高い再現性が得られた。
- 3) 心理的要因を表すRPEやVASにVISUALとCONTROLの間に有意な差がなかったが、VASにおいて個人で検討してみるとVISUALとCONTROLの間で差がない人だけでなく、大きな差がある人も多かった。
- 4) これにより仮想環境を用いても通常の運動と同等の呼吸循環応答が得られることが確認でき、さらに心理面においては個人間で反応が異なり個人に対応した仮想環境を設定する必要性が示唆された。

本研究の一部は第16回神奈川県理学療法士学会にて報告した。

## 参考文献

- 1) 藤江正克, 土肥健純, 根本康弘他: バーチャルリアリティーを活用した歩行訓練機器. BME12 (8): 29-36, 1998
- 2) 竹田 仰, 中山彰一, 広川 謙, 高比良謙吾: VR技術を用いたトレーニング機器の開発. 第11回生体・生理工学シンポジウム論文集: 33-36, 1996
- 3) 木村哲彦, 野村淳二, 吉田幸男, 四宮葉一: リハビリテーションにおけるVR技術の応用と今後の可能性 生馬シュミレーションの開発と医学的応用の可能性. 新医療11. 101-103, 1997
- 4) 二瓶健次: 患者アメニティに役立つバーチャルリアリティー. 医療とコンピュータ 9 (7), 21-26, 1997
- 5) 馬場礼三: 検査値の信頼性と測定誤差. 医療体育17 (2): 94-99, 1998
- 6) 藤縄 理, 大竹 昭, 三浦望慶: ディスコ音楽が自転車エルゴメータ駆動中の主観的運動強度に及ぼす影響. 運動・物理療法 9 (2) 127-131, 1998

# 皮質骨の破壊靱性について

菊川久夫 (医学部整形外科教室) 福田宏明 (医学部整形外科教室)

康井義明 (工学部動力機械工学科)

## Fracture Toughness of Cortical Bone

Hisao KIKUGAWA, Hiroaki FUKUDA  
and Yoshiaki YASUI

### Abstract

To establish a preventive method against injuries caused by sports, it is necessary to clarify fracture characteristics of tissues. In this study, fracture toughness, which is characteristic to prevent cracks in bones, evaluated with bovine cortical bones. We studied the relationships between fracture toughness and bone density, which could be closely related to the decrease of bone strength. The change of fracture toughness and bone density explained with Weibull distribution, and there was a positive correlation between them. The results we obtained in this study are important in making simulation models of bone fracture development. (Tokai J. Sports Med. Sci. No. 12, 62-66, 2000)

## 1. はじめに

スポーツ選手は極限の関節機能を要求されるため、関節や骨格に加わる負荷は大きく、関節障害を生ずる機会も多い。一方、疲労骨折は軽微な機械的刺激が持続的の反復外力により骨組織に亀裂をきたすもので、短時間に加わる外力による骨折とは区別されている。近年これらは、スポーツ障害としても注目され、その多様化に伴い脛骨、腓骨、大腿骨あるいは中足骨など各部位に見受けられている。

生体を材料力学的観点から見た場合、疲労骨折の発生に関与する因子として、骨の力学的強度がまず挙げられる。これらの予防のためには、スポ

ーツ活動において、骨の破壊抵抗および骨折過程を十分考慮した上でトレーニング等を行うべきである。

また、CAEの医学への応用が進み、整形外科領域ではFEM解析などにより、骨折進展シミュレーションが可能となりつつある。しかし、破壊靱性をはじめとするヒトの骨の物性が正確に把握されていないため、結果の信頼性については疑問が残るところである。

本研究では、骨中をき裂が進展しにくい性質である、破壊靱性の評価をウシ皮質骨を用いて行った。今回はまず、本実験へのウシ大腿骨の使用について検討し、骨強度の低下と深い関係にあると考えられている骨密度と破壊靱性の関係および実験データに対する両者の変動について調べたので報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

実験に用いた皮質骨は、約-30℃で冷凍保存された生後14~15ヶ月の新鮮なウシ大腿骨中央骨幹部1/3より採取した。これらをASTM E399<sup>1)</sup>に準じて、図1に示すようなコンパクトテンション試験片を機械加工により作成した。また、試験片の骨密度の測定はアルキメデス法により行った。

### 2.2 試験装置

破壊靱性試験には、インストロン材料試験機 (Model 1000) を用い、負荷速度を5 mm/min (ひずみ速度  $\dot{\epsilon} = 10^{-2} \text{S}^{-1}$ ) で行った。試験片にあけた2つの穴に通した鋼製ピンを介し引張力を加え、荷重-変位曲線を記録した。

### 2.3 破壊靱性の定量的評価<sup>2)</sup>

主として金属材料などの均質等方性材料に対し確立された破壊力学にもとづく手法が、骨に適用できるのか問題の残るところではあるが、金属材料の破壊靱性試験と同様な方法で求めた骨の破壊靱性値  $K_I$  とコンプライアンス法を用いて求められたエネルギー解放率  $G_I$  の間には式(2.1)のような比例関係がある程度成立している。

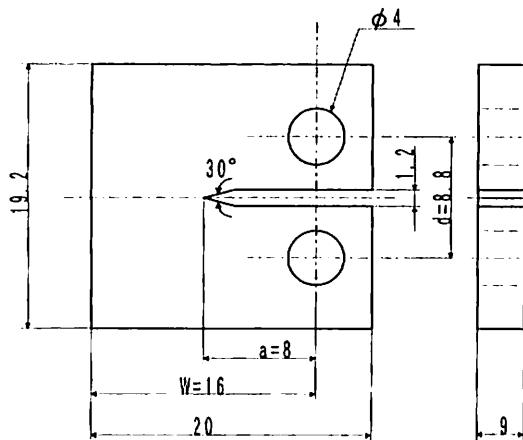


図1 コンパクトテンション試験片の外観と寸法 (単位mm)  
Fig. 1 Compact tension specimen and dimensions (in mm)

$$K_I = CG_I^{1/2} \quad (2.1)$$

ここで、 $C$ は材料定数によって決定される値である。よって、破壊靱性値を次式で与えることにする。

$$K_I = Pf(\zeta) / |BW|^{1/2} \quad (2.2)$$

$$\zeta = a/W \quad (2.3)$$

$$f(\zeta) = \{ (2 + \zeta)(0.886 + 4.64\zeta - 13.32\zeta^2 + 14.72\zeta^3 - 5.6\zeta^4) / |(1 - \zeta)^{3/2}| \} \quad (2.4)$$

ここで、 $P$ は荷重、 $B$ は試験片厚さ、 $W$ は試験片幅、 $a$ はスリット長さおよび  $f(\zeta)$  は形状因子である。

### 2.4 骨の破壊靱性および骨密度の変動モデル

材料の特性を現わす分布関数形として、ワイブル分布は最弱リンク説にもとずいているので、強度特性を現わすのに最も適当であると考えられている<sup>3)</sup>。そこで本実験ではワイブル分布を用いてデータの整理を実施した。式(2.5)から式(2.7)にその破壊確率 (分布関数)  $F(x)$ 、平均値(期待値)  $\mu$  および分散  $\sigma^2$  を示す。

$$F(x) = 1 - \exp(-x^m/a) \quad (2.5)$$

$$\mu = a^{1/m} \Gamma(1/m + 1) \quad (2.6)$$

$$\sigma^2 = a^{2/m} [|\Gamma(2/m) + 1| - |\Gamma(1/m) + 1|^2] \quad (2.7)$$

ここで  $m$  は形状母数 (ワイブル係数)、 $a$  は尺度母数および  $\Gamma$  はガンマ関数である。特に  $m$  の値が大きいほど  $x$  のばらつきが小さい事を示している。実験データをワイブル解析する方法として、通常ワイブル確率紙<sup>4)</sup>が用いられるが、確率紙にプロットしたデータを一次直線で近似するため正確な  $m$  および  $a$  の値を得にくい。そこで本研究では累積確率を平均ランク法によって求め、ワイブル確率紙上にプロットした実験結果を、最尤法<sup>5)</sup>を用いて精度よく決定した。

## 3. 結果

図2は本実験に使用した試験片の骨密度をワイブル確率紙上に整理したものである。図中の実線

は2母数のワイブル分布である。仮定した分布は実験値をよく近似していることがわかる。試験片20本で、平均値は $2.097\text{g/cm}^3$ 、分散は $3.275 \times 10^{-2}$ およびワイブル係数 $m$ は58.75であった。

図3は破壊靱性試験により得られた典型的荷重-変位曲線の一例である。荷重-変位関係は、ほぼ直線的に増加し最大荷重に達した後、き裂が進展している。そこで破壊開始荷重を $P=P_{\text{max}}$ とし式(2.2)を用いて破壊靱性値 $K_{Ic}$ を算出した。

図4は、図2の試験片に対して得られた $K_{Ic}$ 値をワイブル確率紙上にプロットしたものである。骨の破壊靱性についてもワイブル分布で十分表現できることがわかった。平均値は $3.520\text{MPa m}^{1/2}$ 、分散は0.5709およびワイブル母数 $m$ は10.83であった。

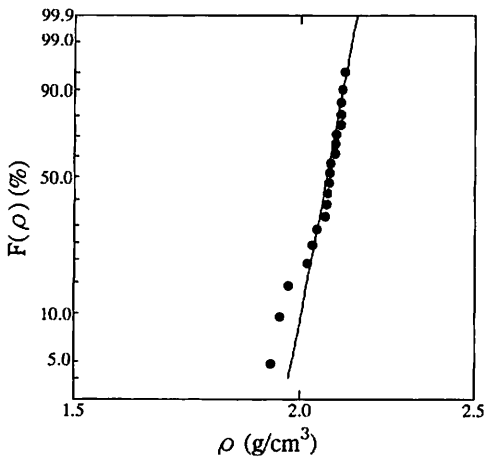


図2 ワイブル確率紙上にプロットされた骨密度分布  
Fig. 2 Distribution of bone density plotted on Weibull probability paper

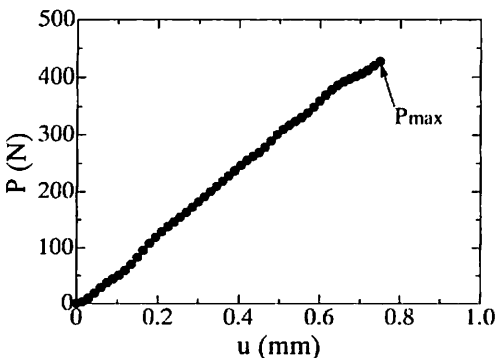


図3 荷重-変位曲線  
Fig. 3 Load-displacement curve

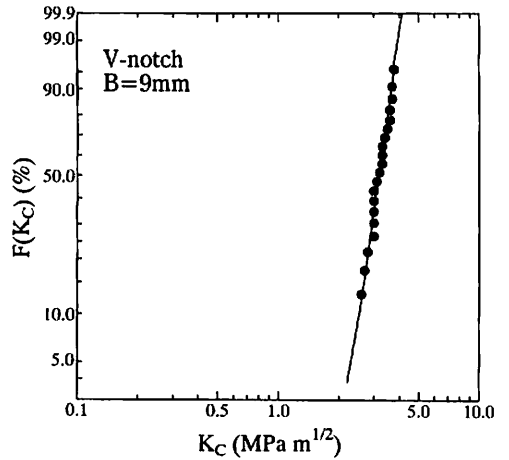


図4 ワイブル確率紙上にプロットされた破壊靱性分布  
Fig. 4 Distribution of fracture toughness plotted on Weibull probability paper

## 4. 考 察

### 4.1 ウシ皮質骨の使用について

ウシ皮質骨は機械的特性が人間に近いとされている。また、材料が豊富に入手でき、系統的研究ができるという理由から、この種の研究には頻繁に用いられている。しかし、その組織や力学的特性の相違については調べられておらず、これらの結果をもって、データの限られたヒト皮質骨の破壊靱性を論じるには無理がある。本研究ではまず、ウシとヒト皮質骨の材料特性について比較した。

一般に皮質骨の構成材料の簡単な定量は難しい。しかし、その構造はカルシウムアパタイトやコラーゲン線維が層板構造を成している点で、動物種に共通である。ウシ長管骨(大腿骨および脛骨)皮質骨の骨軸方向の機械的特性(ヤング率、強度、破断ひずみ)について、ヒトのそれと比較

表1 ヒトおよびウシの機械的特性の比較  
Table1 Mechanical constant ratio of human and bovine long bone

	Young's modulus E	Ultimate strength $\sigma_u$	Ultimate strain $\epsilon_u$
Tension	1.1	0.9	0.6
Compression	1.2	1.1	1.0

(ウシ/ヒト)してみると表1<sup>6)-14)</sup>のようになる。ヤング率は引張特性も圧縮特性も若干ウシ皮質骨が大きく、強度についてはほぼ同等である。破断ひずみは引張破断ひずみで0.6とウシ皮質骨が低値を示したが、いずれにしてもオーダー的には大差ない。

また、骨密度についても、本実験で使用したウシ大腿骨の平均値は $2.097\text{g/cm}^3$ であり、ヒト大腿皮質骨数百例に対して行った平均値 $1.9\text{g/cm}^3$ と比較的近い値を示している<sup>15)</sup>。よって力学的特性の面では、ウシ皮質骨を実験に用いても差し支えないと考える。

#### 4.2 破壊靱性および骨密度の変動について

骨は複雑な微視的非均質材料であり、組織的に同一な試験片を2つと作成することは不可能である。よって破壊靱性値や骨密度は、試験片によって大きく変動すると考えられる。そのため、得られたデータを単純に算術平均と標準偏差で表す従来の評価では、特性の変動を的確に把握しているとは言い難い。したがって、骨折予防を意図した骨折進展シミュレーションを行う場合には、骨の物性が最初からばらつく量として理解できれば都合がよい。よって、本実験では骨の特性の変動を現わすモデルとして、ワイブル分布を採用した。この理由として、骨は一般的に準脆性材料といわれていることや、試験片の破断面がへき開様の破壊を呈していたからである。図2および4にそれぞれ示したように、骨密度および破壊靱性値の両者とも、ワイブル分布で十分整理可能であることが、本実験結果より明らかとなった。そして、両者ともその特性に大きな変動を有していることがわかり、本研究のような、骨の力学的特性評価に対する確率論的破壊力学適用の必要性が示唆された。

#### 4.3 破壊靱性値と骨密度の関係について

握力<sup>16)</sup>や背筋力<sup>17)</sup>などと骨密度の関係については、スポーツ群とそうでない群において、両者に有意な相関を認めるとの報告も多い。これらはト

レーニングなどにおける機械的刺激 (Mechanical stress) が骨量の増加につながると考えられている<sup>18)</sup>。また、石原<sup>19)</sup>らは、ウシ皮質骨の疲労破壊過程におけるき裂発生と進展挙動を実験的に調査し、これらにもとずいて疲労過程のシミュレーションを行っている。その結果、疲労寿命ならびにき裂進展寿命に及ぼす骨密度の影響がきわめて大きいと述べている。そのため破壊靱性との間にも類似の関係が存在することが予想される。しかし、ウシ大腿皮質骨の破壊靱性と骨密度の関係については、実験例が限られ、不明な点が多い。

Wright<sup>20)</sup>らは、ウシ大腿骨の破壊靱性 $K_c$  (MPam<sup>1/2</sup>) とその乾燥骨密度 $\rho_D$  ( $\text{g/cm}^3$ ) の関係を調査している。その結果を一次関数で近似すると次式を得る。

$$K_c = 9.03 \rho_D - 14.1 \quad (r=0.625)$$

しかし、ここでいう骨密度は骨の乾燥状態の密度であり、生理的状态からはかけ離れている。これに対し、湿潤骨の骨密度 $\rho_w$ をアルキメデス法を用いて測定した本実験結果においては、高い相関係数を有する次の直線関係を得た。

$$K_c = 13.8 \rho_w - 24.9 \quad (r=0.741)$$

乾燥骨密度と湿潤骨密度の違いこそあるが、いずれも破壊靱性と骨密度の間には正の相関関係が存在する。

4.2節および本節で述べた結果は、今後、ヒトの骨密度データの蓄積によりヒト皮質骨の破壊靱性が予測可能となれば、精度の高い骨折進展シミュレーションの一助となり得るであろう。

## 5. ま と め

ウシ大腿皮質骨を用い、破壊靱性値と骨密度の関係について調査した。その結果、破壊靱性値および骨密度の変動はワイブル分布で表現でき、さらに両者の間には正の相関関係があることがわかった。得られた結果は、骨折の予防を意図した骨折進展シミュレーションモデル作成にあたり、重要な知見となり得ると考えられる。

本研究は、東海大学スポーツ医科学研究所臨床医学研究室および関係研究室内の設備を用いて行われたものである。試験片の作成にご協力いただいた本学工学部生産機械工学科（機械系工場）佐藤清技師補に感謝いたします。なお、試験片の製作および実験に対しては、工学部動力機械工学科康井・森山研究室卒研生の河西慶治および押見友二両君の援助によるところが大である。

参考文献

- 1) ASTM Standards E399-90. American society for testing and materials, Philadelphia, PA, USA.
- 2) 菊川久夫, 康井義明, 戸松泰介: 皮質骨の破壊じん性に及ぼすひずみ速度の影響, 日本材料学会誌「材料」, Vol. 49, No. 3, 2000. (掲載決定).
- 3) 藤井太一, 座古 勝: 複合材料の破壊力学, 実教出版, 169-171, 1978.
- 4) 真壁 肇: ワイブル確率紙の使い方—信頼性のための統計的解析—, 日本規格協会, 33-69, 1966.
- 5) 中川 徹, 小柳義夫: 最小二乗法による実験データ解析, 157-176, 1982.
- 6) 武藤友三: 緻密骨質の圧縮試験に関する基礎的研究, 京府医大誌, 49, 567-589, 1950.
- 7) 横尾定美: 人の四肢長骨の緻密骨質及び骨幹の圧縮特性, 京府医大誌, 51, 291-313, 1952.
- 8) 黄 令焯: 人の四肢長骨の緻密骨質の引張特性, 京府医大誌, 53, 503-525, 1953.
- 9) Sweeney A. W., Byers R. K. and Kroon R. P.: Mechanical characteristics of bone and its constituents, American society of mechanical Engineers publication, #65-WA/HUF-7, 1-17, 1965.
- 10) Burstein A. H., Zika J. M., Heiple K. G. and Klein L.: Contribution of collagen and mineral to the elastic-plastic properties of bone, J. Bone Joint Surg., 57-A, 956-961, 1975.
- 11) Burstein A. H., Reilly D. T., and Martens M.: J. Bone Joint Surg., 58-A, 82-86, 1976.
- 12) 小川公平, 木村 賛, 石山晃夫: ヒト脛骨の方向依存性, 日本複合材料学会誌, 3, 32-37, 1977.
- 13) 山田 博: 人体の強度と老化, 日本放送出版協会, 1979.
- 14) 井上重洋, 井上 望, 日下部虎夫, 山下文治, 榎田喜三郎, 平井恒夫, 片山伝生: 皮質骨の微視破壊過程—引張り試験におけるアコースティックエミッション特性—, 整形外科バイオメカニクス, 8, 59-63, 1986.
- 15) Evans F. G.: Mechanical properties of bone, Charles C. Thomas, Illinois, 1973.
- 16) 沖汐美由紀, 太田由美, 田井美穂: 体格・体力と骨密度との関連, 体力科学, 41, 742, 1992.
- 17) 辻 秀一, 勝川史憲, 大西祥平: 若年アスリートの腰椎骨塩量と背筋力—新しい背筋力測定器 MedXを用いて—, 臨床スポーツ医学, 10, 707-711, 1993.
- 18) Fehling P. C., Alekel L., Clasey J.: A comparison of bone mineral densities among female in impact loading and active loading sports, Bone, 17, 205-210, 1995.
- 19) 石原外美, 五嶋孝仁, 東川 弥, 永森 治: 牛ち密骨の疲労過程のき裂発生, 進展特性と疲労過程のコンピュータシミュレーション, 日本機械学会論文集 (A編), 62, 640-646, 1996.
- 20) Wright T. M. and Hayes W. C.: Fracture mechanics parameters for compact bone—Effects of density and specimen thickness—, J. Biomech., 10, 419-430, 1977.



# 学生スポーツ選手の発作性上室頻拍 に対しカテーテルによる 心筋焼灼術が有効であった2例

出口喜昭、 田邊晃久、 岩田 理、 相川 実、  
楠崎 滋、 吉岡公一郎、 北田 守、 半田俊之介

(医学部循環器内科)

## はじめに

カテーテル・アブレーション（心筋焼灼術）とは電極カテーテルを経皮経血管性に心腔内に挿入し、カテーテル先端電極と体表面に装着した対極板との間で通電を行い、心筋標的部を焼灼し頻拍を根治的に治療する方法である<sup>1)</sup>。現在、エネルギーは高周波が一般であるがその歴史は1987年のBorggreffeらのWPW症候群の副伝導路焼灼に始まる<sup>2)</sup>。本邦でも1990年代に入ってから不整脈専門医の勤務する循環器病専門施設を中心に普及し始めた。1994年以降1997年までの集計では対象不整脈はWPW症候群の頻拍43.5%、発作性房室回帰性頻拍22.0%、発作性心房粗動15.4%、非心筋梗塞の心室頻拍10%、心房頻拍4.8%、その他4.3%という<sup>3)</sup>。

激しいトレーニングを行っているスポーツ選手は安静時に迷走神経緊張優位による徐脈性不整脈が起きやすいのはよく知られる<sup>4) 5)</sup>。一方、スポーツ選手は一般健康人に比べ運動中の心室性不整脈の出現率が高いといわれる<sup>6)</sup>。スポーツ選手が前述の頻拍症発生頻度が高いとの報告はないが、既往がありたまたま運動時などに発生し救急車な

どで病院に移送されることはときにある。以上の頻拍は発生すると数分から数時間、さらに長いときには数日以上持続することもある。多くは、自然または治療により停止するが稀に突然死の誘因ともなる。従来、このような例では薬剤を定期的な内服し頻拍発生を予防するかあるいは発生してから抗不整脈薬静注などで停止させてきた。しかし、根本治療ではないため次回の発作は予知なく起こる。

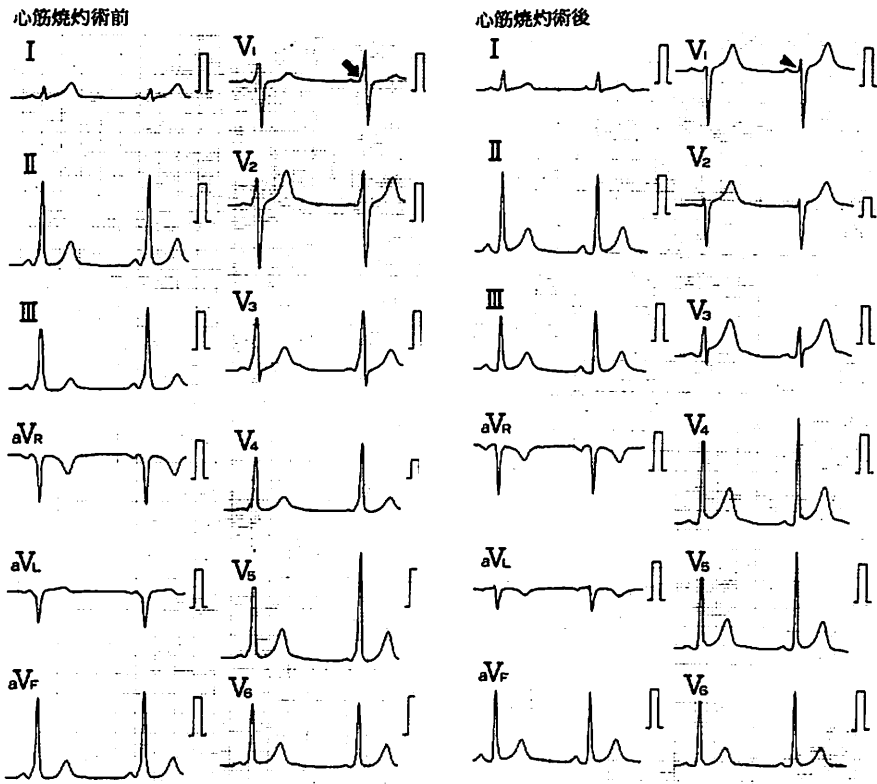
我々は、現役の学生一流スポーツ選手で、一瞬の跳躍、シュートなどで頻拍が発生し、不安と苦痛に人知れず耐えてきた頻拍例に心筋焼灼術を行い、根治的に頻拍発生の治療を行い得た2例を経験した。同様な例は潜在的に少なくないものと推察されるためここに報告し、今後の頻拍に悩むスポーツ選手に有効性の大きい治療法があることを紹介したい。

## 症例1. 19歳男性。大学ラグビー選手

小学2年ごろより稀に発作性に動悸の生じることはあったが、数分で停止するためとくに治療はしなかった。高校入学後より運動時に頻拍発作が

生じやすくなり、某医院受診によりWPW症候群と診断された。しかし、発作時の頻拍は心電図では確認されていなかった。大学に入ってから発作はときどきありラグビー選手として支障が生じてきたため当病院循環器内科を受診した。図1左側に来院時心筋焼灼前の12誘導心電図を示す。外来で24時間連続心電図（ホルター心電図）記録を行ったところランニング中にWide QRS tachycardia（副伝導路通過の発作性心房細動？）を認めため（図2）電気生理学的検査、心筋焼灼術施行目的で入院した。電気生理学的検査ではカテテル電極を高位右房、ヒス束位、右室心尖部、冠静脈内の計4本挿入し、刺激と記録を繰り返すことにより、発作の誘発を試み副伝導路を求めた。副伝導路は図3Aの矢頭印で示す冠静脈内に留置したカテテル先端電極に近い位置にあった。こ

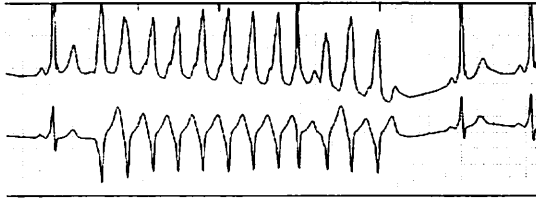
こに大動脈を経由して挿入した心筋焼灼カテテル電極の先端より高周波通電を行い、副伝導路を離断した。図3Bは心腔内と焼灼用カテテル電極の位置を模式化して示した図である。図4は電気生理学的検査時の心筋焼灼前、頻拍発作中、心筋焼灼至適部位検索、副伝導路離断後の体表面心電図（II、V<sub>1</sub>）と心腔内心電図（HRA、CSp、CSm、CSd、His、RV）を左から経時的に示す。副伝導路離断前では心筋焼灼至適部位のCSd（冠静脈内電極遠位部）に示すように心房波（A）と心室波（B）は直接連結している。この部をねらい高周波（25W、30秒間）を通電したところ最右図（副伝導路離断後）のCSdに示すように心房波（A）と心室波（B）は離れた。このことは本例の副伝導路が適切に離断したことを意味する。実際、検査時容易に誘発された頻拍発作は副伝導路離断



19歳 男性、WPW症候群

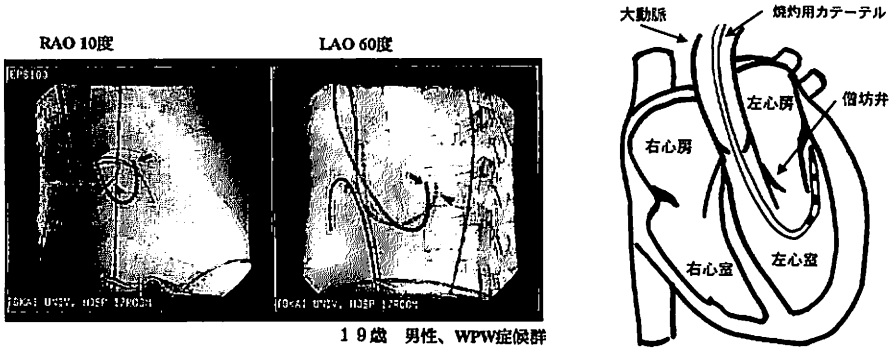
図1 心筋焼灼前（左図）と焼灼後（右図）の12誘導心電図。WPW症候群における心電図の特徴はPQ時間短縮、QRS幅延長、 $\delta$ （デルタ）波の存在である。左図のV<sub>1</sub>誘導の矢印の部がデルタ波で副伝導路の存在を意味する。右図の焼灼成功による副伝導路離断後はデルタ波は消失している（矢頭印）。

学生スポーツ選手の発作性上室頻拍に対しカテーテルによる心筋焼灼術が有効であった2例



19歳 男性 WPW 症候群

図2 ホルター心電図記録時に認められた運動時のWide QRS tachycardia.



19歳 男性、WPW症候群

図3 WPW症候群A型患者における電気生理学的検査、心筋焼灼時の電極カテーテルの位置 (A) と心腔内と焼灼カテーテル電極位置図の模式図 (B)。

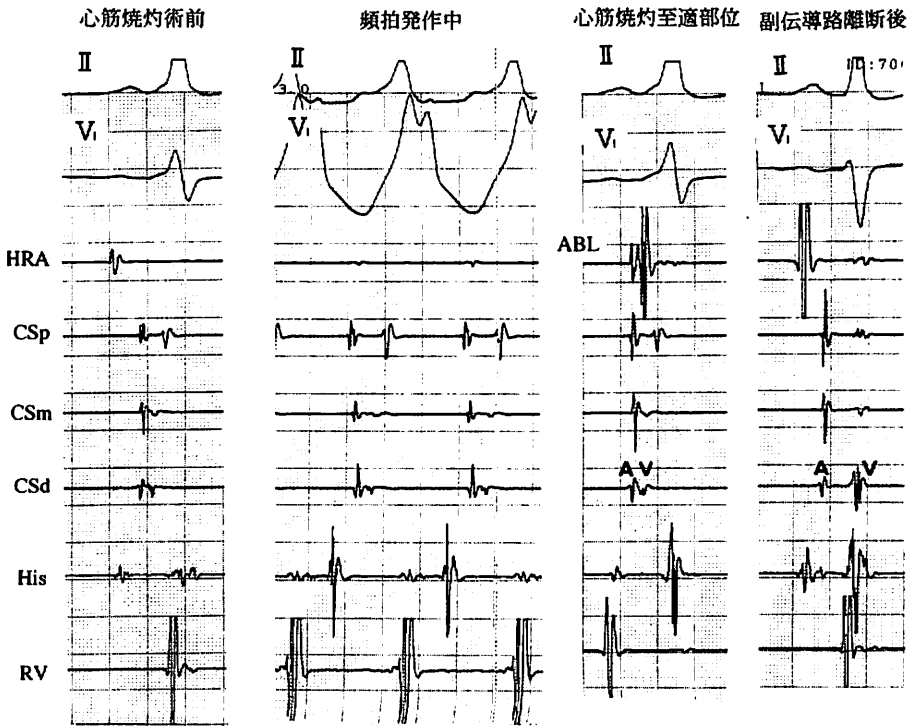


図4 心筋焼灼術前、頻拍発作誘発中、心筋焼灼至適部位決定、副伝導路離断後の心腔内心電図。HRA、高位右房；CSp、冠静脈洞近位部；CSm、冠静脈洞中間位；CSd、冠静脈洞遠位部；His、ヒス束電位；RV、右室心尖部電位。A、心房電位；V、心室電位。

後には全く誘発されなくなり、標準12誘導心電図でも心筋焼灼術前にみられたWPW症候群に特徴的なデルタ波（矢印）（図1左側）は心筋焼灼術後には消失（矢頭印）（図1右側）している（図1右側）。このことより治療は成功と考え手技を終了とした。以後、外来で経過観察していたが3カ月を経ても全く頻拍発作はないため通院も打ち切った。

## 症例2. 17歳男性。高校バスケットボール選手。

小学校のときはとくに動悸、息切れなど心臓に関する症状はなかった。中学時よりバスケットボール部に属しハイレベルの選手として活躍してきた。心電図記録に異常なく、また激しい練習でもとくに心臓に関する症状は出現しなかった。高等学校入学後もバスケットボール部に属し活躍してきたが、1年生の夏ごろよりとくに何の予告もなく突然胸が焼きつくような動悸が生じるようになった。当初は月に1～2度であったが、高校3年に入ってから次第に頻度は増し、とくにバスケットボールの練習中にはしばしば発作し、シュートは発作誘発の引きがねとなった。発作時には苦しさのためうずくるま姿勢をとり休養した。発作の持続時間は短いときで数分、長いときで30分以上であった。一時期抗不整脈薬内服投与と運動中止で発作は幾分軽減したが、本人がバスケットボール選手としての活躍を強く望んだこと、抗不整脈薬の効果には限度があることにより電気生理学的検査、心筋焼灼術施行目的で入院となった。

図5はホルター心電図記録中にバスケットボールの練習をしたときに生じた頻拍である。QRS幅の延長はなく、RR間隔は一定で心拍数に換算すると182拍/分であることから発作性上室頻拍が疑われる。入院後、心臓電気生理学的検査施行を行い、高位右房に留置したカテーテル電極よりプログラム電気刺激法による頻拍誘発を試みると心拍数180拍/分の頻拍が誘発された（図6A、図6B）。本人の話よりいつも運動時に生じる頻拍発作と同じとの事で本例の頻拍は発作性上室頻拍のなかの房室結節回帰性頻拍と診断した。発作性

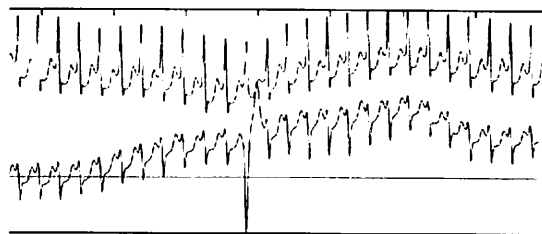


図5 17歳男性。発作性上室頻拍時のホルター心電図。

房室回帰性頻拍は伝導の速い線維（fast pathway、 $\beta$ 線維）と伝導の遅い線維（slow pathway、 $\alpha$ 線維）を巡回する頻拍でありslow pathwayを離断すると巡回が生じず、頻拍は起きなくなる。そこでslow pathwayに慎重に焼灼用カテーテル電極を近接させ高周波通電を行った。至適部位焼灼により接合部調律（slow pathwayの離断時に生じる）確認した。念のため、離断前と同じ条件で頻拍誘発を試みたが頻拍は誘発できなかった（図7）。以降、外来では無投薬での経過観察を行い、バスケットボール部の活動も再開したが運動中を含め1回も頻拍発作は見られていない。

## 考察

症例1はWPW症候群患者で、大学ラグビー選手である。大学に入ってから発作的に生じる頻拍のため選手としての活動のみでなく日常生活にも支障がでるようになった。そのため、精査、治療を希望し来院したが、カテーテル・アブレーションによる頻拍根治治療が適応と判断し勧めた。WPW症候群はWolff、ParkinsonおよびWhiteによって提唱された概念であり、短いPQ時間、QRS延長、発作性上室頻拍を起こす例として報告されている<sup>7)</sup>。心電図のPQ時間短縮、QRS延長は通常の房室結節伝導の経路のほかにKent束とよばれる副伝導路をも伝導するため、双方興奮の融合波としての結果である。頻拍としては、発作性上室頻拍、発作性心房粗・細動が起こるが、いずれも副伝導路が興奮通路となるために生じる。したがって、副伝導路を離断すれば本来の房室結節を通る伝導のみとなり発作性上室頻拍は生じず、心房細動も副伝導路関与のものは起こらなくなる。

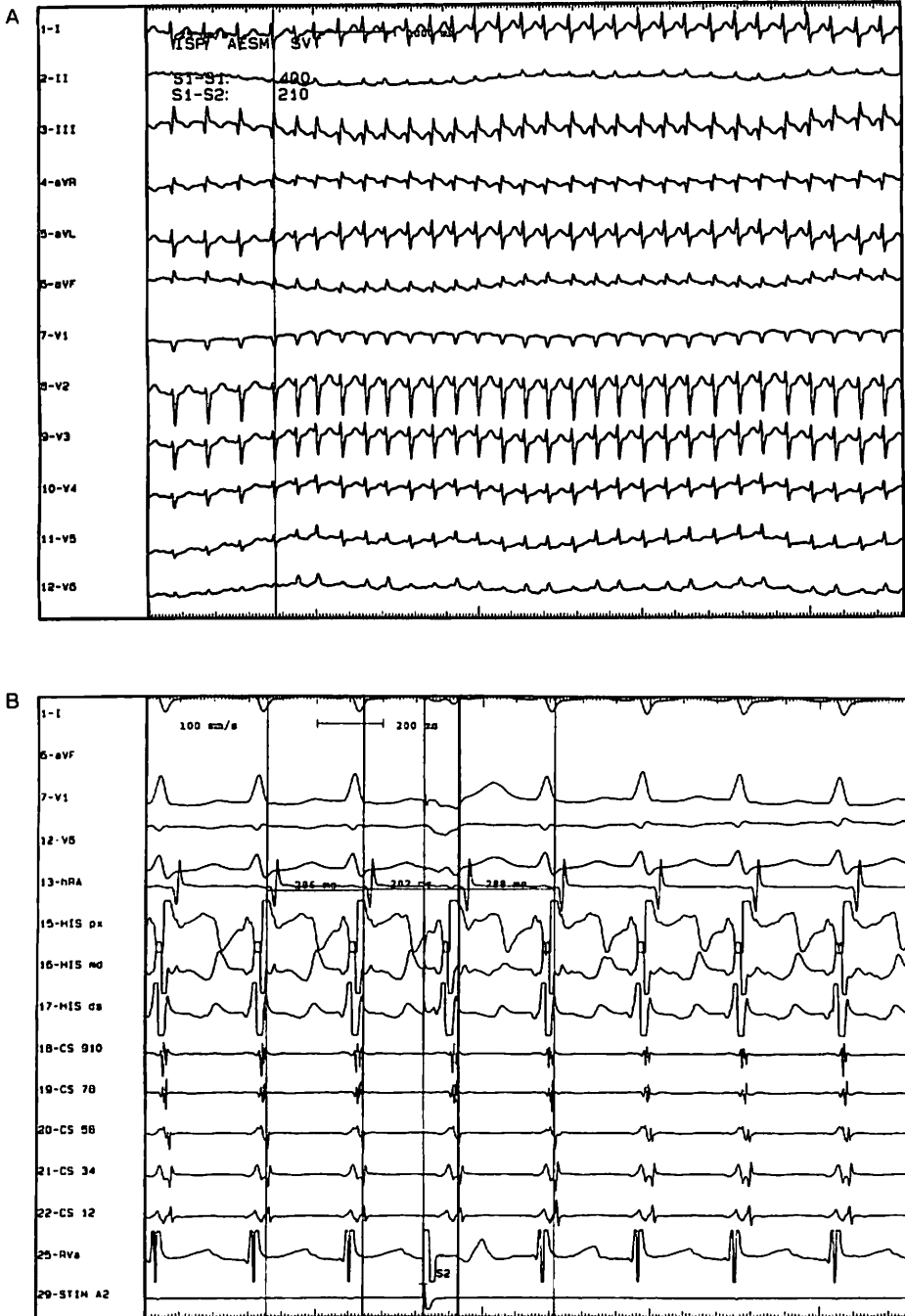


図6 頻拍誘発中の12誘導心電図(A)と心腔内心電図(B)。hRA、高位右房；HIS px、ヒス束電位近位部；HIS md、ヒス束電位中間位；HIS ds、ヒス束電位遠位部；CSは冠静脈内の電極位置でCS12から数字が少ない方から順次電極は遠位にある。Rva、右室心尖部；STIM A2、刺激電極。

1983年Jackmanら<sup>8)</sup>、Weberら<sup>9)</sup>は直流通電による副伝導路焼灼を行った。しかし、直流通電法は

心筋穿孔、血栓塞栓症、心原性ショックなどの重篤な合併症を起こす危険が少なくないこと、障害

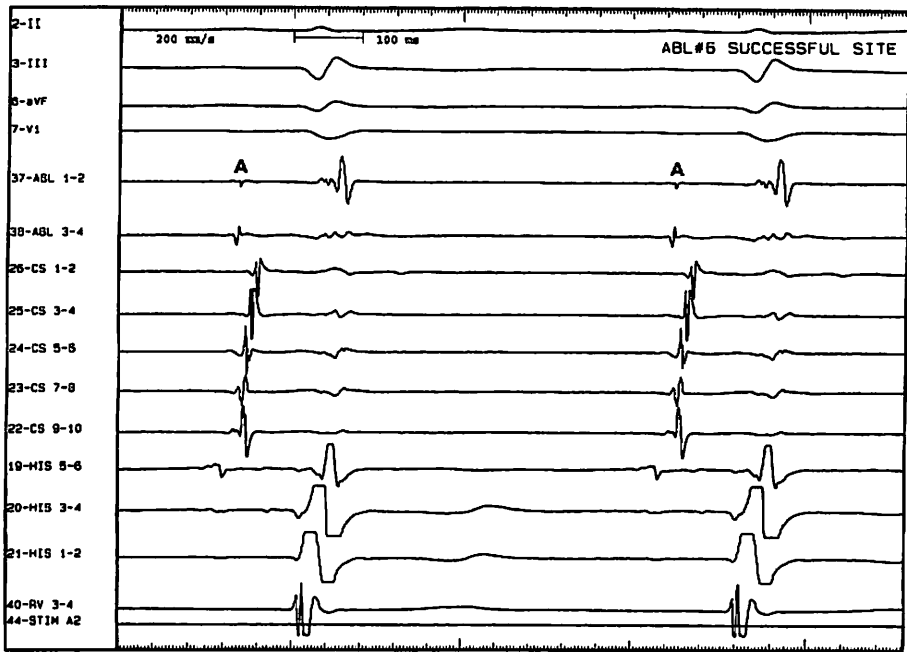


図7 心筋焼灼の至適部位における焼灼直後の心腔内心電図。左側の各記号は図6と同じ。

範囲が広く新たな不整脈が生じやすいことなどのため有用な方法とはいえなかった。

1987年Borggreffeら<sup>21)</sup>は高周波を利用することにより副伝導路を離断した。その後焼灼電極をlarg-tip電極を使うことなどにより、頻拍性不整脈に対する心筋焼灼術の有効性は飛躍的に高まり、安全性もほぼ確立された。本例の副伝導路はWPW症候群A型であり、実際の標的焼灼部位は房室弁輪部のマッピングにより房室あるいは室房近接の最早期興奮部位または連続双極電位、Kent束電位などの局所電位指標に基づいて決定される<sup>10, 11)</sup>。我々も同法により施行したが一回の焼灼で副伝導路は完全に離断できた。一般にWPW症候群におけるA型すなわち左室側に副伝導路がある例の心筋焼灼術の成功率は95%以上といわれる。しかし、焼灼術による合併症がないわけではない。本邦における心筋焼灼術を行っている全施設での集計での重篤な合併症は施行12,888例中およそ0.5%であった。重篤合併症のうち内容が記載されていた34症例のなかでは穿孔や心膜液貯留が21例(62%)と最も多く、ほかにショック2例などがあった<sup>3)</sup>。また最近4年間では穿孔

が79.5%と最も多く、房室ブロックも15.1%を占めた<sup>3)</sup>。房室ブロックが増加した理由は最近症例2のような房室結節回帰性頻拍に対しても心筋焼灼術が行われるようになったためと考えられる。

症例2は高校3年バスケットボール選手で発作性房室回帰性頻拍を起こす例である。発作性房室回帰性頻拍は発作性上室頻拍の原因としてWPW症候群における発作性房室回帰頻拍と並び高頻度に見られる。本頻拍は伝導速度が速く不応期の長いfast pathwayおよび伝導速度が遅く不応期の短いslow pathwayからなる房室結節二重経路およびその間に介在する心筋を興奮回路として発生する<sup>1)</sup>。slow pathwayを順行伝導路、fast pathwayを逆伝導路とする旋回が一般的(通常型)で、fast pathwayを順行伝導路、slow pathwayを逆行伝導路とする旋回(希有型)は稀である。本例は電気生理学的検査から前者であった。発作性房室結節回帰性頻拍における伝導路焼灼は一般にslow pathwayに対して行う。理由はslow pathwayがfast pathwayに比べ房室結節ないしヒス束に対し距離が離れていて、心筋焼灼時に完全房室ブロックを防止できるからである。slow pathwayの至適通電

部位は冠静脈洞入口部前上縁レベルの右房後中隔三尖弁輪部であり、この部の局所電位は心房/心室電位比が0.3以下で心房電位中にJackman電位と呼ばれる低振幅のスパイク電位が認められることが多い<sup>12)</sup>。本例もこの部の高周波通電によりslow pathwayが焼灼できた。

発作性房室結節回帰性頻拍に対する心筋焼灼術の成功率は90%以上といわれる。しかし、焼灼部位が房室結節やヒス束に近い場合合併症として完全房室ブロックを作成してしまうことがある。実際、1996年までは本頻拍に対する焼灼術施行が少なかったためか焼灼術の合併症としての完全房室ブロックの頻度は低かった。1997年になり、本頻拍に対する焼灼術例が増加するにつれ、房室ブロックの合併症が増加している<sup>3)</sup>。発作性房室回帰性頻拍、発作性房室結節回帰性頻拍を対象とした米国の報告<sup>13)</sup>では合併症としての房室ブロックは1.0%に認められ、他の主たる重篤合併症である心タンポナーデ(0.6%)や血栓塞栓症(0.4%)を超える発生率であった。また、この報告では施行後30日以内に0.3%(3/1050例)の死亡が確認されている。本邦においては心筋焼灼術施行に関連した死亡例は明らかにされていない。本例は心筋焼灼術施行は全く順調にすすみ何ら合併症はなかった。

以上、学生一流スポーツ選手2例の発作性上室頻拍例に対するカテーテル・アブレーション(心筋焼灼術)による根治治療例を報告した。我々の経験から一般にスポーツ選手は自己の身体に関するマイナス情報を隠す傾向にある。しかし、こと頻拍に関しては症例によっては根治治療が可能な時代になっており、適応があり心筋焼灼術の成功した例では薬剤内服も不要となり、何の不安や心配もなくスポーツ活動に打ち込める。本法による合併症の頻度は重篤なもので0.5%とかなり低く、専門施設での不整脈専門熟練者が行えば比較的安全な手技ともいえる。適応例があれば勧めたい一つの治療法である。

## 参考文献

- 1) 家坂義人. 心カテーテルアブレーションの実際. 1 p. 中外医学社 東京. 1996.
- 2) Borggreffe T. et al. High frequency alternating current ablation of an accessory pathway in humans. *J Am Coll Cardiol* 10: 576, 1987.
- 3) 笠貫宏ほか. 1994年以降のカテーテル・アブレーションの症例調査に関する報告. *不整脈* 15: 353, 1999.
- 4) 田邊晃久ほか. 大学柔道選手における心拍変動解析による自律神経機能評価. *東海大学スポーツ医科学雑誌*. 6: 35, 1994.
- 5) Caru B., et al. Arrhythmias in sport. *Eur Heart J* 8: 47, 1987.
- 6) Pantano JA., et al. Prevalence and nature of cardiac arrhythmias in apparently normal well trained runners. *Am Heart J* 104: 762, 1982.
- 7) Wolff C, White PD. Syndrome of short PR interval with abnormal QRS complexes and paroxysmal tachycardia. *Arch Intern Med* 82: 446, 1948.
- 8) Jackman WM, et al. Direct endocardial recording from an accessory atrioventricular pathway: localization of the site of block, effect of antiarrhythmic drugs, and attempt at nonsurgical ablation. *Circulation* 68: 906, 1983.
- 9) Weber H., Schmitz L. Catheter technique for closed-chest ablation of an accessory atrioventricular pathway. *N Engl J Med* 308: 653, 1983.
- 10) Jackman WM et al; Catheter ablation of accessory atrioventricular pathways by radiofrequency current. *N Engl J Med*. 324: 1611, 1996.
- 11) Calkins H et al; diagnosis and cure of the Wolff-Parkinson-White syndrome or paroxysmal supraventricular tachycardias during a single electrophysiologic test. *N Engl. J Med*. 324: 1612, 1991.
- 12) Jackman WM et al: Treatment of supraventricular tachycardia due to atrioventricular nodal reentry by radiofrequency catheter ablation of slow-pathway conduction. *N Engl. J Med*. 327: 313, 1992.
- 13) Calkins H, et al. Catheter ablation of accessory pathways, nodal reentrant tachycardia, and the atrioventricular junction. Final results of a prospective, multicenter clinical trial. *Circulation* 99: 262-270, 1999.

# スポーツ医科学研究所

所報

## スポーツ医科学研究所要覧

### 1. 研究機関名

和文名：東海大学スポーツ医科学研究所

英文名：Research Institute of Sport Medical  
Science, The Tokai University

### 2. 所在地

東海大学湘南校舎

### 3. 設置年月日

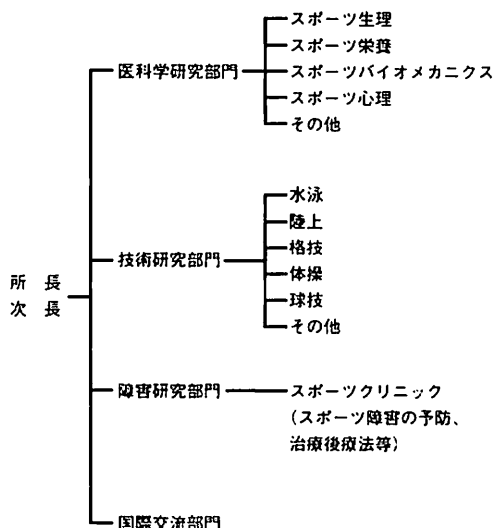
昭和62年10月1日

### 4. 設置目的

本研究所の設置の目的は、スポーツ・運動および、それに関連する健康の維持向上等に関する基礎的、応用的研究を行うとともに、競技力の向上、スポーツ障害の予防、対策等の新手法、新技術の開発とその応用の具体化、発展を期するところにある。

このために総合大学としての特性を生かし、学際的知識を結集、総合的視野の上に立った研究を推進する。

### 5. 研究所組織



## 東海大学スポーツ医科学研究所規程

1987年10月1日 制定

(2000年改訂予定)

### 第1章 総則

第1条 本規程は学校法人東海大学の総合研究機構規程第10条および第11条に基づき、東海大学（以下「本学」という）付属のスポーツ医科学研究所（以下「本研究所」という）の運営の適性を期し、もって本研究所設置の使命を果たすために定めるものとする。

第2条 本研究所の設置目的は、スポーツ・運動および、それに関連する健康の維持、向上等に関する基礎的、応用的研究を行うとともに、競技技術の向上、スポーツ障害の予防、対策等の新手法、新技術の開発とその応用の具体化、発展を期するところにある。

このために総合大学としての特性を生かし、学際的知識を結集、総合的視野の上に立った研究を推進する。

第3条 本研究所は前条に定められた目的を達成するためにつぎの事業を行う。

- (1)調査・研究および試作
- (2)調査・研究の結果の発表
- (3)資料の収集整理および保管
- (4)研究会・講演会および講習会等の開催
- (5)調査・研究の受託または指導
- (6)大学院学生の教育
- (7)その他、本研究所の目的を達成するために必要な事項

第4条 本研究所における調査研究の分野をつぎの通りに定める。

- (1)医科学研究分野  
運動の効用、健康の維持と向上、運動生理学、栄養学、メディカルチェックと運動処方、その他
- (2)技術研究分野  
バイオメカニクス、心理学、運動技術の向上と



その指導、トレーニング方法、その他

### (3) 障害研究分野

スポーツ・運動障害の予防、治療、競技復帰の指導、理学および作業療法、その他

### (4) その他の分野

各分野を統合した学際的研究、生涯スポーツの実施と指導、スポーツおよび運動器具、機械、施設等の開発と、その安全性、その他

第5条 本研究所につきの研究部門を置く。

#### (1) 医学研究部門

#### (2) 技術研究部門

#### (3) 障害研究部門

#### (4) 国際交流部門

第6条 本研究所は、本学湘南校舎に置く。

## 第2章 組織

### 第1節 所長・次長

第7条 本研究所に所長を置く。所長は本研究所を代表し、第1章に定められた本研究所の機能を果たすべく努めるとともに、その運営および事務的責任に任ずる。

第8条 本研究所に複数の次長を置くことができる。次長は所長を補佐し、所長が不在のとき、または事故のあったときその任を代理する。

第9条 所長は毎年度、当該年度の事業経過および年度の事業計画を作成し、総合研究機構運営会議の議を経て理事長の承認を得るものとする。

### 第2節 職員

第10条 本研究所に専任の教授・助教授・講師・助手・技術職員および事務職員等を置くことができる。その定員は別に定める。

### 第3節 研究所員

第11条 本研究所に研究所員若干名を置き、研究に従事し、かつ研究所の運営にあたる。

2 研究所員は原則として本学の専任教職員のうちから総合研究機構運営委員長が任命するものとし、その任期は1カ年度とする。ただし、再任を妨げない。

### 第4節 研究員

第12条 本研究所に研究員若干名を置き、付託された研究事項に従事する。

2 研究員は原則として本学の教職員が兼務するものとし総合研究機構運営委員長の承認を得て研究所長が任命するものとし、その任期は1カ年度とする。ただし、再任を妨げない。

### 第5節 嘱託

第13条 本研究所は事業計画の実施に必要なときは、理事長の承認を経て当該事項に関する学識経験者を嘱託とし、調査・研究に参画させることができる。

### 第6節 研究生

第14条 本研究所は調査・研究に関する教育、または訓練を希望する者を研究生とすることができる。

### 第7節 委託研究および派遣員

第15条 本研究所は、学校法人東海大学以外の第三者の委託に基づく調査・研究を行うことができる。

2 委託調査、研究の受託に関しては、そのつと学務局研究計画部を通じて理事長の承認を経なければならない。

第16条 委託に基づく調査、研究の実施上必要のあるときは、委託者またはその派遣する者（以下派遣員と称する）を、所定の手続きを経たうえで調査、研究に参画させることができる。

## 第3章 運営

第17条 本研究所の運営は研究所員会議の議を経て行う。

第18条 研究所員会議は以下の者をもって構成する。

(1) 研究所長

(2) 研究所次長

(3) 研究所専任および兼任の教授・助教授・講師

(4) 必要に応じて他の者を出席させることができる。

第19条 研究所員会議はつぎの事項を審議する。

(1) 事業計画に関すること。

(2) 運営に関すること。

(3) 予算及び決算に関すること。

- (4)人事に関すること。
- (5)研究委託に関すること。
- (6)研究生に関すること。
- (7)その他必要な事項。

#### 第4章 経理

第20条 本研究所の経理は研究機関会計として処理する。

第21条 本研究所の会計年度は、毎年4月1日に始まり翌年3月31日をもって終わる。

第22条 本研究所の経常経費は、総合研究機構からの交付金のほか、研究補助金・寄付金・委託研究費・研究調査費および、その他の収入をもって充当する。

ただし、総合研究機構からの交付金以外の経費の受託ならびに用途については事前に理事長の承認を必要とし理事長名をもって行う。

第23条 所長は毎年度の終わりに次年度の予算を編成し、総合研究機構運営会議の議を経て理事長の承認を得なければならない。

第24条 所長は毎年度始めに前年度の決算書を作成し、総合研究機構運営会議の議を経て理事長の承認を得なければならない。

#### 第5章 特許および著作権

第25条 本研究所における調査、研究に基づく発明・考案または著作権の帰属およびその利用についての規程は別に定める。

#### 第6章 付則

第26条 本規程を、改訂または変更する場合は、研究所員会議の議を経て総合研究機構運営会議の承認を必要とする。

第27条 本研究所の適切な運営をはかるために、本規程に定めるところのほか必要な諸規程を設けることができる。

付則 この規程は、昭和62年10月1日よりこれを施行する。

---

## 「東海大学スポーツ医科学雑誌」 寄稿規定

---

1998年4月1日

### I. 和文規定

1. 本誌に寄稿できるのは原則として東海大学スポーツ医科学研究所所員及び研究員に限る。ただし編集委員会が必要と認めた場合には、所員以外でも寄稿できる。
2. 寄稿内容は、スポーツ医科学の研究領域における総説、原著論文、研究資料、書評、内外の研究動向、研究上の問題提起など、その他とし、完結したものに限る。
3. 原稿の取捨および掲載の時期は、本誌編集委員会において決定する。
4. 本誌に掲載された原稿は、原則として返却しない。
5. 原稿は原則としてワードプロセッサを用いA4版横書き、25字30行としフロッピーを添えて提出とする。外国語、外国固有名詞、化学物質名などは原語。外来語、動植物名などはカタカナ、数詞は算用数字を使用する。単位及び単位記号は国際単位系、メートル法を基準とする。項目わけは、……Ⅰ、……Ⅱ、……1、2、……1)、2)、……(1)、(2)、……a)、b) ……(a)、(b)、とする。
6. 総説、原著論文、研究資料の原稿は、原則として1篇につき、図表、抄録等を含めて刷り上がり10ページ以内、書評、内外研究動向、研究上の問題提起の場合は、刷り上がり1ページ以内とする。このページ数を超過した場合、あるいは、特別な印刷を要した場合には、その実費を寄稿者が負担する。
7. 図表は8枚以内とし、そのまま印刷できるような鮮明なものとする。写真は白黒・カラーとわなないが、仕上がりは白黒のみとする。(但し、仕上がりをカラーで希望する場合及び特別な費用を要



した場合は寄稿者の負担とする。)

8. 図や表には、それぞれに必ず通し番号と、タイトル(表の場合、上方に、図の場合、下方に、和文を上として、和欧文で記入)をつけ、1枚ずつ台紙か原稿用紙に貼り、本文とは別の番号順に一括する。図表の挿入箇所は、本文原稿の欄外に、赤インクでそれぞれの番号によって指示する。
9. 引用・参考文献は、原則として、本文の最後に引用順に一括し、雑誌の場合には、著者・題目・雑誌名・巻号・ページ・西暦年号の順とし、単行本の場合には、著者・書名・版数・発行所・西暦年号・ページの順に記載する。なお、引用及び注記は本文中文献引用箇所の右肩に、1)、2)のごとく、引用文献数字を挿入する。
10. 総説、原著論文、研究資料の原稿には、必ず別紙として、欧文規定5. a), b), c) に従った欧文(原則として英語)による300語以内の抄録を添える。なお、同時に欧文抄録の和訳文を添付することを原則とする。
11. 掲載論文の別刷りを希望するときは、その必要部数を、あらかじめ編集委員会に申し込み、原稿第1ページに「別刷り何部」と朱書する。なお、50部を越える別刷りの費用は寄稿者負担とする。
12. 寄稿論文は下記に送付する。

〒259-1292 神奈川県平塚市金目1117

「東海大学スポーツ医科学研究所」編集委員会

## II. 欧文規定

1. 2. 3. 4. は、和文規定に同じ
5. a) 原稿は、欧文(原則として英語)とし、A4版の不透明なタイプ用紙(レターヘッド等のあるものを除く)に、通常の字体を使い、ダブルスペースでタイプ書きにするが、写真図版にある文字についてはこの限りではない。また、図表説明のスペースはシングルとする。  
b) 用紙の上端、下端および左端は約3センチ、右端は約2.5センチの余白を置き、ほぼ27行にわた

って書く。ページ番号は下端余白中央に書く。

- c) 欧文による題目の下に著者名(ローマ字)、更に著者名の下に所属する機関名を正式英語名称に従って書く。
  6. 原稿は原則として1篇につき、図表抄録を含めて刷り上がり10ページ以内とするが(刷り上がり1ページは、おおよそ600語である)、ただし、このページ数を超過した場合、あるいは特別な印刷を要した場合には、その実費を寄稿者が負担する。
  7. 8. 9. は、和文規定に同じ。
  10. 原稿には、必ず別紙として、和文による題目・著者名・所属機関および抄録(600字以内)を添える。
  11. 12. は、和文規定に同じ。
- 附則 この規定は1998年4月1日から適用する。

## 東海大学スポーツ医科学研究所

### スポーツ医科学雑誌編集委員名簿 (1999. 4. 1)

- 1 委員長 岩垣 丞恒
- 2 委員 寺尾 保
- 3 委員 吉川 政夫
- 4 委員 山本 芳孝
- 5 委員 石田 暉
- 6 委員 馬場 礼三
- 7 委員 山村 雅一

---

## 1999年度スポーツ医科学研究所 所員・研究員名簿

---

1. 所長 岩垣 丞恒 体育学部(社会体育学科)
2. 次長 寺尾 保 スポーツ医科学研究所
3. 専任 中村 豊 スポーツ医科学研究所
4. 専任 有賀 誠司 スポーツ医科学研究所
5. 専任 恩田 哲也 スポーツ医科学研究所
6. 所員 岡 哲雄 医学部(薬理学教室)
7. 所員 吉川 政夫 体育学部(社会体育学科)
8. 所員 齋藤 勝 体育学部(体育学科)



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 9. 所員 佐藤 宣践 体育学部 (武道学科)           | 23. 研究員 長戸 康和 医学部 (形態学部門)          |
| 10. 所員 田中 誠一 体育学部 (体育学科)          | 24. 研究員 二宮 洋 教養学部 (芸術学科)           |
| 11. 所員 林 義正 工学部 (動力機械工学科)         | 25. 研究員 馬場 礼三 体育学部 (社会体育学科)        |
| 12. 所員 福田 宏明 医学部 (整形外科)           | 26. 研究員 三田 信孝 体育学部 (社会体育学科)        |
| 13. 所員 古谷 嘉邦 体育学部 (体育学科)          | 27. 研究員 八木原 晋 理学部 (物理学科)           |
| 14. 所員 本間 隆夫 工学部 (工業化学科)          | 28. 研究員 山村 雅一 医学部 (分子生命科学)         |
| 15. 所員 山下 泰裕 体育学部 (武道学科)          | 29. 研究員 山本 賢司 医学部 (精神科学教室)         |
| 16. 所員 山本 芳孝 総合科学技術研究所            | 30. 研究員 サンドゥ・アダルシュ 工学部 (電気<br>工学科) |
| 17. 研究員 新居 利広 体育学部 (体育学科)         |                                    |
| 18. 研究員 石田 暉 医学部 (リハビリテーシ<br>ョン学) |                                    |
| 19. 研究員 内山 秀一 体育学部 (体育学科)         |                                    |
| 20. 研究員 志水 哲雄 教養学部 (芸術学科)         |                                    |
| 21. 研究員 高田 繁生 医学部 (分子生命科学)        |                                    |
| 22. 研究員 田辺 晃久 医学部 (内科学教室)         |                                    |

---

1999年度スポーツ医科学研究所  
プロジェクト研究課題

---

東京箱根往復大学対抗駅伝競走に関する総合的研究

## 編集後記

今年度で本研究所のコアプロジェクト研究「東京箱根間往復学生駅伝競走に関する総合的研究」が終了する。最初の2年間は、現体育学部長の齋藤勝教授が所長となり、不備のままであった研究所全体の将来構想を立て、研究所の整備を中心に、学生スポーツ活動の基盤形成に貢献できることを計画していた。その後、私が所長となった。大変気になったことは、研究所のコアプロジェクト研究の進捗状況にあり、誰がどのようにまとめ、計画推進に当たるかという点が不明確であった。計画段階から上位下達方式であり、研究所の研究にはコーチも選手も当然協力すべきと言う雰囲気があった。研究所を利用すれば選手の育成が可能というとんでもない事態が生じていた。研究所員は研究所でトレーニングしたために、記録を伸ばしたとか、優勝したとかいろいろ事柄を報告し、研究所の存在をアピールしようとしていた。そのため、研究所での研究に対し、選手・コーチは乖離状態にあった。

この事態を解決しながら、研究の推進を計画し、多くの長距離選手とコーチを中心に改めて研究推進計画を練り直し、各方面からの協力を得ながら、コアプロジェクトとしての役割を終了できた。2000年2月26日（土）には、公開シンポジウム「箱根駅伝を科学する」を開き、一段落したところである。

また、今年からオーストリアのスポーツ科学委員会との交換論文も掲載されることになり（SPECTRUM DER SPORTWISSENSCHAFTEN, OSTERREICHISCHES JOURNAL FÜR SPORTMEDIZIN.）これを契機に国際性をも見据えた研究推進がますます盛んとなることを希望している。

2000年2月

編集委員長 岩垣丞恒

「東海大学スポーツ医科学雑誌」

編集委員

委員長 岩垣 丞恒  
委員 寺尾 保  
〃 吉川 政夫  
〃 山本 芳孝  
〃 石田 暉  
〃 馬場 礼三  
〃 山村 雅一

**東海大学スポーツ医科学雑誌 第12号 2000**

発行日———2000年3月30日

編集———東海大学スポーツ医科学雑誌編集委員会

発行者———東海大学スポーツ医科学研究所 岩垣丞恒  
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117 TEL 0463-58-1211

製作———東海大学出版会

印刷———港北出版印刷株式会社

製本———株式会社石津製本所

組版・装丁——株式会社武井制作室