

東海大学

第13号 スポーツ医科学雑誌

2001

The Tokai Journal of Sports Medical Science

東海大学スポーツ医科学研究所



イラスト 東 恵子

人は何処より来り何処に行かんとするか
それはありし日の少年に芽生えたほのかな疑問であつた
しかし揺籃より墓場まで

それは生ける人々にとつてまきれもなき生の現実である
この現実の上の人々は喜び且つ哀しむ
そこに勝利と敗残の人々の生涯がある

人々よ

生命の現実に人生を肯定しよう

不屈の精神と逞しき体軀をつくろう

精神と肉体との調和に生命を開拓しよう

かくして希望と勝利の人生の街道を慕進しよう

されどありし日の少年の疑問は残る

人々よ

見よ人体構造の神祕を

見よこの作品の微妙さを

見よ造られたるもの限りなく人の力に越ゆるを

見よこの偉大なる造物主の力を

人々よ

身体髮膚これに父母にうく敢て毀傷せざるは孝の始めなり

人の生命は父母の手によつてなれりと言ふ

されどその前に創造の神祕がある

大自然を支配する思想がある

われら肅然として襟を正し現実を正視しよう

昭和四十八年四月

松前重義

人は何処より来り何処に行かんとするか

それはありし日の少年に芽生えたほのかな疑問であつた
しかし揺籃より墓場まで

それは生ける人々にとつてまきれもなき生の現実である

この現実の上の人々は喜び且つ哀しむ
そこに勝利と敗残の人々の生涯がある

人々よ

生命の現実に人生を肯定しよう

不屈の精神と逞しき体軀をつくろう

精神と肉体との調和に生命を開拓しよう

かくして希望と勝利の人生の街道を慕進しよう

されどありし日の少年の疑問は残る

人々よ

見よ人体構造の神祕を

見よこの作品の微妙さを

見よ造られたるもの限りなく人の力に越ゆるを

見よこの偉大なる造物主の力を

人々よ

身体髮膚これに父母にうく敢て毀傷せざるは孝の始めなり

人の生命は父母の手によつてなれりと言ふ

されどその前に創造の神祕がある

大自然を支配する思想がある

われら肅然として襟を正し現実を正視しよう

昭和四十八年四月

初春

松前重義

【研究論文】

- HEART RATE VARIABILITY DURING EXERCISE AND RECOVERY**
M. AIMET, R. POKAN, K. SCHWIEGER, G. SMEKAL,
H. TSCHAN, S. P. von DUVILLARD,
P. HOFMANN, R. BARON and N. BACHL 7
- 肥満者およびスポーツ選手の減量に対する低圧環境下における歩行運動の有効性**
寺尾 保・木村季由・恩田哲也・有賀誠司・中村 豊
サンドゥー アダルシュ・山並義孝・齋藤 勝 15
- トライアスロン選手におけるレジスタンストレーニングの効果**
有賀誠司・寺尾 保・恩田哲也・中村 豊・宇佐美彰朗・生方 謙・平井統基 24
- 女子柔道選手の体脂肪分布の特性について**
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・北田晃三 34
- 長距離選手における赤血球 MCV と plasma HDL の関係**
岩垣丞恒・新居利広・山村雅一・橋本真英 41
- 長距離選手の plasma particle image による metabolic field の検討**
Lujian XING・山村雅一・岩垣丞恒・王 恵珍 47
- 足関節運動の力学的評価**
中村 豊・有賀誠司・恩田哲也・寺尾 保・菊川久夫 55
- 皮質骨の破壊じん性評価**
菊川久夫・福田宏明 61
- 運動による糖尿病マウスの発病遅延及び寒冷暴露に対する抵抗力の向上**
高田繁生・前島邦光・勝呂伊佐央・山村雅一 67
-

PHSを用いたスポーツ選手のリアルタイム遠隔脳波検出技術の開発

大塚義明・サンドゥー アダルシュ・岩垣丞恒・寺尾 保 72

生体組織のマイクロ波誘電分光と含水量測定

林 義人・原本泰雅・新屋敷直木・八木原晋
栗田太作・灰田宗孝・塩谷壽美恵・篠原幸人・福崎 稔 76

スポーツ医科学研究会抄録（第7回～第10回）

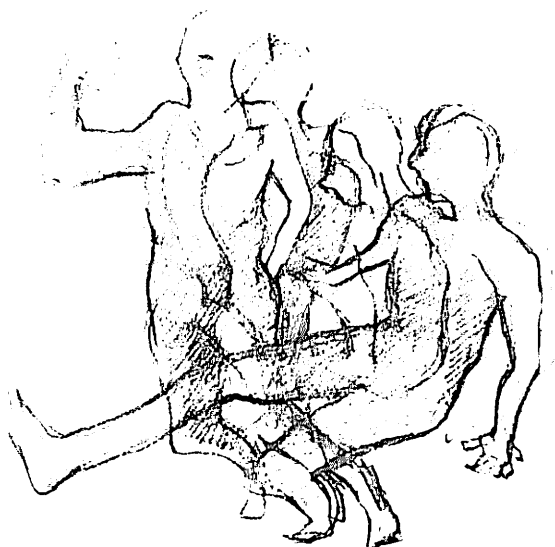
85

スポーツ医科学研究所所報

92

編集後記

97



表紙（画）東 恵子

HEART RATE VARIABILITY DURING EXERCISE AND RECOVERY

M. AIMET, R. POKAN, K. SCHWIEGER, G. SMEKAL, H. TSCHAN,
S. P. von DUVILLARD**, P. HOFMANN*, R. BARON and N. BACHL

(Institute of Sports Sciences, Department of Sport Physiology University of Vienna,
Institute of Sports Sciences, University of Graz*, Austria and Department of PE and Exercise Science,
Human Performance Laboratory, University of North Dakota, Grand Forks, ND, USA**)

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 7-14, 2001)

INTRODUCTION

Heart rate variability (HRV) is an often discussed theme in the last years [11, 12]. The reason is that HRV, as a product of sympathetic and parasympathetic activity and, as a consequence, the continuous change in the RR intervals [8], can be used for evaluating the condition of the heart and the entire system and thus it has an important medical significance [10, 12]. Contrary to earlier opinions, heart rates that are too regular are a sign of a pathological condition [5, 12]. Cardiac beat shows some changes in morphology, amplitude and, especially, in phases from one beat to the other, which is a sign for health. In healthy persons, the deviation of the instantaneous heart rate (HR) from the mean HR value at rest is about 10% [6]. To utilize this phenomenon in medicine as a reliable diagnostic tool, it would be important to develop generally accepted standards and methods allowing us to make more clear diagnostic state-

ments. There is a disagreement about physiological connections, pathologic and diagnostic validity and, particularly, in the measuring of the HRV [12]. Currently, three non-invasive on-line measuring methods are in use for recording data during various activities without interruption and thus allowing representing events to be examined over the entire period [1]. This allows us to observe the relationship between sympathetic and parasympathetic activity during any stage of exercise. The three HRV measuring methods are the time domain method, the geometrical method, and the frequency domain method, with each method having different advantages and disadvantages [12]. The time of examination is an important factor of selection, too [9]. The time domain method can be used for short and long term recordings. They are also important in judgement of illness and physical, psychological and pharmacological influence [10]. However, this method depends on the quality of the time records, which is influenced, for example, by artifacts. Instead, the geometrical method is not influenced by the quality of the records, which

M. AIMET, R. POKAN, K. SCHWIEGER, G. SMEKAL, H. TSCHAN, S. P. VON DUVILLARD, P. HOFMANN, R. BARON and N. BACHL are used for construction of a geometrical figure. This figure reveals information about the HRV [13]. The frequency domain method, usually using the Fast Fourier Transformation, splits the RR intervals in their frequencies. The classification in frequency ranges permit declarations about sympathetic and parasympathetic activity during exercise and rest [6]. Many authors have found correlation between the results of the three HRV measuring methods [9, 10, 13, 20]. It is important to find the best method (accuracy, expense, validity, record time) for each application.

The aim of our study was to make comparative evaluations of HRV data determined during cycle ergometry work and recovery by means of the geometrical method and the frequency domain method and find differences in HRV behavior between the two methods and examine their advantages and disadvantages. The geometrical method used in our study, the Poincare Maps, enters successive RR intervals in a diagram to obtain a geometric shape [13]. The shape of the ellipsis thus plotted describes the HRV; the short diameter of the ellipsis (SD1) corresponds to the standard deviation of the instantaneous short-term variability, while the long diameter (SD2) represents the long term HRV. SD1 shows in particular vagal activity, since parasympathetic influence on the sinoatrial node is faster than sympathetic activity [22]. In frequency domain measurement, however, the RR data series are divided into their frequencies to describe the HRV by means of different frequency ranges—the ultra low frequency (ULF), very low frequency (VLF), low frequency (LF) and high frequency (HF) ranges [3, 4, 20]. While the meaning of the ULF range is not certain and it is assumed that VLF is dependent on sympathetic activity [19], it appears to be certain that LF is influenced by sympathetic activity [6, 14] and the HF range by parasympathetic activity [2, 4, 6,

7, 10, 14].

Based on the frequency domain parameters and SD1, the correlation between HRV and the deflection of the heart rate performance curve, which is described by means of the k-value [16, 17], was examined.

MATERIALS and METHODS

Subjects

The data used in this study was obtained from 53 subjects of both sexes aged between 21 and 79 years. The group comprised 27 male and 26 female healthy subjects. Their average age was about the same and their fitness level varied greatly, since both trained sports students and untrained subjects were participants in the study. Preconditions for participating in the study were that they had not taken any medication and abstained from caffeine drinks or eaten rich meals before the exercise tests. Table 1 shows the subject-data according to sex.

Protocol

Each test was preceded by a period of 5 min rest in supine position. During this time, an electrocardiograph recording at rest was conducted and the HRV values were recorded. The subjects performed the exercise test until exhaustion on a elec-

Table 1 Characteristics of subjects according to sex

Parameter	Unit	X±SD	
		M (n = 27)	W (n = 26)
Age	years	48.7±16.8	48.4±17.9
Height	cm	177.3±7.7	164.8±7
Weight	kg	78.1±9.7	63.1±6.8
HR _{rest}	1.min	67±9	68±8
HR _{max}	1.min	173±16	170±17
Lactate _{rest}	mmol.l blood	1±0.2	1±0.4
Lactate _{max}	mmol.l blood	10.4±2.5	9.3±3.1
VO _{2max}	ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	41.9±11	32.7±8.7
Max. power output	Watt	242±71	159±58

Values are means (X)±SD.

tronically braked cycle ergometer (Excalibur Sport, LODE, Holland); the pedaling rate was 70–80 revolutions per minute (rpm) and measurements were conducted in 1 min increments for determination of the heart rate turn point (HRT), which is the point of deflection of the heart rate performance curve. Up to the age of 29 the load increment was 20 Watts (W), between the ages of 30–50 the work rate was increased by 15 W, and for subjects aged over 51 the increase was 10 W per min. The starting workload for all subjects was 20 W. The load program was controlled by a computer program and the HR was recorded by means of POLAR Elektro “Vantage NV TM” pulse telemetry watches (Kempele, Finland) in a 5-sec recording mode. The respiratory gas exchange measures were recorded and analyzed with an open-air spirometry system “Oxycon Alpha” (JÄGER, Würzburg, Germany) in breath-by-breath mode. The test was terminated when subjects reached voluntary exhaustion or when they could no longer maintain the required pedaling rate. This was followed by an active recovery phase at a low intensity for 6 min. The recovery load was not standardized. The ergometer load (W) and rpm were subjectively determined by each subject. During the first and third minute of recovery, the RR data were recorded again.

Determination of HRV

For determination of the HRV we recorded and stored data for every minute of the intervals recorded in the RR mode (beat-to-beat), using two pulse watches (POLAR Elektro “Vantage NV TM”, Kempele, Finland) alternately. This allowed recording of every individual load step, which would not have been possible with one pulse watch only. Following the exercise test, the RR interval data series stored on the watches were transferred via the “Polar Advantage” interface of POLAR

Elektro (Kempele, Finland) to a PC, where they were subjected to correction by the POLAR Precision Performance software to prevent errors in the HRV data due to the presence of artifacts. For determination of the frequency-domain HRV, the corrected data series of the steps were subjected to a Fast Fourier Transform in the “D-plot” computer program to split the tachogram formed from the data series into their frequencies. The result was indicated in a power spectral density (PSD) diagram. Figure 1 shows a rest-tachogram of a 23-year-old male subject, while Figure 2 is the corresponding PSD diagram. The graph of the PSD diagram was subjected to integration and, subsequently, interpolation to determine the size of the frequency bands providing information about HRV when the frequency domain method is used. We took also bands that were over the limits as reported by Bigger [4], which are shown in the Table 2.

For determination of the HRV values of the corrected RR intervals by means of the geometrical method, Poincare Maps were compiled via the POLAR Precision Performance software. In our study we used SD1, which is shown in Figure 3 during rest of the 23-year-old male subject and is designated as “stab”, as a criterion for the determination of HRV.

Statistical methods

Differences in mean values were calculated by means of “Statistica” computer software program utilizing the ANOVA-MANOVA analysis method. Post hoc tests were used for multiple mean value comparisons. Differences between dependent variables were examined with the Least Significant Difference Test (LSD), while differences in differently sized data series were determined with the Tukey Honest Significant Difference Test (HSD) for differently sized random samples (SPJOTVOLL/

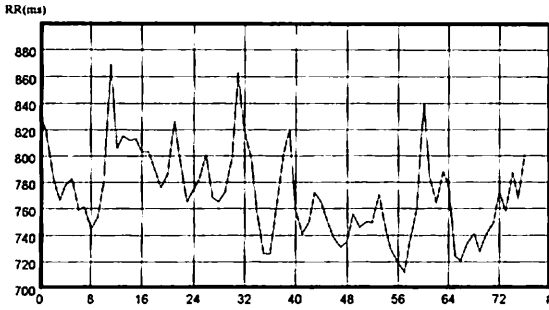


Fig. 1 Rest-tachogram of a 23-year-old male subject (abscissa: beat#; ordinate: RR intervals in ms)

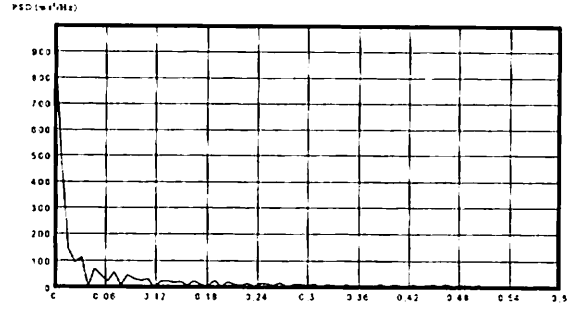


Fig. 2 Power spectral density diagram of a single male subject, whose tachogram is shown in fig. 1 (abscissa: frequency in hertz; ordinate: power spectral density in ms²/Hz). The area under the graph gives information about the size of the frequency-parameters

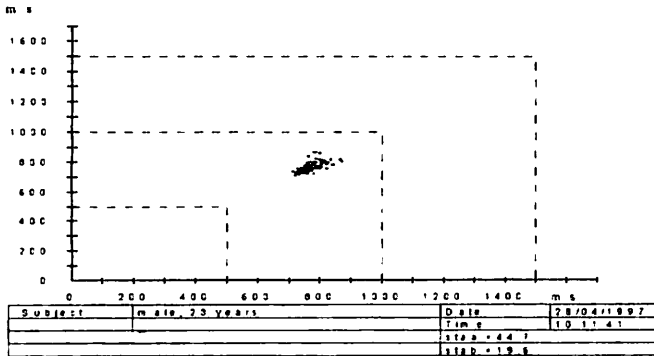


Fig. 3 Poincare Map of the 23-year-old male subject at rest (abscissa/ordinate: RR interval length). Successive RR intervals were entered to obtain the ellipsis. "Stab" in the figure is called SD1 and gives information about the parasympathetic activity

Table 2 Limits of the frequency bands

Frequency-band	Range
ULF	<0.0033Hz
VLF	0.0033Hz to <0.04Hz
LF	0.04Hz to <0.15Hz
HF	0.15Hz to <0.40Hz
TP	<0.40Hz

Table 3 SD1- and frequency parameter-values at rest, lactate turn point 1 (LTP₁), lactate turn point 2 (LTP₂), maximum power output (P_{max}) and in recovery (R1: recovery 1min; R3: recovery 3min)

X±SD	Rest	LTP ₁	LTP ₂	P _{max}	R 1	R 3
SD1 (ms)	24.55±26.3	2.60±1.18	1.99±0.63	2.30±0.71	2.48±0.97	2.90±1.58
TP (ms ²)	24.51±10.7	8.73±3.3	5.11±1.86	7.21±4.7	4.89±2.02	7.78±3.06
ULF (ms ²)	2.70±0.49	1.50±0.24	1.20±0.17	1.08±0.13	1.15±0.09	1.47±0.24
VLF (ms ²)	11.28±4.71	3.82±1.79	2.09±0.97	3.28±2.41	1.98±0.99	3.37±1.61
LF (ms ²)	5.77±3.34	1.89±0.83	1.00±0.42	1.63±1.56	0.96±0.56	1.66±0.8
HF (ms ²)	4.76±2.7	1.51±0.6	0.82±0.35	1.22±0.93	0.80±0.46	1.28±0.57

Values are mean±SD.

STOLINE).

For determination of correlation, the measuring correlation coefficient and the tables for examining

linear correlation coefficients were used. Error probabilities were 0.1%, 1% up to a maximum of 5%.

RESULTS

HRV parameter curve

Based on the SD1 curve and the frequency domain parameters from the state of rest via LTP₁, LTP₂, P_{max} to the 1st (R1) and 3rd min of recovery (R3), differences between the two measuring methods were examined. After a significant drop from rest to LTP₁, SD1 remained constant. In contrast, TP, which combines all frequency bands, VLF and LF showed a significant and further drop towards LTP₂ (after the significant drop towards LTP₁), then they increased toward P_{max}, then dropped again significantly to R1 and increased towards R3. After forming the same curve initially, HF did not show a significant change from LTP₂ to R1 and then increased towards R3. ULF, however, dropped, with significantly lower values compared to each preceding step, until P_{max} was reached and did not exhibit a significant increase until R3; thus, it did not show significant increase from LTP₂ to P_{max} (where ULF was lowest), which occurred in TP, VLF and LF. The HRV values are presented in Table 3; curves are shown in the Fig. 4-9.

Correlations between the frequency domain method and the geometrical method

The correlations between SD1 and the frequency parameters at rest and during exercise are listed in Table 4. There were positive correlations throughout and between all frequency parameters and SD1 at rest (TP: $r=0.43$; ULF: $r=0.39$; VLF: $r=0.35$; LF: $r=0.40$; HF: $r=0.54$), but in particular at LTP₁ and LTP₂, where significance was very high ($p<0.001$). At the end of exercise, however, the significant correlation was no longer detected.

Correlation between HRV and deflection of heart rate performance curve

According to Pokan [16, 17], a positive k-value is reflected in a downward deflection and a negative k-value in an upward deflection. The correlation between SD1/frequency parameters and the k-value are depicted in Table 5. We show that at rest there is no significant correlation between HRV and the k-value. During submaximal exercise, however, there is a significant negative correlation between the frequency parameters and the k-value (LTP₁: TP: $r=-0.36$; ULF: $r=-0.43$; VLF: $r=-0.36$; LF: $r=-0.32$; HF: $r=-0.31$; LTP₂: TP: $r=-0.45$; ULF: $r=-0.52$; VLF: $r=-0.41$; LF: $r=-0.47$; HF: $r=-0.45$), while with SD1 no correlation was observed. Only ULF exhibit this correlation ($r=-0.53$) at the end of exercise.

DISCUSSION

The characteristic curve of SD1 observed in this study was also reported by Tulppo [22], who determined that SD1 was dependent on parasympathetic activity. This shows that its activity decreases during exercise, but does not disappear completely. Our study showed that the frequency value curve does not form a ramp, which indicates a higher sensitivity and thus a better analysis potential of the frequency domain method. Contrary to that of Tulppo [22] we found a marked drop to a lower level for LF and HF, which then remained constant until the end of exercise. Thompson [21] observed, after a drop to 90% of VO₂max, a constant leveling of the HF component. The increases of the frequency parameters towards the 3rd min of recovery may represent the beginning of a period of recovery of the HRV, as observed also by Pagani [15] and more so by Shin [18] 2 min after execution of an exhaustive cycle ergometer test.

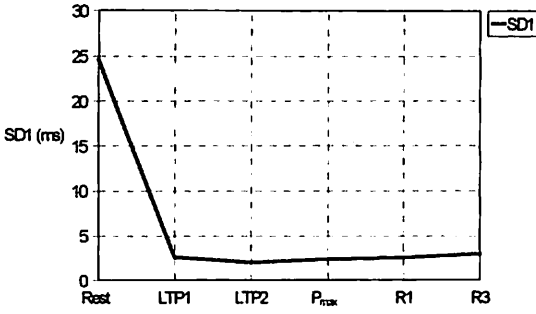


Fig. 4

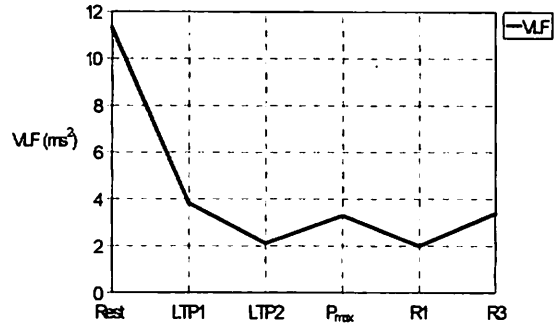


Fig. 7

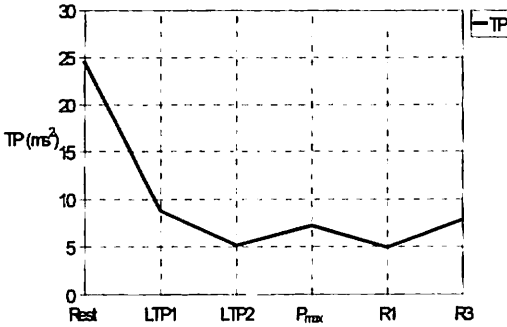


Fig. 5

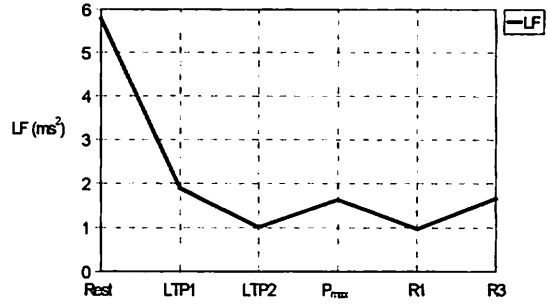


Fig. 8

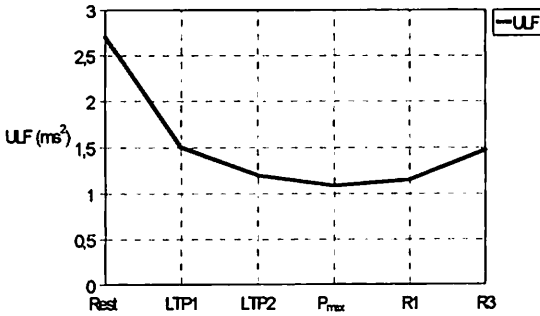


Fig. 6

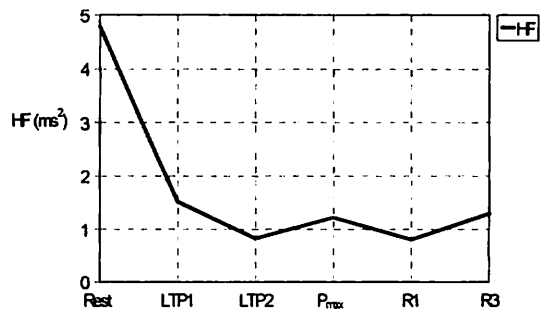


Fig. 9

Fig. 4-9 Mean HRV-curves of all subjects at rest, during the cycle ergometer test and in recovery (abscissa: steps; ordinate: HRV-parameters)

Table 4 Correlations (r: measured correlation coefficient) between SD1 and the frequency parameters at rest and during exercise (LTP₁: lactate turn point 1; LTP₂: lactate turn point 2; P_{max}: maximum power output)

	Frequency-parameter					r
	TP	ULF	VLF	LF	HF	
Rest (n = 53)	0.43 <0.01	0.39 <0.01	0.35 <0.05	0.40 <0.01	0.54 <0.001	p-
LTP ₁ (n = 53)	0.49 <0.001	0.61 <0.001	0.46 <0.001	0.45 <0.001	0.45 <0.001	r
LTP ₂ (n = 53)	0.63 <0.001	0.60 <0.001	0.60 <0.001	0.62 <0.001	0.66 <0.001	r
P _{max} (n = 53)	-0.07 n.s.	0.24 n.s.	-0.10 n.s.	-0.05 n.s.	-0.07 n.s.	p-

n.s.: not significant

Table 5 Correlation between the HRV-parameters and the k-value at rest and during exercise (LTP₁: lactate turn point 1; LTP₂: lactate turn point 2; P_{max}: maximum power output)

	HRV-Parameter						r
	TP	ULF	VLF	LF	HF	SD1	
Rest (n = 53)	0.03 n.s.	0.03 n.s.	0.00 n.s.	0.06 n.s.	0.04 n.s.	0.25 n.s.	p-
LTP ₁ (n = 53)	-0.36 <0.01	-0.43 <0.01	-0.36 <0.01	-0.32 <0.05	-0.31 <0.05	-0.18 n.s.	r
LTP ₂ (n = 53)	-0.45 <0.001	-0.52 <0.001	-0.41 <0.01	-0.47 <0.001	-0.45 <0.001	-0.21 n.s.	r
P _{max} (n = 53)	-0.06 n.s.	-0.53 <0.001	-0.07 n.s.	-0.01 n.s.	-0.03 n.s.	-0.23 n.s.	p-

n.s.: not significant

The fact that there was no significant HF increase from LTP_2 to P_{max} (quite contrary to VLF and LF) may indicate that after a drop of after the work load had been removed, parasympathetic influence remains at a constant low level and then experiences the recovery mentioned before. As parasympathetic influence is dependent both on HF and on SD1, it was astonishing to note that correlation exists not only between SD1 and HF but also between SD1 and all other frequency parameters. The highest correlation at rest was observed between SD1 and HF, which is a confirmation of identical results ($r=0.94$) achieved by Tulppo [22]. The same author observed a decrease in this correlation ($r=0.70$) at the ventilatory threshold and at LTP_1 , which was also confirmed in this investigation. Tulppo [23] observed the same effect between LF and SD1, but with a lower correlation (rest: $r=0.72$; LTP_1 : $r=0.62$), which did not apply in our study due to the higher correlation at LTP_1 . Tulppo [23] also stated that there was a high HF-SD1 correlation at the end of exercise ($r=0.78$), which did not occur in our case. As the results are partially contradictory to the literature, in particular the short recording periods of the frequency HRV of one minute may have to be reconsidered. Kautzner [9] indicated a recording period of one minute for HF only (with this period being the lower limit), for LF at least 2 min are necessary and for ULF, VLF, and TP recording times of several hours are necessary to obtain optimum values. Yamamoto [24] regarded short term HRV measured with Fast Fourier Transform as applicable only for low intensities. This could explain the low correlation values at P_{max} between SD1 and the frequency parameters in our study.

The negative significant correlations between the frequency parameters and the k-value during sub-maximal exercise show that a high frequency domain HRV during exercise is a reason for an

upward deflection of the heart rate performance curve.

CONCLUSIONS

Based on the present results, the frequency domain method allows making clearer and more detailed statements on HRV curves during exercise. In particular, HF can replace SD1 especially at rest and during sub-maximal exercise and thus it is possible to utilize the higher accuracy of the frequency parameters. To be able to make further, admissible statements on the behavior of the frequency parameters it will be necessary to further examine this method with regard to short term recording, as this is necessary for short term changes in work loads.

References

- [1] Akselrod S.: Components of Heart Rate Variability: Basic Studies. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 147-163.
- [2] Bigger JTJr, Albrecht P, Steinmann RC, Rolnitzky LM, Fleiss JL, Cohen RJ.: Comparison of Time- and Frequency Domain-Based Measures of Cardiac Parasympathetic Activity in Holter Recordings After Myocardial Infarction. The American Journal of Cardiology 1989; 64: 536-538.
- [3] Bigger JTJr, Fleiss JL, Steinmann RC, Rolnitzky LM, Kleiger RE, Rottmann JN.: Frequency Domain Measures of Heart Period Variability and Mortality After Myocardial Infarction. Circulation 1992; 85: 164-171.
- [4] Bigger JTJr, Fleiss JL, Rolnitzky LM, Steinmann RC.: Frequency Domain Measures of Heart Period Variability to Assess Risk Late After Myocardial Infarction. Journal of American College of Cardiology 1993; 21: 729-736.
- [5] Bosner MS, Kleiger RE.: Heart Rate Variability and Risk Stratification After Myocardial Infarction. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New

- York 1995: 331-340.
- [6] Cerutti S, Bianchi AM, Mainardi LT.: Spectral Analysis of the Heart Rate Variability Signal. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 63-74.
- [7] Coumel P, Maison-Blanche P, Catuli D.: Heart Rate and Heart Rate Variability. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 207-221.
- [8] Hainsworth R.: The Control and Physiological Importance of Heart Rate. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 3-19.
- [9] Kautzner J, Hnatkova K.: Correspondence of Different Methods for Heart Rate Variability Measurement. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 119-126.
- [10] Kleiger RE, Stein PK, Bosner MS, Rottmann JN.: Time-Domain Measurements of Heart Rate Variability. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 33-45.
- [11] Malik M, Farrell T, Cripps T, Camm AJ.: Heart Rate Variability in Relation to Prognosis After Myocardial Infarction: Selection of Optimal Processing Techniques. European Heart Journal 1989; 10: 1060-1074.
- [12] Malik M, Camm AJ.: Heart Rate Variability. New York 1995. a.
- [13] Malik M.: Geometrical Methods for Heart Rate Variability Assessment. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 47-61. b.
- [14] Malliani A.: Association of Heart Rate Variability Components with Physiological Regulatory Mechanisms. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 173-188.
- [15] Pagani M, Lucini D, Rimoldi O, Furlan R, Piazza S, Biancardi L.: Effects of Physical and Mental Exercise on Heart Rate Variability. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 245-266.
- [16] Pokan R, Hofmann P, Preidler K, Leitner H, Dusleag J, Eber B et al.: Correlation Between Inflection of Heart Rate/Work Performance Curve and Myocardial Function in Exhausting Cycle Ergometer Exercise. European Journal of Applied Physiology 1993; 67: 385-388. a.
- [17] Pokan R, Hofmann P.: Deflexion der Herzfrequenzleistungskurve und der myokardialen Funktion an der anaeroben Schwelle. Österreichisches Journal für Sportmedizin 1993; 23: 88-96. b.
- [18] Shin K, Minamitani H, Onishi S, Yamazaki H, Lee M.: The Power Spectral Analysis of Heart Rate Variability in Athletes During Dynamic Exercise-Part I. Clinical Cardiology 1995; 18: 583-586.
- [19] Singer DH, Ori Z.: Changes in Heart Rate Variability Associated with Sudden Cardiac Death. In: Malik M, Camm AJ. Heart Rate Variability. New York 1995: 429-448.
- [20] Stein PK, Rottmann JN, Kleiger RE.: Time Domain Measures of Heart Rate Variability as Surrogates for Frequency Domain Measures in Stable Congestive Heart Failure Patients and Normals. Circulation 1994; 90: I-331.
- [21] Thompson RW, Wilkinson JW, Laukkanen RMT, Seppänen T.: The Relationship of Short-Term Measures of HRV to Heart Rate and Exercise Intensity. Medicine and Science in Sports and Exercise 1997; 29: S138.
- [22] Tulppo MP, Mäkikallio TH, Takala TES, Seppänen T, Huikuri HV.: Quantitative Beat-to-Beat Analysis of Heart Rate Dynamics During Exercise. American Journal of Physiology 1996; 271: H244-H252. a.
- [23] Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Thompson RW, Wilkinson WJ, Blair SN, Laukkanen RT, Huikuri HV.: Non-Linear Dynamics of Heart Rate Variability During Exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise 1996; 28: S24. b.
- [24] Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC.: Autonomic Control of Heart Rate During Exercise Studied by Heart Rate Variability Spectral Analysis. Journal of Applied Physiology 1991; 71: 1136-1142.

肥満者およびスポーツ選手の 減量に対する低圧環境下における 歩行運動の有効性

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 木村季由 (体育学部体育学科)

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) サンドゥー・アダルシュ (工学部電気工学科)

山並義孝 (体育学部社会体育学科) 齋藤 勝 (体育学部体育学科)

The Effect of Walking Exercise in a Hypobaric Environment for Weight Reduction in Obese Adults and Athletes

Tamotsu TERAO, Hideyuki KIMURA, Tetsuya ONDA, Seiji ARUGA, Yutaka NAKAMURA,
Adarsh SANDHU, Yoshitaka YAMANAMI and Masaru SAITO

Abstract

The purpose of this study was to elucidate the effects of walking exercise based on the lactate threshold (LT) in a hypobaric environment on the body composition and energy metabolism in body weight reduction of athletes and obese adults. Before and after the training in experimental group I (EG I) of athletes, experimental group II (EG II) of obese adults and control group (CG), the following parameters were measured; body weight (BW), body composition and resting metabolic rate (RM) at 8:30-9:00a.m.. The subjects performed exercise under hypobaric environment (1500m) in EG I and II, and under normobaric environment in CG, for 60 min/day, 3 days/week for 4 weeks. BW in EG I and II after the training for 4 weeks was significantly lower than that before the training ($p < 0.01$, $p < 0.05$). Body composition of body fat, was also significantly decreased after the training ($p < 0.01$, $p < 0.01$). RM after the training in EG I and II was significantly higher than that before the training ($p < 0.05$, $p < 0.05$). Energy obtained from lipids was determined based on the respiratory quotient at rest in EG I and II, which was observed to have increased after the training ($p < 0.01$, $p < 0.05$). These results indicate that walking exercise based on the LT in a hypobaric environment may be a useful method for body weight reduction and exercise treatment for obesity.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 15-23, 2001)

I. 緒 言

近年、競技スポーツと減量・ウエイトコントロールや肥満と運動に関する研究¹⁻⁷⁾が数多く報告されている。競技スポーツに関しては、柔道をはじめレスリング、ウエイトリフティングおよびボクシングなどの体重階級制スポーツ選手のみならず、多くのスポーツ選手にとって、減量・ウエイトコントロールは最も重要課題の一つであり、それに伴う身体組成の改善が競技成績の一翼を担うのみだけでなく、その成否が身体組成の恒常性の破綻から、体力や運動能力を低下させ、さらには健康を障害させる危険性もある。一方、肥満に関しては、心臓病、糖尿病、高脂血症、高血圧症など多くの生活習慣病の誘因になることから早期に改善する必要がある。スポーツ選手および肥満者に対して減量およびウエイトコントロールを行う場合には、除脂肪体重 (LBM) を減少させず体脂肪を減少させることが重要となる。

そこで、肥満の予防・改善を目的として、身体運動の必要性が論じられている。この運動実施に関して、安全の面から運動の種目や強度設定が重要な意義を有することにもなり、重度の走行運動よりも軽度の歩行運動の効果^{8,9)}が注目されている。しかし、歩行運動は、脂質代謝の改善が認められるが、脂質燃焼のために長時間の運動を行わなければならないと、さらに、減量に長期間を必要とする。そこで、この早期的改善には、平地よりも高地でのトレーニングがエネルギー消費量の増大および脂質代謝の亢進^{9,10)}などを認めていることから、スポーツ選手および肥満者の減量・ウエイトコントロールにより有効であろうと考えられる。近年、高地トレーニングは、一部のエリートスポーツ選手の競技力向上のみならず、幅広い年齢層のヒトに対する肥満予防および健康増進に貢献する可能性¹¹⁾が指摘されている。

従来、私たちは、人工的高地環境システムの低圧室を用い、低圧環境下における血中乳酸濃度を

指標とした持久的トレーニングに対する負荷強度の方法、低圧トレーニングと運動能力に関する研究^{12,13)}、さらには、身体組成および脂質代謝の面から減量・ウエイトコントロールに関する研究^{9,14)}についても検討を行っている。

本研究では、日常、運動習慣を有するものの減量・ウエイトコントロールを必要とするスポーツ選手および肥満者を対象に、低圧環境下における乳酸性閾値 (lactate threshold, LT) 強度を指標とした歩行運動の有効性について身体組成およびエネルギー代謝の面からどのような影響を及ぼすかを検討した。

II. 実験方法

1. 対象者

実験対象は、東海大学体育会系に所属するスポーツ選手10名 (年齢 20.1 ± 1.4 歳、身長 182.1 ± 4.2 cm、体重 101.9 ± 11.9 kg、体脂肪率 $21.1 \pm 1.6\%$) および一般成人の男子4名 (年齢 50.3 ± 6.8 歳、身長 164.8 ± 5.8 cm、体重 70.1 ± 3.7 kg、体脂肪率 $24.5 \pm 3.6\%$) を被験者とした。スポーツ選手は、対照群 (5名) と実験群I (5名) に分け、一般成人を実験群II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. 環境条件

常圧および低圧環境下の実験は、東海大学スポーツ医科学研究所に設置されている低圧 (高地トレーニング) 室を使用した。

本研究では、常圧環境下 (気圧、760mmHg) および低圧環境下 (標高1500mに相当する気圧、634mmHg) にそれぞれ調整して行った (室温を 20°C 、相対湿度55%)。

3. 運動負荷テストおよびLTの判定

常圧および低圧環境下における運動負荷テストの測定には、トレッドミル (速度を6 km/hに固

定)を用い、4～5種類の異なった傾斜角を選んで、低角度からそれぞれ10分間の歩行運動を行わせた。各運動の間には、10分間の休息時間を入れた。

血中乳酸濃度は、各10分間の運動終了直後に指先から微量の採血を行って測定した。LTの判定は、運動強度と血中乳酸濃度との関係から、LTに相当するトレッドミル傾斜角を求めた。

次に、実験としては、実験群IおよびIIの中から4名を無作為に選び、LT強度の歩行運動を常圧および低圧環境下で行った際の運動中(60分間)および回復期(30、60および180分)のエネルギー消費量を測定した。

4. 持久的トレーニング

実験群IおよびIIに対する低圧環境下の持久的トレーニングは、4週間にわたり、週3回の頻度で、1日60分間の運動とした。運動後、被験者は、低圧環境下で1時間の安静状態を保持した。このトレーニング期間は、通常の練習および補強トレーニングは継続して行った。なお、対照群は、実験期間中、常圧環境下で歩行運動、またはレジスタンストレーニングを行った。トレーニング期間中は、摂取エネルギーの制限など強制的な栄養指導は行わず本人の自主性に任せた。

5. 安静時代謝量の測定

トレーニング前後の安静時代謝量は、常圧環境下(気圧760mmHg、室温25℃、相対湿度55%)で、前日の夕食後12時間以上の絶食状態で午前8時30分～9時に椅座位で測定を行った。

6. 測定方法

血中乳酸濃度は、グルコース・ラクテートアナライザー2300STAT(米国、YSI社)、体脂肪率が体内脂肪計TBF-305(日本、タニタ)をそれぞれ用いて測定した。エネルギー代謝量は、テレメトリー式呼吸代謝計測装置K4(イタリア、Cosmed社)を用いて行い、さらに、この装置の栄養管理ソフトによって全エネルギー消費量、糖

質および脂肪からの推定エネルギー消費量¹⁵⁾等を算出した。

7. 統計解析

統計量は、平均値±標準偏差で示した。各群におけるトレーニング前後の体重、身体組成、エネルギー代謝量などの有意差の検定には、paired t-testを用いた。統計的有意水準は、すべての検定において5%未満とした。

Ⅲ. 実験結果

1. 常圧および低圧環境下における歩行運動時のエネルギー消費量

図1、図2に常圧および低圧環境下における歩行運動中および回復期のエネルギー消費量の変化を示した。まず、運動中では、両者に顕著な差がみられなかったが、回復期は低圧環境下の方が常圧環境下に比較して180分後でも高値傾向を示した。

2. 4週間のトレーニング前後における体重の変化

4週間のトレーニング前後における体重の変化を図3に示した。低圧環境下でトレーニングを行った実験群IおよびIIの両群とも、トレーニング前後で有意な減少を示した($p < 0.01$, $p < 0.05$)。これに対して、低圧トレーニングを行わなかった対照群では、4週間の前後で有意な差がみられなかった。

3. 4週間のトレーニング前後における体脂肪率の変化

図4に4週間のトレーニング前後における体脂肪率の変化を示した。実験群IおよびIIの体脂肪率も低圧トレーニング前後で有意な減少を認めた($p < 0.01$, $p < 0.01$)のに対して、対照群では、4週間の前後で有意な差が認められなかった。

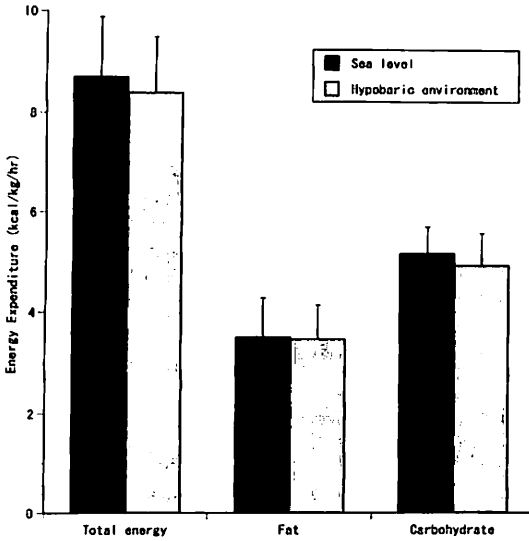


図1 常圧および低圧環境下の歩行運動中におけるエネルギー消費量の変化
Fig. 1 Changes in energy expenditure during walking exercise under normobaric (sea level) and hypobaric environment
Values are expressed as means \pm SD

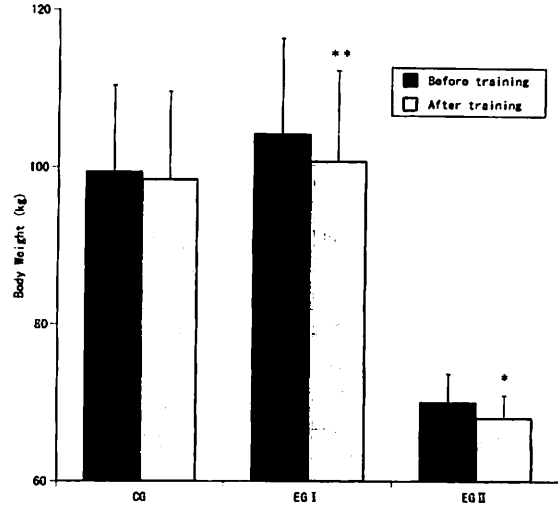


図3 4週間のトレーニング前後における体重の変化
Fig. 3 Changes in body weight before and after training for 4 weeks. Values are expressed as means \pm SD
CG; control group (athletes), EG I; experimental group I (athletes), EG II; experimental group II (obese adults)
** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

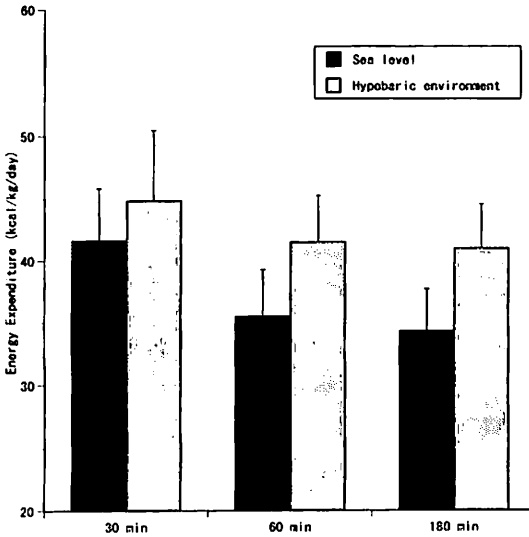


図2 常圧および低圧環境下の歩行運動後におけるエネルギー消費量の変化
Fig. 2 Changes in energy expenditure after walking exercise under normobaric (sea level) and hypobaric environment
Values are expressed as means \pm SD

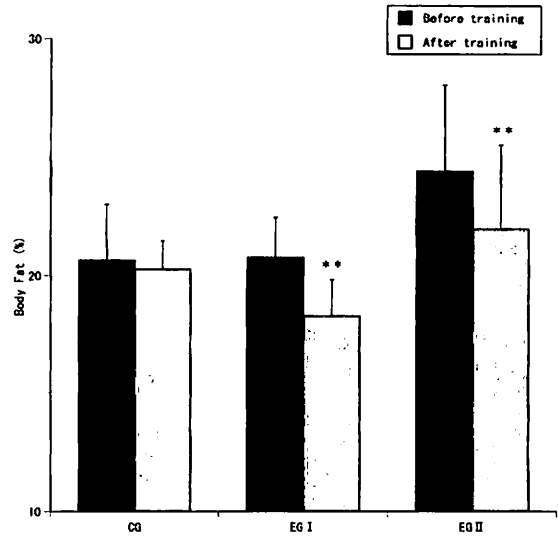


図4 4週間のトレーニング前後における体脂肪率の変化
Fig. 4 Changes in % body fat before and after the training for 4 weeks
Values are expressed as means \pm SD
CG; control group (athletes), EG I; experimental group I (athletes), EG II; experimental group II (obese adults)
** $p < 0.01$

4. 4週間のトレーニング前後における身体組成の変化

4週間のトレーニング前後における身体組成の変化を図5に示した。実験群IおよびIIの体脂肪量は、低圧トレーニング前後で有意な減少を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$) のに対して、対照群では有意な差がみられなかった。除脂肪体重 (LBM) については、実験群I、IIおよび対照群のいずれの群でも4週間の前後でほぼ同値を示した。

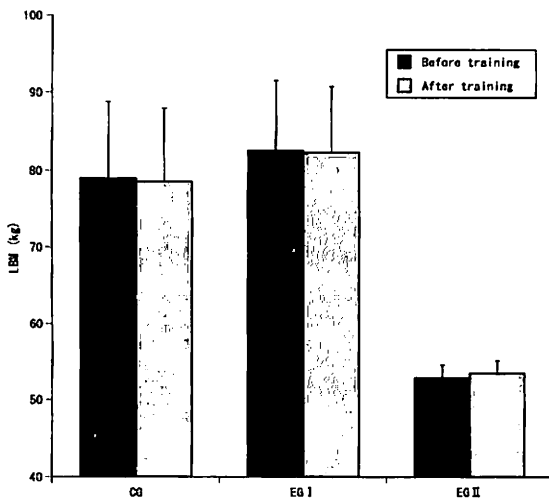
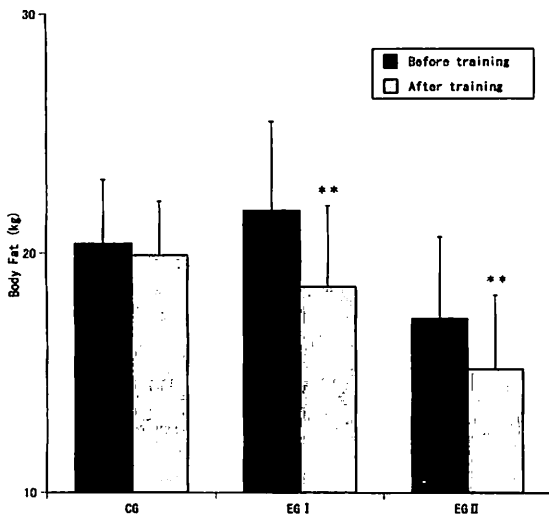


図5 4週間のトレーニング前後における身体組成の変化
 Fig. 5 Changes in body composition before and after the training 4 weeks
 Values are expressed as means \pm SD
 CG; control group (athletes), EG I; experimental group I (athletes), EG II; experimental group II (obese adults)
 ** $p < 0.01$

5. 4週間のトレーニング前後における安静時代謝量の変化

図6に4週間のトレーニング前後における実験群と対照群の安静時代謝量の変化を示した。低圧トレーニングを行った実験群IおよびIIは、トレーニング前後で有意な増加を示した ($p < 0.01$, $p < 0.05$) のに対して、対照群では、有意な差が認められなかった。

6. 4週間のトレーニング前後の安静時における糖質、脂肪からの推定エネルギー消費量の変化

4週間のトレーニング前後の安静時における糖質、脂肪からの推定エネルギー消費量の変化を図7、図8に示した。実験群IおよびIIは、脂肪からのエネルギー消費量がトレーニング前後で有意な増加を示した ($p < 0.01$, $p < 0.05$)。対照群では、トレーニング前後で有意な差がみられなかった。

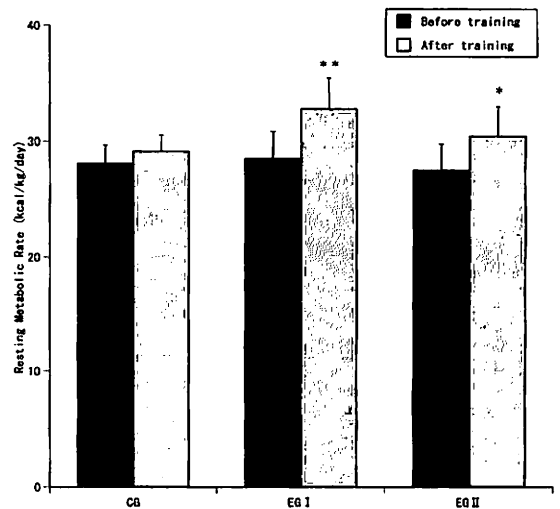


図6 4週間のトレーニング前後における安静時代謝量の変化
 Fig. 6 Changes in resting metabolic rate before and after the training for 4 weeks. Values are expressed as means \pm SD
 CG; control group (athletes), EG I; experimental group I (athletes), EG II; experimental group II (obese adults)
 ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

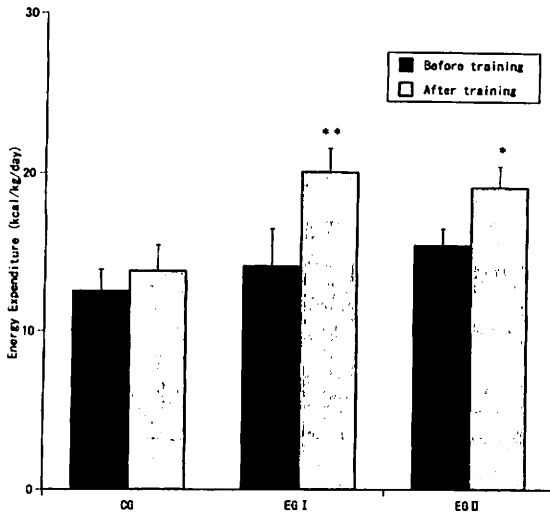


図7 4週間のトレーニング前後の安静時における脂肪からの推定エネルギー消費量の変化

Fig. 7 Changes in energy expenditure obtained from lipids before and after the training for 4 weeks. Values are expressed as means \pm SD
CG; control group (athletes), EG I; experimental group I (athletes), EG II; experimental group II (obese adults)
** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

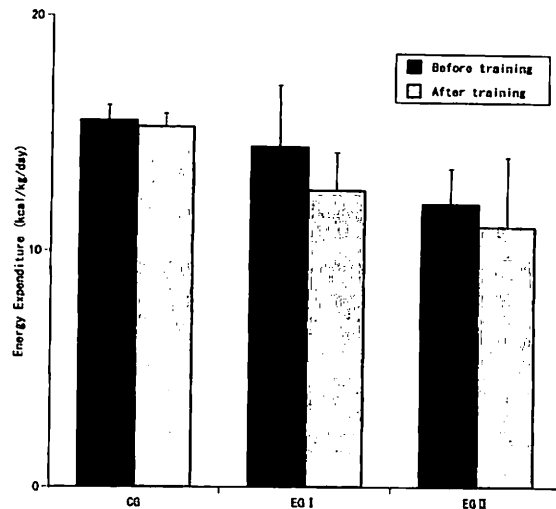


図8 4週間のトレーニング前後の安静時における糖質からの推定エネルギー消費量の変化

Fig. 8 Changes in energy expenditure obtained from carbohydrate before and after the training for 4 weeks. Values are expressed as means \pm SD
CG; control group (athletes), EG I; experimental group I (athletes), EG II; experimental group II (obese adults)

IV. 考 察

本研究では、日常、運動習慣を有するものの減量・ウエイトコントロールを必要とするスポーツ選手および肥満者を対象に、低圧環境下における乳酸性閾値 (lactate threshold, LT) 強度を指標とした歩行運動の有効性について身体組成およびエネルギー代謝の面からどのような影響を及ぼすかを検討した。

4週間の低圧トレーニングを行った実験群I (スポーツ選手) および実験群II (肥満者) の体重は、トレーニング前に比較して、トレーニング後で有意な減少を示したのに対して、常圧環境下でトレーニングを行った対照群 (スポーツ選手) では4週間の前後で著明な変化がみられなかった。実験群IおよびIIにおける減少の内訳は、脂肪量がトレーニング前に比較して有意な減少を示したのに対して、LBMは4週間の前後で有意な差がみられなかった。実際の高地を含めた低圧環

境下のトレーニングには、標高 (気圧) の違いで生体に及ぼす効果も異なってくる。体重、すなわち、体脂肪量の減少 (脂肪代謝の改善を含む) との関連からみると、現在までに、スポーツ選手を対象とした標高2000mに相当する低圧環境下における血中乳酸濃度 2 mM レベルを指標とした持久的運動 (走行運動) は、常圧環境下の運動よりも短期間で運動能力を向上させながら、脂質の改善が行われ、より効果的な減量ができる可能性のあること⁵⁾ や標高2300m相当する低圧環境 (574mmHg) 下における4週間の間欠的な持久的トレーニング (65~70% $\dot{V}O_2\max$) が脂質酸化の亢進、さらには、解糖系抑制の可能性があること¹⁰⁾ などが報告されている。さらに、標高2500mに相当する低圧低酸素環境下における持久的トレーニング (常圧下で測定した $\dot{V}O_2\max$ の50%に相当する強度) は、脂質代謝をより効果的に改善させる可能性のあること¹⁶⁾ も報告されている。したがって、標高2000~2500mに相当する低圧低酸素環境下における軽度から中程度の持久的トレーニングは、脂質代謝の改善に有効で

あり、さらに、この効果が減量、すなわち、体脂肪量の減少にも関連するものと考えられる。しかし、本研究のように低圧環境条件でも比較的低い1500mに相当する高度（気圧）に関する研究は、非常に少ないのが現状である。浅野ら¹⁷⁾は、1500m相当高度においても間欠的な低圧低酸素暴露と持久的トレーニング（75% $\dot{V}O_2\text{max}$ ）を継続することで、筋細胞内のクレブス回路促進と解糖系代謝の抑制をもたらすことを報告している。寺尾ら^{14,18)}は、標高1500mに相当する低圧環境下の歩行運動が体脂肪量を減少させる可能性のあることを報告している。減量およびウエイトコントロールの効果を得るには、脂質代謝の亢進が重要な要因の一つであり、本研究の標高1500mに相当する低圧環境下における歩行運動でも比較的短期間で脂質代謝の改善が行われ、体脂肪量を選択的に減少させることができるものと考えられる。

次に、4週間のトレーニングにおける安静時代謝量は、実験群IおよびIIが低圧トレーニング前後で有意に増加を示した。この内訳は、脂肪からのエネルギー消費量が低圧トレーニング前後で有意な増加が認められた。対照群では、いずれの項目でも4週間の前後で有意な差がみられなかった。一般的に、平地においても安静時代謝量は、運動の影響を受け、運動を継続している群が運動を行っていない群よりも高値を示すこと^{19,22)}が報告されている。もちろん、この効果は、運動の種目、トレーニングの内容および期間などによって異なっている²³⁾。特に、歩行運動については時間や期間、さらに、その上昇の程度に関しては、まだ明確にされていないのが現状である。高度との関連からみると、肥満者を高地（2360m）に滞在させ、歩行運動を行わせた研究では、2日目に安静時代謝量の上昇を認めたこと²⁴⁾が報告されている。本研究では、間欠的な標高1500mに相当する低圧環境下における歩行運動を1日60分間（低圧室滞在2時間）、週3回の頻度で4週間と比較的短い期間でも安静時代謝量を増加することが示唆された。先行研究でも標高1500mに相当する低圧環境下の歩行運動は、脂質代謝および安

静時代謝量に好影響を与えること^{14,18)}を報告している。これらの結果は、低圧環境下の歩行運動を1時間行うことで、運動後のエネルギー消費量が常圧時に比べて上昇傾向を示したこと（図1）にも関連する。平地における一過性の運動に関しても鍛錬者に対する70% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度の運動²⁵⁾や非鍛錬者に対する換気性閾値強度の運動²⁶⁾では、運動終了後、長時間にわたって脂質代謝を亢進させ、エネルギー消費量を上昇させることが報告されている。したがって、本研究のように低圧環境下（高地）の運動では、常圧環境下（平地）よりも一定期間トレーニングを継続すると、低圧低酸素刺激とトレーニング刺激の相乗作用が慢性的なエネルギー代謝量の増加、脂質代謝の亢進、さらには、体脂肪量の減少に大きく関与していたことが示唆される。これらの詳細な機序については、今後の検討課題でもある。

以上、本研究の成績から、スポーツ選手および肥満者の減量に対する標高1500mに相当する低圧環境下における歩行運動は、身体的にも安全で安静時代謝の亢進および脂質代謝の改善が行われ、より効果的な減量ができる可能性のあることが示唆された。

V. まとめ

本研究では、日常、運動習慣を有するものの減量・ウエイトコントロールを必要とするスポーツ選手および肥満者を対象に、低圧環境下における乳酸性閾値（LT）強度を指標とした歩行運動の有効性について身体組成およびエネルギー代謝の面からどのような影響を及ぼすかを検討した。

その成績を示すと次のごとくである。

- 1) 常圧および低圧環境下における運動時のエネルギー消費量は、運動中で両者に顕著な差がみられなかったが、回復期では低圧環境下の方が高値傾向を示した。
- 2) 4週間の低圧環境下で持久的トレーニングを行った実験群IおよびIIの体重は、トレーニ

ング前に比較して、トレーニング後で有意な減少を示した ($p < 0.01$, $p < 0.05$)。これに対して、低圧トレーニングを行わなかった対照群では、4週間の前後でほぼ同値を示していた。

- 3) 実験群IおよびIIの体脂肪率は、低圧トレーニング前に比べて、トレーニング後で有意な減少を認めた ($p < 0.01$, $p < 0.01$) のに対して、対照群では、4週間の前後で有意な差がみられなかった。
- 4) 実験群IおよびIIの体脂肪量は、低圧トレーニング前に比較して、トレーニング後で有意な減少を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$) のに対して、対照群では、ほぼ同値を示していた。LBMについては、実験群および対照群のいずれの群でも4週間の前後で有意な差がみられなかった。
- 5) 実験群IおよびIIの安静時代謝量は、トレーニング前後で有意な増加を示した ($p < 0.01$, $p < 0.05$)。この内訳は、脂肪からのエネルギー消費量がトレーニング前後で有意な増加を示した ($p < 0.01$, $p < 0.05$) に対して、対照群では、有意な差が認められなかった。

以上、本研究の成績から、肥満者およびスポーツ選手の減量に対する標高1500mに相当する低圧環境下における歩行運動は、安静時代謝の亢進および脂質代謝の改善が行われ、より効果的な減量ができる可能性のあることが示唆された。

参考文献

- 1) Houston, M. E., Marrin, D. A., Green, H. J. and Thomson, J. A.: The effect of rapid weight loss on physiological functions in wrestlers. *Phys. Sports-med.* 9: 73-78, 1981.
- 2) 寺尾 保, 山下泰裕, 張 楠, 並木和彦, 内藤堅志, 中西英敏, 白瀬英春, 佐藤宣践, 小村渡岐磨, 中野昭一: 糖質摂取を主体とした減量法の検討, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第6号: 21-27, 1994.
- 3) 山地啓司: ジョギングの特性, *J. J. Sports Sci.*, 14(1): 11-22, 1995.
- 4) Franklin, B., Buskrk, E., Hodgson, J., Gahagan, H., Kollias, J., Mendez, J.: Effects of physical conditioning on cardiorespiratory function, body composition and serum lipids in relatively normal-weight and obese middle-aged women. *Int. J. Obesity*, 3: 97, 109, 1979.
- 5) Hagan, R. D., Upton, S. J., Wong, L., Wittam, J.: The effects of aerobic conditioning and/or caloric restriction in overweight men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18: 87-94, 1986.
- 6) 清水完悦, 木川田隆一, 寺尾 保, 西脇 要, 高尾良英, 羽鳥 裕, 森敬太郎, 笹川洋之助, 京極 浩, 伊藤久史: 肥満例に対するフィットネスクラブ主体の3ヶ月間の運動療法の肥満, 血清脂質, 血圧, 運動耐容能への効果, 日本臨床生理学会雑誌, 26(1): 15-23, 1996.
- 7) 佐藤祐造, 押田芳治: 糖尿病・肥満治療としてのウォーキング, *臨床スポーツ医学*, 9(2): 149-152, 1992.
- 8) 甲田道子, 宮下充正: 運動実践が肥満に及ぼす影響, *J. J. Sports Sci.*, 14(1): 79-83, 1995.
- 9) 寺尾 保, 恩田哲也, 中村 豊, 有賀誠司: 低圧環境下における持久的トレーニングがスポーツ選手の形態, 身体組成および脂質代謝に及ぼす効果, *体力科学*, 46(6): 916, 1997.
- 10) Terrados, N., Melichna, J., Sylven, C., Jansson, E. and Kaijser, L.: Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57: 203-209, 1988.
- 11) 浅野勝己: 高所トレーニングの生理的意義と最近の動向, *臨床スポーツ医学*, 16(5): 505-516, 1999.
- 12) 寺尾 保, 中村 豊, 松前光紀, 山下泰裕, 張楠, 三田信孝, 新居利広, 岩垣丞恒, 佐藤宣践, 齋藤勝: 低圧環境下における血中乳酸濃度4 mMレベルを指標とした持久的トレーニング負荷強度についての検討, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第8号: 65-72, 1996.
- 13) 寺尾 保, 恩田哲也, 中村 豊, 有賀誠司, 松前光紀, 田辺晃久, 山下泰裕, 岩垣丞恒, 佐藤宣践, 齋藤 勝: 低圧環境下における持久的運動負荷時に気圧変動をさせた場合の血中乳酸濃度および心拍応答に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科

- 学雑誌, 第9号: 28-33, 1997.
- 14) 寺尾 保, 木村季由, 湯浅康弘, 袋館龍太郎, 恩田哲也, 有賀誠司, 中澤一成, 山並義孝, 中村豊, 齋藤 勝: スポーツ選手の減量に対する低圧環境下の歩行運動が身体組成およびエネルギー代謝に及ぼす影響, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第9号: 22-29, 1999.
 - 15) 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.
 - 16) Kikuchi, K., Kitahara, Y.: Effects of endurance training under acute hypobaric hypoxia on lipids metabolism. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 4(4): 159, 1999.
 - 17) 浅野勝己: 高地トレーニングの基礎—その生理学的効果について—, *臨床スポーツ医学*, 8(6): 585-592, 1991.
 - 18) Terao, T., Onda, T., Aruga, S., Yamanami, Y.: Effects of walking exercise in a hypobaric environment on the body composition and energy metabolism of obese subjects. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 4(4): 161, 1999.
 - 19) 中野昭一, 重田定義編: 図説 からだの事典, 朝倉書店, 1992.
 - 20) Pratley, R., Nicklas, B., Rubin, M., Miller, J., Smith, A., Smith, M., Hurley, B., and Goldberg, A.: Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J. Appl. Physiol.* 76: 133-137, 1994.
 - 21) Hunter, G. R., Wetzstein, C. J., Fields, D. A., Brown, A., and Bamman, M.: Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J. Appl. Physiol.*, 89: 977-984, 2000.
 - 22) Ryan, A. S., Nicklas, B. J., & Elahi, D.: A cross-sectional study on body composition and energy expenditure in women athletes during aging. *Am. J. Physiol.*, 271: E916-E921, 1996.
 - 23) Sale, J. E. M., McCargar, L. J., Crawford, S. M., & Taunton, J. E.: Effect of exercise modality on metabolic rate and body composition. *Clin. J. Sport Med.*, 5: 100-107, 1995.
 - 24) 長崎成良, 高櫻英輔, 泉 一郎: 高所環境における肥満治療の可能性 (ヘルシーウォークイン立山) —安静時エネルギー代謝の増大を利用して—, *体力科学*, 46(5): 552, 1997.
 - 25) Maehlum, S., Grandmontagne, M., Newshome, E. A. and Sejeestered, O. M: Magnitude and duration of excess postexercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metabolism*, 35: 425-429, 1986.
 - 26) 長野真弓, 白山正人, 平野裕一, 宮下充正: 換気性閾値強度の運動が運動後過剰酸素消費量の量・持続時間に及ぼす影響, *体力科学*, 41: 436-446, 1992.

トライアスロン選手における レジスタンストレーニングの効果

有賀誠司 (スポーツ医学研究所) 寺尾 保 (スポーツ医学研究所)
恩田哲也 (スポーツ医学研究所) 中村 豊 (スポーツ医学研究所)
宇佐美彰朗 (体育学部体育学科) 生方 謙 (体育学部非常勤講師)
平井統基 (東海大学大学院体育学研究科)

Effects of Resistance Training Program in Triathletes

Seiji ARUGA, Tamotsu TERAU, Tetsuya ONDA, Yutaka NAKAMURA,
Akio USAMI, Ken UBUKATA and Motoki HIRAI

Abstract

The purpose of the present study was to determine the effects of a resistance training program in triathletes. Eight healthy university competitive men's triathletes who had no experience of the resistance training were assigned to either the resistance training group (TRAINING: N = 4) or the regular training group (CONTROL: N = 4). The resistance training program that Johnston et al. (1995) used for women long-distance runners was carried out three times a week, for ten weeks in TRAINING. Body weight, body fat, muscle cross-sectional area of thigh, squat 1RM, leg press power, isokinetic strength, and the incremental exercise using treadmill were examined before and after the training. At the same time, VO_{2max} and blood lactate concentration were also measured.

The main results were as follows;

- 1) In regard to body weight, body fat, and muscle cross-sectional area of the thigh, no significant changes were found in either the TRAINING a CONTROL groups.
- 2) In the case of squat 1RM and leg press power, a significant increase was noted in the TRAINING group ($p < 0.01$, $p < 0.05$). There were no significant changes in isokinetic strength for either the TRAINING or CONTROL group.
- 3) There was no significant changes in VO_{2max}/BW in either groups. However, there was a significant increase in blood lactate concentration in the TRAINING group ($p < 0.05$).
- 4) There was a positive correlation between the percentage change in leg press power/squat 1RM and in blood lactate concentration ($p < 0.05$) in both groups.

From these results we suggest that the resistance training program in triathletes was useful to improve the muscle strength and power without muscle hypertrophy, and to enhance during endurance high intensity exercise.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 24-33, 2001)

Ⅰ. 緒 言

従来より、陸上競技長距離種目やトライアスロン競技をはじめとする持久型競技の場合、運動中のエネルギー供給が有気的に行われることから、パフォーマンスに関与する因子としては、最大酸素摂取量等の有酸素的能力に関する指標¹⁻³⁾や、フォームの経済性等のスキルに関する要因⁴⁻⁶⁾が重視されてきた。しかしながら、近年、持久型競技選手の筋力及び筋パワーに関する報告⁷⁻¹²⁾がみられるようになり、持久型競技選手のパフォーマンスに影響を及ぼす因子として、筋力及び筋パワーが注目されるようになってきている。

一方、持久的運動の実施による急性的な影響として、脚筋力の低下^{13,14)}や、ドロップジャンプの跳躍高の低下¹⁵⁾、伸張—短縮サイクル運動における筋パワーの顕著な低下¹⁶⁾が起こることが報告されているほか、長距離ランニングによる疲労に伴いランニングフォームが変化したとする報告¹⁷⁾や、ランニングの経済性が低下したとする報告¹⁸⁾がみられ、持久型競技において高いパフォーマンスを発揮するためには、ある程度の水準の筋力・パワーを身につけるとともに、持久的運動中にこれらを維持する能力も重要であることが示唆されている。

ところで、持久型競技選手におけるレジスタンストレーニングの効果については、高強度の筋力トレーニングによって、最大酸素摂取量が増大しなくても、漸増運動におけるオールアウトに至るまでの時間が長くなる報告^{19,20)}や、レジスタンストレーニングの実施によってランニングの経済性に向上がみられた報告^{21,22)}、ランニング動作中の接地時間の短縮がみられたとする報告²³⁾、伸張性収縮による筋力トレーニングが長距離選手の競技成績向上に効果的であったとする報告²⁴⁾などがあり、レジスタンストレーニングの実施によって、脚部の筋パワーの向上や伸張—短縮サイクルの改善等の神経筋系の適応が起こり、これらがランニ

ングの経済性の向上をもたらすのではないかと推測されている。

上記のように、近年、持久型競技選手のパフォーマンス向上にレジスタンストレーニングが有効であることが示されつつあるが、ほとんどは陸上競技長距離選手を対象としたものである。そこで本研究では、ランニング、スイム、バイクの三つ運動形態を有する持久型競技であるトライアスロン競技の選手を対象として、レジスタンストレーニングの効果について検討することを目的とした。

Ⅱ. 方 法

1. 対象

本研究の被験者は、レジスタンストレーニング経験のない大学トライアスロン部に所属する男子選手8名であった。各被験者は、オリンピックタイプのトライアスロン競技（スイム1.5km、バイク40km、ラン10km）を専門とし、2年以上の競技経験を持つ者であり、トレーニング開始前の年齢および身長はそれぞれ、 20.0 ± 0.8 歳（平均値±標準偏差）、 172.5 ± 4.4 cmであった。8名の被験者の中から、任意に4名をトレーニング群とし、その他の4名をコントロール群と規定した。なお、全ての被験者に実験の内容および危険性について説明し、実験参加の同意を得た。

2. レジスタンストレーニングの実施

トレーニング群の4名の被験者には、日常のトライアスロンの練習に加え、週3回のレジスタンストレーニングを10週間にわたって行わせた。レジスタンストレーニングのプログラム（表1）は、Johnston et al.²⁵⁾が長距離選手に用いたプロトコルと同様のものであり、主としてフリーウイト及びウイトスタック式トレーニングマシンを使用し、7つのエクササイズから構成される2つのトレーニングコースを交互に実施させた。負荷は、最大反復回数（RM法）を基準として設定

表1 レジスタンストレーニングのプログラム (Johnstonら, 1995のプロトコル)
Table 1 Resistance training program (R. E. Johnston et al., 1995)

Course A			
	Weeks 1-3	Weeks 4-8	Weeks 9-10
Parallel squat	3 × 10RM	3 × 6RM	3 × 4 to 5RM
Knee flexion	3 × 10RM	3 × 8RM	3 × 6RM
Straight-leg heel raise	3 × 12RM	3 × 12RM	3 × 8RM
Seated press	3 × 8RM	3 × 6RM	3 × 4 to 5RM
Rear lat pulldown	3 × 10RM	3 × 8RM	3 × 6RM
Hammer curl	3 × 8RM	3 × 6RM	3 × 4 to 5RM
Weighted sit-up	2 × 15RM	2 × 15RM	2 × 15RM

Course B			
	Weeks 1-3	Weeks 4-8	Weeks 9-10
Lunge	3 × 10RM	3 × 8RM	3 × 5RM
Knee extension	3 × 10RM	3 × 8RM	3 × 6RM
Bent-leg heel raise	2 × 20RM	3 × 20RM	3 × 20RM
Bench press	3 × 8RM	3 × 6RM	3 × 4 to 5RM
Seated row	3 × 10RM	3 × 8RM	3 × 6RM
Front lat pulldown	3 × 10RM	3 × 8RM	3 × 6RM
Abdominal curl	2 × max	2 × max	2 × max

し、各セットともフォームを崩さない範囲で最大反復させた。また、10週間のトレーニング期間を3つの期間に分け、段階的に負荷を増加させた。なお、各エクササイズの間には最低3時間以上の間隔を空けるように指示した。コントロール群の4名の被験者には、レジスタンストレーニングを実施させず、日常の練習を行うのみとした。

3. 形態及び体力の測定

レジスタンストレーニングの効果について検討するために、トレーニング期間の前後に形態及び体力の測定を実施した。

1) 形態の測定

形態の測定項目は、体重、体脂肪率、大腿部の筋断面積であった。

体脂肪率は、キャリパーにて上腕背部と肩甲骨下角部の皮下脂肪厚を測定して算出した。

大腿部の筋断面積は、臨床用1.5Tの超伝導MRI装置を用い、膝蓋骨の上端部より近位方向へ10cmにあたる位置を決定し、この位置より近位方向に対して5mmのスライス間隔にて10枚の横断像を連続的に撮影した。得られた各画像から大腿四頭筋、ハムストリング（大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋）、内転筋群（大内転筋、短内転筋、長内転筋）の各横断面積を合計し、これらの10枚の平均値を大腿部の筋断面積とした。

2) 筋力、筋パワー及び筋持久力の測定

筋力、筋パワー及び筋持久力の指標として、スクワットの最大挙上重量（1 RM）、レッグプレスパワー、膝関節の屈曲伸展動作の等速性筋出力を測定した。

筋力の指標として、スクワットの最大挙上重量（1 RM）を測定した。測定方法は、藤瀬ら²⁵⁾の規定に基づき、十分なウォームアップを行った後、バーベルを肩の上に載せ、大腿の上端部が床と平行になるところまでしゃがみ込み、腰背部の姿勢を維持したまま直立する動作を行わせ、挙上できたバーベルの最大重量を測定値とした。

筋パワーの指標として、レッグプレスパワーと膝関節の屈曲伸展動作による等速性筋出力のピークトルクを測定した。レッグプレスパワーは、コンビ社製アネロプレスを用い、座位姿勢にて股関節と膝関節を全力で伸展する動作中に発揮される最大パワーを測定した。膝関節の屈曲伸展動作の等速性筋出力は、米国Cybex Medical社製Cybex 770-Normを用い、角速度60deg/sec、180deg/sec、300deg/secの3種類の条件にて、座位姿勢で身体各部位を固定の上、膝関節の屈曲伸展動作を全力で行わせ、ピークトルクを測定した。また、筋持久力の指標として、角速度180deg/secの等速度の条件下で50回の膝関節の屈曲伸展動作を最大努力で行わせ、1～10回目の仕事量の平均値（初期値）と41～50回目の仕事量の平均値（終末値）を算出し、初期値に対する終末値の割合（仕事量の減少率）を求めた。

3) 最大酸素摂取量及び血中乳酸濃度の測定

呼吸代謝機能の指標として、運動中の最大酸素摂取量と血中乳酸濃度の測定を実施した。

最大酸素摂取量は、トレッドミル（日立テクノエンジニアリング社製）による負荷漸増運動テストを用いて測定した。テストのプロトコルは、運動開始時から2分の間、予備実験によって決定された12～13km/hの速度で走行を行い、その後2分ごとに1km/hずつ速度を増加させ、疲労困憊まで至らせるものであった。運動中の換気量及び

呼気ガスの分析は、Cosmed社製テレメトリー式呼吸代謝測定装置K4を使用した。

血中乳酸濃度の測定は、安静時、運動開始後2分間ごと、運動直後、運動終了後1、3、5分後に、指先よりガラス管を用いて微量の血液を採取し、YSI社製自動乳酸分析器（Mode I23L）にて行った。

4. 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で示した。トレーニング群とコントロール群との平均値の差の検定にはunpaired t-test、各群内のトレーニング前後における平均値の差の検定には、paired t-testを用いた。また、各測定値相互の関係は、ピアソンの相関係数を用いて求めた。統計処理の有意水準は5%未満とした。

III. 結 果

1. 形態の変化

表2に、トレーニング期間前後における体重、体脂肪率、除脂肪体重および大腿部筋断面積の測定値と変化率を示した。トレーニング期間前の各測定値については、群間に有意な差は認められなかった。トレーニング期間後のコントロール群及びトレーニング群における各測定項目の変化率については、体重（0.9±1.4% vs 0.8±1.1%）、体

表2 体重、体脂肪率、除脂肪体重、大腿部筋断面積の変化
Table 2 Changes in body weight, %Fat, LBM and Muscle CSA (Cross Section Area)

Group		Body Weight (kg)	%Fat (%)	LBM (kg)	Muscle CSA (cm ²)
Control (n=4)	Pre	61.3±6.0	12.5±1.2	53.6±5.1	158.1±17.4
	Post	61.8±6.0	12.4±1.2	54.1±5.4	160.5±18.8
	%	0.9±1.4	-0.2±2.6	1.1±2.6	1.5±1.8
Training (n=4)	Pre	62.7±4.5	12.4±1.9	54.9±3.8	159.2±20.0
	Post	63.2±3.8	12.9±1.0	53.7±1.8	163.3±24.7
	%	0.8±1.1	5.3±8.6	0.2±1.3	2.3±4.2

Values are mean±SD.

%; rate of increase of pre training

脂肪率 ($-0.2 \pm 2.6\%$ vs $5.3 \pm 8.6\%$)、除脂肪体重 ($1.1 \pm 2.6\%$ vs $0.2 \pm 1.3\%$)、および大腿部筋断面積 ($1.5 \pm 1.8\%$ vs $2.3 \pm 4.2\%$) の全ての項目において群間に有意な差は認められなかった。トレーニング期間前後の測定値の変化については、全ての項目において両群ともに有意な差は認められなかった。

2. 筋力・筋パワー及び筋持久力の変化

表3に、トレーニング期間前後におけるスクワット1RM、レッグプレスパワー、膝の屈曲伸展動作による60deg/sec・180deg/sec・300deg/secの等速動作で発揮されたピークトルク及び仕事量減少率の測定値と変化率を示した。トレーニング期間前の各測定値については、群間に有意な差は認められなかった。

トレーニング期間後のコントロール群及びトレーニング群における各測定項目の変化率に関しては、スクワット1RM ($0.0 \pm 0.0\%$ vs $41.6 \pm 2.9\%$) において、トレーニング群はコントロール群に比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。また、レッグプレスパワー ($-5.7 \pm 9.6\%$ vs $18.2 \pm 7.8\%$) についても、トレーニング群はコントロール群に比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。一方、60deg/secにおけるピークトルク (伸展 $1.4 \pm 5.3\%$ vs $8.7 \pm 6.2\%$ 、屈曲 $19.3 \pm 13.7\%$ vs $6.3 \pm 1.2\%$)、180deg/secにお

けるピークトルク (伸展 $4.7 \pm 6.7\%$ vs $4.5 \pm 7.0\%$ 、屈曲 $9.3 \pm 6.5\%$ vs $3.1 \pm 2.6\%$)、300deg/secにおけるピークトルク (伸展 $15.0 \pm 10.4\%$ vs $5.1 \pm 7.3\%$ 、屈曲 $-3.0 \pm 2.5\%$ vs $5.7 \pm 13.2\%$)、仕事量減少率 (伸展 $13.4 \pm 13.1\%$ vs $8.6 \pm 8.6\%$ 、屈曲 $8.6 \pm 14.2\%$ vs $2.2 \pm 12.1\%$) については、群間に有意な差は認められなかった。

トレーニング期間前後の測定値の変化については、トレーニング群においてスクワット1RMが $66.6 \pm 6.3\text{kg}$ から $93.7 \pm 8.5\text{kg}$ へと有意に増加した ($p < 0.01$)。また、トレーニング群においては、レッグプレスパワーについても $1715.8 \pm 105.9\text{w}$ から $2023.3 \pm 101.0\text{w}$ へと有意な増加を示した ($p < 0.05$)。

3. 最大酸素摂取量及び血中乳酸濃度の変化

表4に、トレーニング期間前後における体重あたりの最大酸素摂取量と血中乳酸濃度の増加量 (ΔLa ; 最高値-安静値) の測定値と変化率を示した。トレーニング期間前の各測定値については、群間に有意な差は認められなかった。

トレーニング期間後のコントロール群及びトレーニング群における各測定項目の変化率については、体重あたりの最大酸素摂取量 ($1.1 \pm 14.3\%$ vs $1.3 \pm 2.0\%$) において有意な差が認められなかったが、血中乳酸濃度の増加量 ($6.3 \pm 4.9\%$ vs $50.7 \pm 26.0\%$) においては有意な差が認められた

表3 スクワット1RM、レッグプレスパワー、等速性筋出力(ピークトルク・仕事量の減少率)の変化
Table 3 Changes in Leg press power, isokinetic strength and Squat 1RM

Group	Squat 1RM (kg)	Leg press power (W)	Peak torque (60deg/sec)		Peak torque (180deg/sec)		Peak torque (300deg/sec)		Decline rate of Work (180deg/sec)		
			Extension (Nm)	Flexion (Nm)	Extension (Nm)	Flexion (Nm)	Extension (Nm)	Flexion (Nm)	Extension (%)	Flexion (%)	
Control (n=4)	Pre	71.0±8.9	169.6±232.1	165.3±26.9	105.5±15.4	120.5±15.5	88.5±18.6	96.5±11.7	76.31±2.3	46.0±6.0	51.5±8.5
	Post	71.0±8.9	1676.6±348.0	168.0±31.4	125.0±16.3	126.3±19.0	95.8±13.5	110.8±15.2	74.01±2.5	51.5±3.0	54.7±4.7
	%	0.0±0.0	-5.7±9.6	1.4±5.3	19.3±13.7	4.7±6.7	9.3±6.5	15.0±10.4	-3.0±2.5	13.4±13.1	8.6±14.2
Training (n=4)	Pre	66.6±6.3	1715.8±105.9	188.5±28.7	118.3±60.2	131.0±10.3	95.0±9.3	97.0±6.7	79.3±6.8	45.4±9.1	47.7±7.8
	Post	93.7±8.5**	2023.3±101.0*	203.5±19.5	125.8±14.7	137.0±16.6	98.0±10.9	101.8±7.1	83.3±9.5	48.8±7.7	47.0±5.6
	%	41.6±2.9 †	18.2±7.8 †	8.7±6.2	6.3±1.2	4.5±7.0	3.1±2.6	5.1±7.3	5.7±13.2	8.6±8.6	2.2±12.1

Values are mean±SD.

% : rate of increase of pre training

* : significant difference from pre training, $p < 0.05$.

** : significant difference from pre training, $p < 0.01$.

† : significant difference from control group, $p < 0.05$.

($p < 0.05$)。

トレーニング期間前後の測定値の変化については、トレーニング群において血中乳酸濃度の増加量が $8.8 \pm 2.7 \text{ mmol/l}$ から $13.1 \pm 3.9 \text{ mmol/l}$ へと有意な増加を示した ($p < 0.05$)。

4. 筋力及び筋パワーと血中乳酸濃度の変化率の関係

図1に、コントロール群およびトレーニング群のトレーニング期間前後におけるレッグプレスパワーの変化率と血中乳酸濃度増加量の変化率の関係を示した。両者の間には有意な正の相関関係が認められ ($p < 0.05$)、レッグプレスパワーの変化率が大きい者ほど血中乳酸濃度増加量の変化率が高い傾向がみられた。また、トレーニング群では、トレーニング期間前後におけるスクワット1RMの変化率と血中乳酸濃度増加量の変化率の間にも有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.05$)。

IV. 考 察

本研究では、Johnston et al.²²⁾ が先行研究にお

いて女子長距離選手に実施させたレジスタンストレーニングプログラムと同様のものをトライアスロン選手に適用した。その結果、トレーニング群では、レジスタンストレーニングの実施後に、形態の指標である体重、体脂肪率、除脂肪体重および大腿部筋断面積の各測定値については有意な変化を示さなかったが、筋力及び筋パワーの指標であるスクワット1RMとレッグプレスパワーについては有意な増加を示した。一方、Johnston et al.²²⁾ は、レジスタンストレーニング経験のない女子長距離選手に10週間のレジスタンストレーニングを実施させ、トレーニング後には、形態の有意な変化はみられなかったが、筋力については上半身で24.4%、下半身(スクワット1RM)で33.8%の有意な増加を示したことを報告しており、形態および筋力に関する結果については本研究と一致するものであった。

レジスタンストレーニング実施後の呼吸代謝機能の変化については、本研究では、トレーニング群において体重当たりの最大酸素摂取量には有意な変化がみられず、血中乳酸濃度増加量については有意な増加が認められた。これに対し、Johnston et al.²²⁾ は、レジスタンストレーニングを実施したグループにおいて、最大酸素摂取量と血中乳酸

表4 最大酸素摂取量と血中乳酸濃度の増加量の変化
Table 4 Changes in maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$) and ΔLa

Group		$\text{VO}_{2\text{max}}$ (ml/min/kg)	ΔLa (mmol/l)
Control (n=4)	Pre	69.3 ± 6.5	8.8 ± 0.2
	Post	68.9 ± 5.8	9.3 ± 0.4
	%	1.1 ± 14.3	6.3 ± 4.9
Training (n=4)	Pre	69.3 ± 4.9	8.8 ± 2.7
	Post	70.2 ± 5.5	$13.1 \pm 3.9^*$
	%	1.3 ± 2.0	$50.7 \pm 26.0^\dagger$

Values are mean \pm SD.

ΔLa is the difference between blood lactate concentration at rest and that peak after exhaustion

% : rate of increase of pre training

* : significant difference from pre training, $p < 0.05$.

† : significant difference from control group, $p < 0.05$.

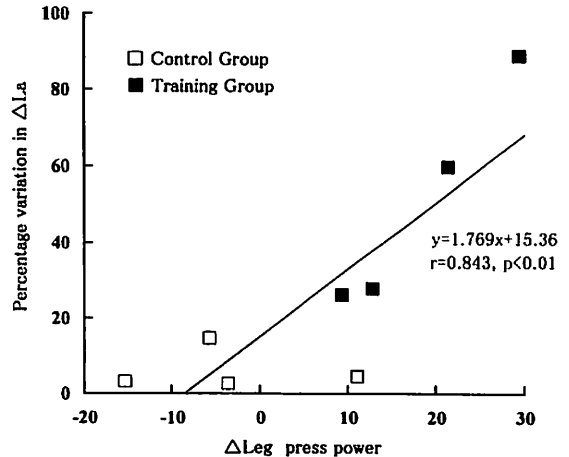


図1 トレーニング期間前後におけるレッグプレスパワーの変化率と血中乳酸濃度増加量の変化率の関係

Fig. 1 Relationship between percentage variation in leg press power and percentage variation in ΔLa

濃度増加量の両方について有意な変化がみられなかったと報告しており、血中乳酸濃度増加量のトレーニングによる変化については、本研究と異なる結果であった。

本研究では、トレーニング群において、除脂肪体重や大腿部筋断面積の有意な変化はみられなかったが、スクワット1RMとレッグプレスパワーの有意な増加が認められた。対象となった被験者はレジスタンストレーニングの経験がなかったことを考慮すると、レジスタンストレーニングの実施による筋力および筋パワーの向上には、筋肥大の要因ではなく、運動単位の動員やインパルスの発射頻度の増加等の神経系の変化²⁶⁾や、筋力発揮動作の効率化、運動に参加する筋群を協調的に発揮する能力の改善などの要因が関与したものと推測された。今後は、さらに長期にわたってレジスタンストレーニングを実施させ、筋肥大への影響や筋力及び筋パワーの長期的な変化についても詳しく検討する必要があると考えられる。

トレーニング群においては、トレーニング実施期間後に、スクワット1RMとレッグプレスパワーの有意な増加が認められたが、筋パワーの指標として測定した等速性筋出力（ピークトルク及び仕事量の減少率）については有意な変化はみられなかった。この要因としては、第一に、レジスタンストレーニングのプログラムにおいて、フリーウエイトやウエイトスタック式のトレーニングマシンを用いたことが関わっていると考えられる。フリーウエイトによるトレーニングでは、常に重力方向に負荷がかかり、バランスをとりながら力を発揮することが要求される。また、ウエイトスタック式トレーニングマシンでは加速的な動きが可能である。これに対して、等速性筋出力の測定においては、動作スピードがつねに一定の条件に規定されており、負荷のタイプや運動速度の性質の面において異なっている。第二の要因としては、レジスタンストレーニングのプログラムにおいて、多関節エクササイズを中心に実施したことが関わっていると考えられる。等速性筋出力の測定は、膝の単関節運動であり、今回のプログラムに

おいて実施したエクササイズとは運動形態が異なっていた。レジスタンストレーニングのプログラム作成においては、向上させたい運動の動作パターンや負荷及び速度等の条件の特異性を配慮することが重要であるといわれており²⁷⁻²⁹⁾、本研究の結果はこれらを反映するものであったと推測される。

長距離走においては、走行後の急性的な筋力・筋パワーの低下¹³⁻¹⁶⁾が報告されており、この要因として着地衝撃の反復による筋損傷³⁰⁾が指摘されている。これらが日常的に累積されてオーバーユースによる障害を引き起こすリスクも高い³¹⁾。Dolezal et al.³²⁾は、長距離ランナーのオーバーユースの一因として、筋力の低下やアンバランス（四肢の主働筋と拮抗筋の筋力比の不適正など）を挙げ、トレーニングや競技中に身体に加わる負荷によって引き起こされる障害を防ぐにはレジスタンストレーニングは必須であると述べている。また、米国NSCA（National Strength and Conditioning Association）は、強度の高いジャンプ動作のプライオメトリックトレーニングに伴う着地衝撃による傷害を防ぐためには、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²⁷⁾、これを支持する報告も多くみられる^{33,34)}。本研究では、トレーニング群の体重当たりのスクワット1RMは、レジスタンストレーニングの実施期間前後に $1.0 \pm 0.1\text{kg}$ から $1.4 \pm 0.2\text{kg}$ へと有意に増加し、傷害予防のための推奨値とされる1.5に近い値に到達した。今回実施した中～高強度で低量のタイプのレジスタンストレーニングプログラムは、持久型競技選手が比較的短期間で障害予防が期待できるレベルにまで脚筋力を向上させるためのプログラムとして有効であったと推測された。

負荷漸増運動テストに伴う血中乳酸濃度の増加量については、トレーニング群においてトレーニング期間後に有意な増加がみられた。また、血中乳酸濃度の増加量の変化率とレッグプレスパワーの変化率との間には、有意な相関が認められた。これらのことから、レジスタンストレーニングに

よる脚筋力の向上は、漸増運動後半の高速走行中の耐乳酸能力の向上に関与したのではないかと推測された。一方、自転車エルゴメーターを用いて負荷漸増運動を実施した場合、疲労困憊状態に至る直前のペダリング動作に加わる負荷はかなり大きなものとなり、脚筋力の向上は、自転車エルゴメーターによる負荷漸増運動の運動時間を延長させることにつながると考えられる。トライアスロン競技にはバイク種目があるため、今後レジスタンストレーニングの競技パフォーマンスへの効果を検討する上で、自転車エルゴメーターを使用した測定を実施する必要があると思われる。

鈴木ら³⁵⁾は、水泳選手を対象として、8週間のトレーニング期間において、水泳の練習のみを行ったグループと水泳の練習に加えてレジスタンストレーニングを行わせたグループについて、トレーニング期間前後に自転車エルゴメーターを用いた負荷漸増運動に伴う血中乳酸濃度の増加量を測定したところ、両グループともに有意な増加がみられたことを報告している。本研究の被験者はトライアスロン選手であり、トレーニング期間中にはスイムの練習も並行して実施していたが、血中乳酸濃度増加量が増加したのはトレーニング群のみであった。

Johnston et al.²²⁾は、レジスタンストレーニングの実施後に、ランニングの経済性の指標として測定した最大下の速度(214m/分、230m/分)でのトレッドミル走行中の体重あたりの酸素消費量について有意な減少がみられたと報告しており、この要因として、身体各部の筋力の向上が腕振りや姿勢保持に働く筋の疲労の発現を遅らせ、ランニング動作の機械的効率が改善されることにつながったと述べている。同様の報告はHickson et al.^{19,20)}にもみられる。本研究では、ランニングの経済性に関する測定は行わなかったが、今後はトライアスロンの競技特性を踏まえ、スイム、バイク、ランの3つの運動を個別または連続して実施した際の経済性についての測定も実施し、トライアスロン選手におけるレジスタンストレーニングの効果について検討することが必要であると思われる。

V. 要 約

本研究の目的は、トライアスロン選手におけるレジスタンストレーニングの効果を検討することであった。被験者は、大学トライアスロン部に所属するレジスタンストレーニングの経験のない男子選手8名であり、そのうち任意の4名を、レジスタンストレーニングと通常の練習の両方を行うトレーニング群、その他の4名を、通常の練習のみを行うコントロール群とした。トレーニング群には、Johnston et al. (1995) が女子長距離選手に用いたレジスタンストレーニングプログラムを週3回、10週間にわたって実施させた。トレーニング期間の前後には、体重、体脂肪率、大腿部の筋断面積、スクワット1RM、レッグプレスパワー、等速性筋出力、トレッドミルを用いた漸増運動テストにおける最大酸素摂取量および血中乳酸濃度の測定を行い、次のような結果を得た。

- 1) 体重、体脂肪率、大腿部筋断面積については、トレーニング群、コントロール群ともにレジスタンストレーニングの実施前後に有意な変化はみられなかった。
- 2) スクワット1RMとレッグプレスパワーについては、トレーニング群においてレジスタンストレーニングの実施後に有意な増加が認められた ($p < 0.01$, $p < 0.05$)。等速性筋出力については、両群ともに有意な変化はみられなかった。
- 3) 体重あたりの最大酸素摂取量については、両群ともに有意な変化はみられなかった。しかし、漸増運動テストにおける血中乳酸濃度の増加量については、トレーニング群においてレジスタンストレーニングの実施後に有意な増加が認められた ($p < 0.05$)。
- 4) レジスタンストレーニングの実施期間前後におけるレッグプレスパワー及びスクワット1RMの変化率と血中乳酸濃度増加量の変化率との間には、有意な正の相関関係が認められ

た ($p < 0.05$)。

以上のことから、トライアスロン選手がレジスタンストレーニングを実施することによって、筋肥大を起こさずに筋力および筋パワーを向上させることができ、高強度の運動における耐乳酸能力が高められる可能性が示唆された。

本研究の一部は、2000年日本体育学会第51回大会にて報告した。

参考文献

- 1) Astrand, P. O. and K. Rodahl: Textbook of work physiology, physiological bases of exercise 3rd ed. McGraw-hill Inc., N. Y., 1986.
- 2) Conje, D. L. and G. S. Kahenbuhl: Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 12: 357-360, 1980.
- 3) Sjodin, B. and Svedenhag, J.: Applied Physiology of marathon running. *Sports Med.* 2: 83-99, 1985.
- 4) Daniels, J. and N. Daniels: Running economy of male and elite female runners, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, 483-489, 1992.
- 5) 湯海鵬：機械的エネルギーからみた一流女子長距離ランナーの疾走フォームに関する研究, *Japanese Journal of Sports Sciences*, 16(1), 127-132, 1997.
- 6) 湯海鵬, 豊島進太郎：慣性モーメントから見たランニングのフォーム, *Japanese Journal of Biomechanics in Sports & Exercise*, 2(2), 92-98, 1998.
- 7) Hortobagyi, T., F. I. Katch, and P. F. LaChance.: Effects of simultaneous training for strength and endurance on upper and lower body strength and running performance, *J. Sports Med. Phys. Fitn.* 31, 20-30. 1991.
- 8) Sale, D. Q., I. Jacobs, J. D. MacDougall, and S. Garner.: Comparison of two regiments of concurrent strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22, 348-356, 1990.
- 9) Sale, D. Q., J. D. MacDougall, I. Jacobs, and S. Garner.: Interaction between concurrent strength and endurance training, *J. Appl. Physiol.* 68, 260-270, 1990.
- 10) Dudley, G. A., and S. J. Fleck.: Strength and endurance training, Are they mutually exclusive?, *Sports Med.* 4, 79-85. 1987.
- 11) 江橋 博, 後藤芳雄, 西島洋子, 今泉哲雄：一流男子マラソンランナーの最大有酸素パワーと等速性最大筋出力, *体力研究*, 71, 10-24, 1989.
- 12) 西山一行, 堀川浩之, 角田直也：長距離選手における等速性筋出力特性と競技成績との関係, *国士館大学体育研究所報*, 8, 27-32, 1990.
- 13) Sherman, W. M., Armstrong, L. E., Murray, T. M., Hagerman, F. C., Costill, D. L., Staron, R. C., and Ivy, J. L.: Effect of a 42.2km footrace and subsequent rest or exercise on muscular strength and work capacity, *J. Appl. Physiol.* 57, 1668-1673, 1984.
- 14) Chevolet, J. C., Tschopp, J. M., Blanc, Y., Rochat, T., and Junod, A. F.: Alterations in inspiratory and leg muscle force and recovery pattern after a marathon, *Med. Sci. Sports Exerc.* 25 501-507, 1993.
- 15) Nicol, C., Komi, P. V., and Marconnet, P.: Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance, *Scand. J. Med. Sci. Sports* 1, 10-17, 1991.
- 16) 三本木温, 佐伯徹郎, 山本泰明, 鍋倉賢治, 高松 薫：マラソンレースにおける走速度と筋力および筋パワーの低下との関係, *体育学研究*, 45-4, 503-512, 2000.
- 17) Buckalew, D. P., Barlow, D. A., Fisher, J. W., and Richerds, J. G.: Biomechanical profile of elite women marathoners, *Int. J. Sports Biomech.* 1, 130-147, 1985.
- 18) Nicol, C., Komi, P. V., and Marconnet, P.: Effects of marathon fatigue on running kinematics and economy, *Scand. J. Med. Sci. Sports* 1, 195-204, 1991.
- 19) Hickson, R. C., B. A. Dvorak, E. M. Gorostiaga, T. T. Kurowski, and C. Foster.: Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance, *J. Appl. Physiol.* 65-5, 2285-2290, 1988.
- 20) Hickson, R. C., M. A. Rosenkoetter, and M. M. Brown: Strength training effects on aerobic power and short-term endurance, *Med. Sci. Sports Exerc.* 12: 336-339, 1980.
- 21) Kraemer, W. J., and W. L. Daniels.: Physiological effects of training. In *Sports Physical Therapy*, 29-53, D. B. Bernhardt, ed. New York, Churchill

- Livingston. 1986.
- 22) Johnston. R. E., T. J. Quinn, R. Kertzer, and N. B. Vroman: Improving running Economy through strength training, NSCA Journal 17-4, 7-12, 1995.
- 23) Bell, G. J., S. R. Peterson, J. Wessel, K. Bagnall, and H. A. Quinney.: Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training, Int. J. Sports Med, 12, 384-390, 1991.
- 24) 高瀬幸一, 田口正公, 金森勝也, 諸富一秋: 長距離選手における Eccentric・Concentric 筋力トレーニングのトレーニング効果と競技成績, トレーニング科学, 6(1), 33-38, 1994.
- 25) 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の試み, 体育学研究, 39, 403-419, 1995.
- 26) 森谷敏夫: 運動単位の増強とインパルスの発射様相, Japanese Journal of Sports Sciences, 8, 668-676, 1989.
- 27) Baechle, T. R.: Essentials of strength and conditioning, Human Kinetics, 1994.
- 28) Bompa, T. O.: Periodization of strength, Veritas Publishing Inc, 1993.
- 29) Fleck, J. F., Kraemer, W. J.: Designing resistance training programs, Human Kinetics, 1987.
- 30) Fitts, R. H.: Cellular mechanisms of muscle fatigue, Physiological Reviews, 74, 49-94, 1994.
- 31) 武藤芳照: スポーツ障害のメカニズムと予防のポイント, 文光堂, 1992.
- 32) Dolezal, B. A., J. A. Potteiger: Resistance training for endurance runners during the off-season, NSCA Journal 18(3), 7-10, 1996.
- 33) Bielic, E.: Practical considerations for utilizing plyometrics. Part 1, National Strength and Conditioning Association Journal, 8(3), 14-22, 1986.
- 34) Chu, D.: Jumping into plyometrics, Human Kinetics, 1992.
- 35) 鈴木康弘, 高橋英幸, 板井悠二, 高松 薫: 水泳選手のレジスタンストレーニングが過剰 CO₂ 排泄量およびスイムパフォーマンスに及ぼす影響, 体力科学, 49(3), 355-364, 2000.

女子柔道選手の体脂肪分布の 特性について

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) 北田晃三 (望星学塾)

The study on the body fat distribution of women Judo players

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

Abstract

In competitive sports, the body composition of athletes has a significant influence on the athlete's performance. In this study we analyzed the body composition of women Judo athletes.

Twenty-eight female university students who were members of Judo club participated in this study. Using the Hologic QDR-4500 body weight, body fat percentage, body fat volume (Head, L-arm, R-arm, Trunk, L-leg, R-leg, Totals), and Bone Mineral Density (BMD) were measured.

In the righter weight categories, body fat % and LBM were lower than in the heavier weight categories, and this tendency was more marked in the higher level athletes. The fat volume % increment was most marked in the trunk and tended to be higher in the heavier weight categories. However, the fat volume % in the legs and head decreased at and over 78kg weight categories. The fat volume % in the arms did not change in any of the weight categories. There was no significant correlation between right or left hand grips in regard to body fat composition. Mean BMD value was 1.2gms/cm² above average in all weight categories as a result of Judo training, weight training and their daily diet. (Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 34-40, 2001)

I. 序 論

身体運動のパフォーマンスに影響を与える最も基本的な要因に身体組成があり、筋肉、脂肪、骨などの組織の割合がそれに当たる。その身体組成の筋量、脂肪量、骨などは長期間の運動による影

響のみならず、日常における食事、休養、栄養といった生活習慣などと密接な関係を有する。競技スポーツの現場においても、筋力やパワーなどの筋肉の発揮出力は筋量が多いほど大きく、また、長時間にわたる持続的な運動においては、脂肪量が特に少ないことがよいとされている。言い換えれば、短時間のパワフルな運動では競技特性として筋量の増加を伴い、長時間の持続的な運動で

は脂肪の減少が伴うであろう。しかしながら、実際の運動では、筋力やパワーがある一定の時間が必要であったり、不規則に筋力やパワー、持久力が繰り返し必要になったり、これらの要素が複雑に絡み合っている競技も多い。また、女子においては男子に比べてホルモンのバランスを取るため、脂肪そのものが体内で必要とされ、男子に比べその割合は多い。その脂肪量などは、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予想される。1991年に浅見ら¹⁾男子柔道選手の皮下脂肪分布の特性について報告しているものの、体重別の運動競技選手を対象に相対的な脂肪量などを中心とした体組成の研究報告は少ないと思われる。そこで、今回は、身体組成に及ぼす柔道競技の影響を把握することを目的とし、女子柔道選手を対象に体脂肪量及びその分布、骨密度について測定を行い、体重や階級における違い、組手や軸足、競技レベルについての違いを観察し検討を行った。

Ⅱ. 方 法

対象は東海大学女子柔道部員28名(年齢 19.7 ± 1.6 歳、身長 163.2 ± 6.0 cm)であった(表1)。

柔道の特性に関しては、階級、競技成績、組み手、軸足、競技開始年齢、経験年数等について、直接回答を求め調査を行った。

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)、骨密度(BMD)を測定した(サンプル例

参照)。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)で計測を行った。

Ⅲ. 結 果

今回の調査では、国際柔道連盟の体重区分では、全7階級中48kg級1名、52kg級5名、57kg級7名、63kg級7名、70kg級3名、78kg級2名、78kg超級3名であった。減量の有無については、減量があると答えた者が20名、ないと答えた者が8名であり、あると答えた者のうち、その減量の幅は1kgから9kgの範囲で必要とされていた。

競技成績に関しては全日本学生体重別優勝大会以上の試合に出場した選手が、48kg級1名、52kg級3名、57kg級5名、63kg級3名、70kg級2名、78kg級2名、78kg超級2名であった。

柔道競技における組手に関しては、右組が20名、左組が8名であり、軸足に関しても左組が20名、右組が8名であった。

また、競技開始年齢については、平均10.9歳で最低は6歳、最高は16歳であり、それらに関連し、経験年数においては、平均9.1年で最低4年、最長は15年であった。

図1は階級別の体脂肪率と除脂肪体重を示している。体脂肪率が低い階級は体重が軽い48kg級17.7%、52kg級19.3%の順であり、逆に、最も高かったのは78kg級の32.1%で次いで78kg超級の30.0%であった。軽量級(48kg級、52kg級)、中量級(57kg級、63kg級、70kg級)、重量級(78kg級、78kg超級)と三つに分けて比較すると、重量級との間に軽量級、中量級、それぞれ有意な差が認められた($p < 0.01$)。

除脂肪体重については、最も軽い階級の48kg級の選手が最も軽く41.2kgで、最も重い78kg超級の選手が68.5kgと最も重い値を示し、全体としても体重の上昇につれて、除脂肪体重の増加する傾向が顕著に伺えた($r = 0.96$)、体脂肪率同様

表1 測定対象者の身体特徴

Table 1 The Physical Characteristics of Subjects

	N	Age	height (cm)	weight (kg)
48kg級	1	20	152.0	50.1
52kg級	5	21.0 ± 1.2	158.2 ± 1.9	54.5 ± 0.8
57kg級	7	19.5 ± 1.3	161.0 ± 3.3	61.6 ± 2.6
63kg級	7	19.6 ± 1.5	165.2 ± 5.3	65.0 ± 3.8
70kg級	3	19.3 ± 1.5	163.7 ± 8.1	69.6 ± 4.9
78kg級	2	20.5 ± 2.1	171.0 ± 5.7	83.9 ± 4.0
78kg超級	3	18.3 ± 0.6	169.7 ± 3.1	98.6 ± 14.7

に、軽量級と中量級が、重量級との間にそれぞれ有意な差が認められた ($p < 0.01$)。

図2は階級別の体脂肪分布パターンの割合を示している。全体の脂肪量を100として身体をHead 頭部、L-arm 左上肢、R-arm 右上肢、Trunk 体幹、L-leg 左下肢、R-leg 右下肢の6部位に分けその割合を階級別に現したものである。いずれの階級においても最も脂肪量の割合が高いのは体幹であり、78kg級においてはすべての階

級で47.5%と最も高い。逆に最も低い割合を示したのは48kg級の32.1%、70kg級の35.8%の順に低い割合を示した。また、重量級が軽量級、中量級に比べ有意に体幹での脂肪の割合が高くなっている ($p < 0.01$)。今回の測定部位では、体幹の脂肪量の割合と体脂肪率が唯一正の相関が見られた ($r = 0.75$)。次いで最も脂肪量の割合が高かった部位は下肢で、7階級中5階級において、右下肢が僅かながら左下肢よりその割合が高くなってい

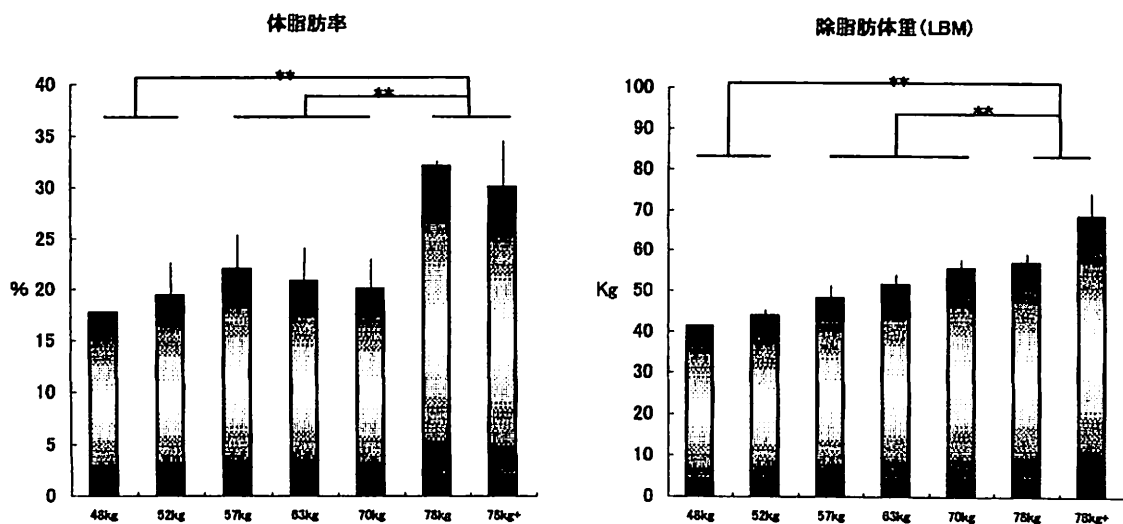


図1 各階級の体脂肪率とLBM ($p < 0.01$)
Fig. 1 The body fat % & LBM in each weight category

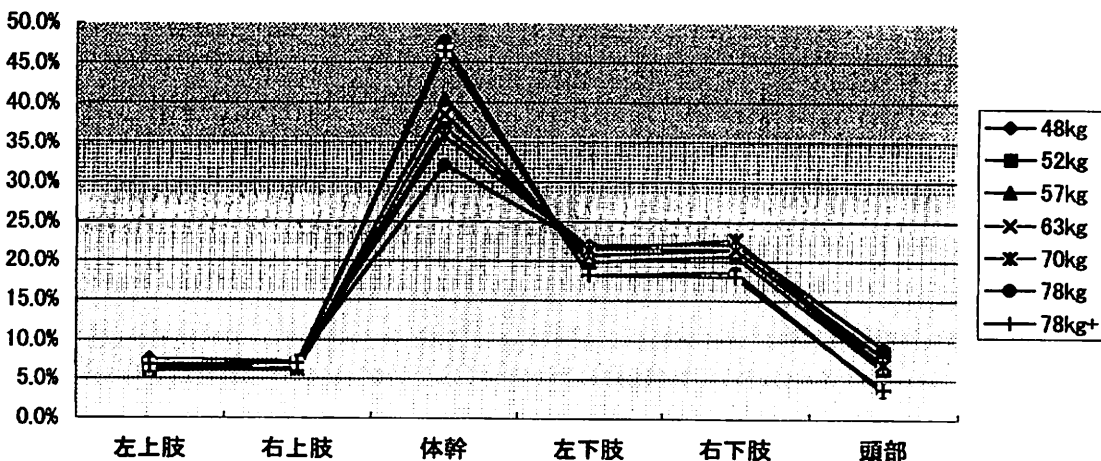


図2 階級別脂肪分布
Fig. 2 The distribution of body fat in each weight category

る。階級別では、最も低い値を示したのは、体重の重い2階級で、それぞれ78kg超級18.0%、78kg級18.5%となっている。反対に最も高い値を示したのは、70kg級で22.7%、48kg級の22.2%の順であった。左下肢においても、その割合は最も低かったのが体重の重い2階級で、それぞれ78kg超級18.1%、78kg級18.1%と右下肢と似た傾向を示した。最も高い割合を示した階級は、体重区分の中で最も軽い、48kg級であり21.9%、次いで52kg級21.6%、70kg級21.4%の順であった。しかしながら、下肢においては体幹と反対に重量級が軽量級・中量級より脂肪量の割合が少ない傾向を示した ($p < 0.01$)。

上肢においては、左右における差は殆どみられていないが、下肢同様に7階級中4階級において右上肢の割合の平均値が僅かながら高い。右上肢において、最もその割合が低い値を示したのは、63kg級と78kg級の6.2%であり、逆に脂肪量の割合が最も高いのは最も軽い48kg級で7.2%、次いで最も重い78kg超級で7.0%となっている。左上肢においても、殆ど右上肢と同じ傾向を示しており、52kg級が最も割合の低い6.0%、63kg級6.1%、57kg級、70kg級、78kg級が6.3%の順になっている。一方、最も高い割合を示したのは、48kg級7.5%、78kg超級6.8%となった。上肢においては、体幹部、下肢部と異なり体重の階級による違いは認められなかった。頭部に関しては、6部位の中で脂肪量の割合が最も低く、体重が増加すると頭部の脂肪量の割合が減る傾向が伺える ($r = -0.77$)。最も頭部での脂肪量の割合が低い階級は、78kg級の3.6%で、次いで78kg超級の3.8%であった。また、その割合が最も高い階級は、48kg級9.0%、52kg級7.9%の順になっており、軽量級と中量級、重量級の間には有意な違いが認められた ($p < 0.01$)。

骨密度に関しては(図3)、最も高い値を示したのは、78kg超級の1.347gms/cm²で、48kg級の1.323gms/cm²が次に高い値を示した。逆に、最も低い値を示した階級は52kg級の1.224gms/cm²で、すべての階級で1.2gms/cm²を超えた高い値

を示した。しかしながら、体重、除脂肪体重、体脂肪率との関連した傾向はうかがえなかった。

IV. 考 察

一般に、陸上における競技スポーツでは、体脂肪は“余分な重り”となり、競技スポーツのそのパフォーマンスにマイナスになると考えられている。しかしながら、競技によっては身体の体重の絶対量がパフォーマンスの向上に有利に導く競技もある。また、競技特性として短距離走や投擲などといった無酸素的運動は筋肥大を引き起こし、反対にマラソンやクロスカントリーなどの持久的な有酸素運動では脂肪の減少を引き起こすといわれている。柔道競技においては、これらの要素が複雑に絡み合い、加えて体重による階級制のもとで競技が行われている。

階級別の体脂肪率に関しては、体重が軽いと体脂肪率が低いと考えられるが、しかし、今回の測定によると全体では、階級が軽い2階級においてはその傾向が示されたものの、他の階級ではそのような傾向は明確でない。その理由として考えられることは、今回の対象者の各個人における競技レベルによる差の影響が上げられる。図4は今回の対象者から、全日本学生体重別以上の大会に出場した選手の階級別、体脂肪率及び除脂肪体重を示している。48kg級と52kg級、57kg級から70kg級、78kg級と78kg超級と3つに大きく分け

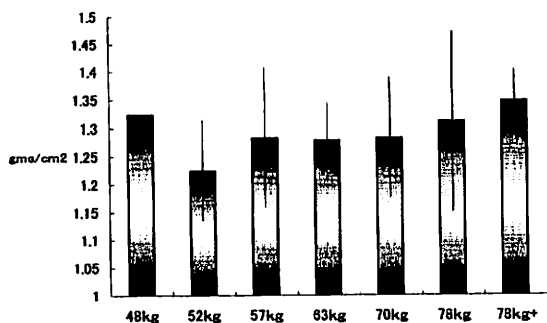


図3 階級別BMD

Fig. 3 The BMD in each weight category

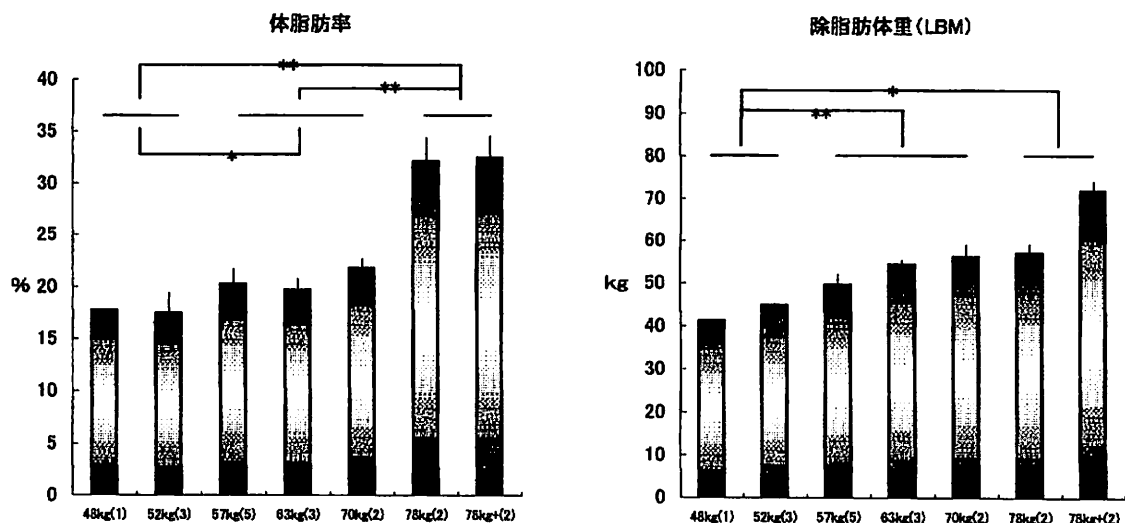


図4 エリート選手の体脂肪率とLBM ()内の数字は人数 (p<0.01, p<0.05)
 Fig. 4 The body fat % & LBM in elite athlete

ることが出来、階級が上がるにつれて体脂肪率の上昇が伺え、特に78kgを超えるような場合はその上昇が大きい。除脂肪体重に関しても同様の傾向が示されており、全日本学生体重別以上の大会に出場した選手のみと、全体の傾向においても階級が上がるにつれて、除脂肪体重が増えている。福永²⁾は男子一流選手においては、体重が100kgを超えるような重量級の選手では筋量の増加に伴い、脂肪量の急激な増加があると報告している。今回の測定では一流柔道女子競技選手においては、78kgを超えるような場合に関しては、筋量の増加に伴い急激な脂肪量の増加があるところでは推測できる。また、競技レベルの低い競技者に関しては、除脂肪体重は競技レベルの高い(全日本学生体重別以上の大会に出場した選手)競技者と同じ傾向を示しているものの、体脂肪率に関しては競技者とは異なった傾向である。競技レベルの低い競技者においては、今回の対象者は大学柔道部、寮生活と競技レベルの高い競技者と似た環境で過ごしているものの、怪我等の理由により絶対的な練習量が少ないとも考えられる。また、自分が選択している体重階級が体組成的には合っておらず、結果に結びつかないとも考えることができる。

階級別の体脂肪分布パターンに関しては、すべての階級において最も脂肪量の割合が高いのは体幹であり、各階級での差も一番大きい部位であった。この事は、女子柔道選手における体重の変動に伴う脂肪量の増加の割合は、体幹が最も変化すると考えられ、特に80kg以上の体重に伴う脂肪の沈着は、体幹にその割合が多くなることを示唆する。

下肢及び頭部においては、重量級(78kg超級と78kg級)の脂肪量の割合が他の階級に比べ低くなっている。このことは女子の運動競技選手において、80kgぐらいまでを上限とした体重の上昇では、ある一定の割合で脂肪量が上昇するものの、80kgぐらいを超えると、相対的に下肢における脂肪量の上昇は僅かながら減少すると思われる。

上肢に関しては、すべての階級で割合としての大きな差がなく、体重の変動による脂肪量の割合も一定に保たれている。

図5は組手及び軸足の違いによるその部位の脂肪量を示している。柔道は全身運動であるものの、上肢下肢の動きもばらばらであり、左右の組手及び軸足によりその役割も違ってくる。しかしながら、これらによる脂肪量の相対的な差は見られな

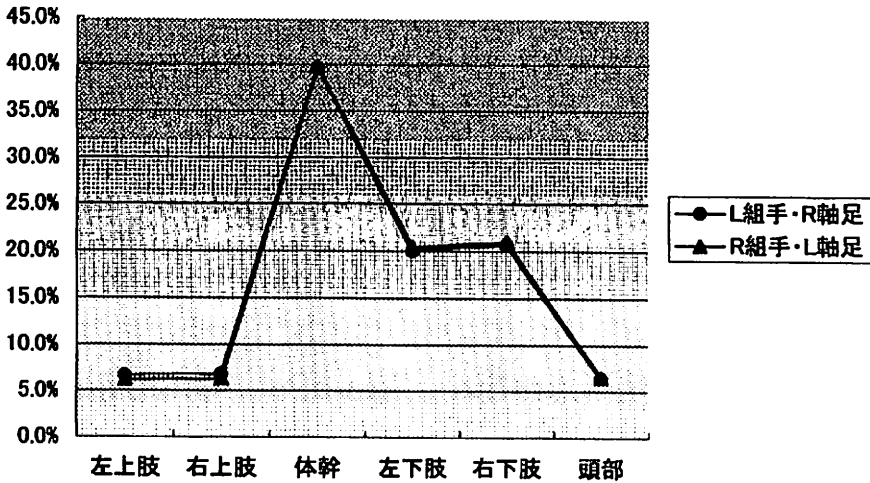


図5 左右組手・軸足別体脂肪分布

Fig. 5 The difference between Right & Left hand grips in the distribution of body fat

い。この事は、減量や体重変動によって、女性の場合には異なった運動による、特定の部位による差が生じない^{3,6)}ことを裏付けている。

骨密度に関しては、除脂肪体重、脂肪量との相関は見られなかったが、すべての階級で $1.2\text{gms}/\text{cm}^2$ を超えた高い値を示している。これらの事は、柔道の運動特性によるもの⁷⁾、対象となった柔道部では週3回のウエイトトレーニングが義務づけられておりその影響によるもの⁸⁾、そして、寮生活に伴う食事の充実などが^{9,10)}、この様な値を示した理由ではないかと推測できる。

今回の測定により、体重区分で軽い階級では体脂肪率、除脂肪体重も低い、階級が重くなるにつれてそれらの値も上昇する。そして、競技レベルが上がるにつれてその傾向がより明確になると思われる。また部位に関しては体幹が、体重の違いによりその差も最も大きくなっている。骨密度は今回を対象とした、女子柔道選手では基準値の120%以上の値をすべての階級で示しており、競技特性のみならずトレーニングや食事による影響によるものであると推測出来る。

V. まとめ

本研究では、身体組成に及ぼす柔道競技の影響を把握することを目的とし、大学女子柔道選手28名を対象に、Hologic社製 QDR-4500Aを用い、体脂肪量及びその分布、骨密度について測定を行い、体重や階級における違い、組手や軸足、競技レベルについての違いを観察し検討を行い以下のような結果を得た。

- 1) 体脂肪率、除脂肪体重においては、体重区分の軽い階級では値が低いものの、階級が重くなるにつれてそれらの値も上昇し、競技レベルが上がるにつれてその傾向は明確になった。特に78kgを超えるような場合はその体脂肪率の上昇が大きい。
- 2) 体幹における脂肪量の割合は、すべての階級で最も高く、体重区分の違いによりその差が最も大きい。特に重量級(78kg超級と78kg級)に関しては、その割合が一段と高い。
- 3) 下肢及び頭部においては、重量級(78kg超級と78kg級)の脂肪量の割合が他の階級に比べ低い。

- 4) 上肢では、すべての階級で脂肪量の割合は一定であった。
- 5) 柔道特有の組手、軸足による脂肪量での割合についての差は、今回の測定では認められなかった。
- 6) 骨密度に関しては、除脂肪体重、脂肪量との相関は見られなかったが、すべての階級で $1.2\text{gms}/\text{cm}^2$ を超えた高い値を示した。

参考文献

- 1) 浅見高明, 射手矢岬, 小俣幸雄: 柔道選手の皮下脂肪分布特性について, 武道学研究, 24-2, 169-170, 1991.
- 2) 福永哲夫: 運動の種目特性と体脂肪—スポーツパフォーマンスに及ぼす身体組成—, 臨床スポーツ医学, Vol. 17, No. 1, 35-44, 2000.
- 3) 下方浩史: 体脂肪分布—腹部型肥満と基礎と臨床—, 杏林書院, 98, 1996.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Noland M & Kearney JT: Anthropometric and densitometric response of women to specific and general exercise. Res Quarterly. 49. 322-8. 1978.
- 7) 石井直方: 筋と筋力の科学—筋・骨格系の仕組みとトレーニング—, フィジーク, No. 110, Feb., 1999.
- 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.
- 10) 川野 因: 女性スポーツ選手と体脂肪, 臨床スポーツ医学, Vol. 17, No. 1, 45-51, 2000.

長距離選手における赤血球MCVと plasma HDLの関係

岩垣丞恒 (スポーツ医科学研究所) 新居利広 (体育学部体育学科)
山村雅一 (スポーツ医科学研究所) 橋本真英 (体育学部社会体育学科学生)

Relationship between MCV and plasma HDL in distance runners
with endurance training for a prolonged period

Suketsune IWAGAKI, Toshihiro ARAI,
Masaichi YAMAMURA and Masahide HASHIMOTO

Abstract

A longitudinal study was designed to clarify the background of the compensatory increase of MCV in distance runners undergoing endurance training for a prolonged period, four years. The subjects were student distance runners ($n = 35$) who lived in a dormitory, had the same training program and graduated from university from 1996 to 1999. Blood collection was performed in the early morning (7:30-9:00) and measurements of MCV and plasma HDL were performed by SRL company. Longitudinal changes in individual MCV and plasma HDL during the 4 years were parallel and non-parallel. The parallel group showed a significantly high correlation in MCV and plasma HDL, but the findings in the non-parallel group were not significant. Distribution of the correlation coefficient was normal and half of the subjects had no correlation. However, there was an exponential relationship between the correlation coefficient and performance in the 10000m run. In particular, the subjects whose time was under 29'30" in the 10000m run showed significantly high correlation coefficient between MCV and plasma HDL. A difference in plasma HDL level with endurance training was found between subjects with high and low correlation coefficient. In the low plasma HDL group (less than 70mg/dl) there was no significant increase of MCV even after heavy training at summer camp for two months. Thus, from these findings, we suggest that the relationship between MCV and plasma HDL depends on changes in plasma HDL due to endurance training over a prolonged period.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 41-46, 2001)

I. はじめに

持久性トレーニングを中心とする長距離選手の赤血球指標の縦断的観察では、赤血球数 (RBC) の減少が認められ、代償的と考えられる平均赤血

球容積 (MCV) と平均赤血球血色素量 (MCH) の増加が認められた¹⁾。Spondary, K (2000)²⁾ は、スポーツ貧血の総説として、本当に起きている現象なのか、それとも迷信かと言うテーマでまとめた。しかし、いづれの研究成果も横断的結果であり、個人差やその時々々の体調変化に伴うデータ上でのmaskingは避けられなく、彼の述べている疑

義が生じることは十分考えられる。一方、我々の得た縦断的结果ではMCVの代償的变化の説明が必要である。赤血球(RBC)と血清脂質との相互の関係の存在はMulda, EとVan Deenen (1965)³⁾により提唱されていたが、具体的な結果はなかった。しかし、lecithin-cholesterol acyltransferase (LCAT) の働きはlysophosphatidylcholine (Lpc) を生成し、逆に赤血球膜破壊を招くことになる。赤血球膜表面にある1-acylglycerophorylcholine-esteraseの作用により、赤血球膜のphosphatidylcholine (PC) を利用し、Lpc→PC反応を促進する結果となる。Hirata, F.とAxelord, J.^{4,5)}は、赤血球膜にphospholipids methyltransferase IとIIの酵素を発見し、赤血球膜でphosphatidylethanolamine (PE) がPCを生成している事を示した。このような研究の成果から見ると、赤血球とplasmaとの間にはきわめて密接な関係が存在し、赤血球MCVの変化に対してもplasma lipidsとの関係が存在しているはずである。持久性トレーニングにおける血清脂質の特徴として、LCAT並びにplasma HDLが有意に増加することは周知の事実であるが⁶⁻¹⁰⁾、これらの意義については明確な解答は未だ得られていない。しかし、持久性トレーニングに伴う赤血球MCV変化とplasma lipidsとの関係に焦点を合わせると、赤血球膜を中心にLCAT、plasma HDLの密接な関係の存在が予測できる。

そこで、本研究では持久性トレーニングに伴うMCV変化の背景をplasma HDLとの関係に求め、この関係の存在とその意味を明らかにしようとした。

II. 研究方法

1. 対象者

1996年4月から1999年3月までに卒業したT大学陸上競技部長距離ブロックの学生(n=35)を対象とした。Table 1にはこれら対象者の4年次における形態的特徴と5000m走並びに10000m走のperformanceの平均値を示した。

2. 採血

全ての採血は早朝空腹時の7時30から9時に行った。採血回数は年間5~6回で、各個人での採血回数は合計20~25回であった。

3. 血液検査項目

氷冷化した血液を直ちにSRL社へ送り、赤血球指標としてのRBC、MCV並びにplasma HDLの測定を依頼した。

4. 統計的処理

グラフ上の計算式の決定にはMAC-criket-graphを用いた。統計上の処理、検定にはStudent "t" testを用い、全てのデータにつき、5%以下の危険率を持って有意とした。

III. 研究成果

1. MCV並びにplasma HDLの縦断的变化

長距離選手のMCV並びにplasma HDLの典型的变化(A, B, C)をFig. 1に示した。

対象者A、BではMCV(黒丸)とplasma HDL(白丸)の変化が比較的平行し、4年間の縦断的变化ではそれぞれ増加を示した。しかし、対象者Cではトレーニングを継続しているにもかかわらず、MCV並びにplasma HDLにほとんど増加が認められなかった。これらの結果からMCVとplasma HDLの間には相互関係の成立が予測できる。

表1 長距離選手(n=35)の4年次における形態的特徴とPerformanceの平均値および標準偏差

Table 1 Physical characteristics of distance runners and their performances

	Age (years)	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	5000m	10000m
Mean	20.87	172.84	57.51	14'27"93	29'51"33
±SD	±0.62	±4.36	±3.23	±15.26	±319

2. MCVと plasma HDLとの相互関係

MCVと plasma HDLとの典型的相関図を Fig. 2 に示した。対象者A, Bではきわめて高い相関関係が得られたが ($p < 0.05$)、対象者Cでは全く相関関係は示さなかった。このように MCV と plasma HDL 関係では、これらの関係が成立している対象者と、成立していない対象者がいる事が明らかとなった。

そこで、全対象者について MCV と plasma HDL との相関関係を求め、その分布図を Fig. 3 に示した。相関係数 ($r = 0.4, p < 0.05$) を中心に見ると、35名中およそ半数の対象者で相関関係が成立せず、その他の半数では統計学的にも有意な関係が成立していた。

3. MCV-plasma HDL 関係と 10000m 走記録との関係

MCV-plasma HDL 関係の意味を明らかにする

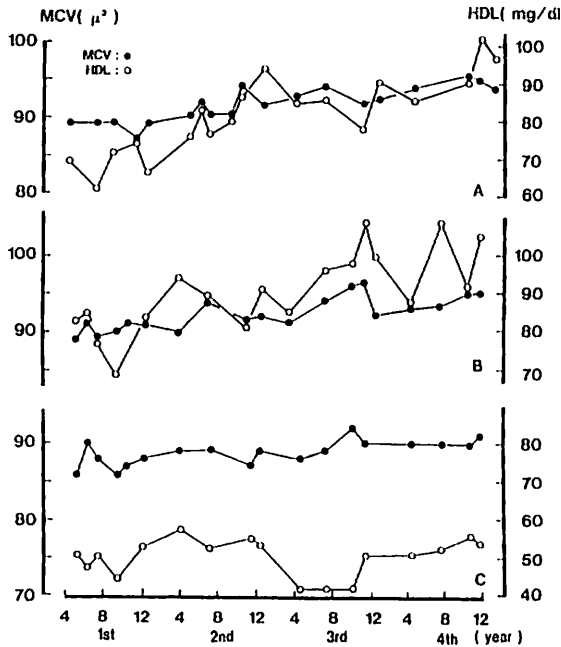


Fig. 1 長距離選手(A, B, C)における MCV と plasma HDL の 4 年間にわたる縦断的変化の典型的例

黒丸: MCV, 白丸: plasma HDL

Fig. 1 Typical samples (A, B, C) of longitudinal changes in MCV and plasma HDL

Closed circle: MCV, Open circle: plasma HDL

ために、これらの相関係数と 10000m 走記録との関係を Fig. 4 にまとめた。これらの間には統計学的に有意な指数関数が得られ、10000m 走の記録がおおよそ 29 分 30 秒以下になると、MCV と plasma HDL との間に統計学的にも有意な相関関係が得られた。

4. 1999 年夏期合宿前後における長距離選手全員の MCV 並びに plasma HDL 変化

plasma HDL 水準の 70mg/dl を基準に low-plasma HDL、high-plasma HDL 群に分け、夏期合宿の影響について分析し、Fig. 5 に示した。合宿後では全員の MCV、plasma HDL に統計学的に有意な増加が生じていた。しかし、plasma HDL (70mg/dl) を基準に分析すると、low-plasma HDL 群では MCV 並びに plasma HDL に夏期合宿の影響は出現していなかった。しかも、high-plasma HDL 群ではこれらの両項目に明らかな増

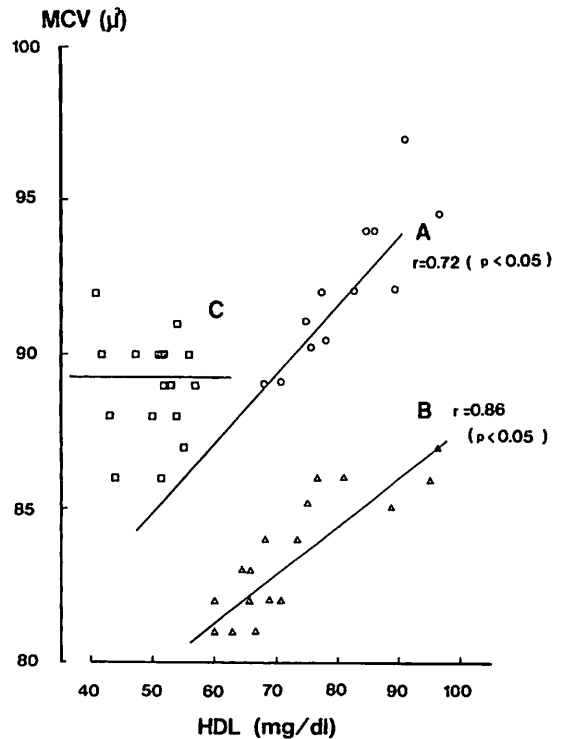


Fig. 2 MCV と plasma HDL 関係の典型的例
対象者A,Bではきわめて高い有意な相関を示したが、Cでは全く相関関係はなかった。

Fig. 2 Typical relationships between MCV and plasma HDL

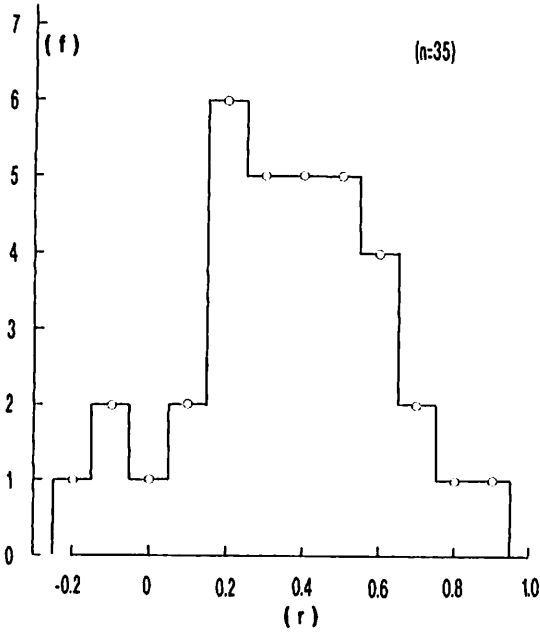


Fig. 3 MCV-plasma HDL関係 (r) の分布ヒストグラム
 Fig. 3 Distribution of coefficients of correlation between MCV and plasma HDL

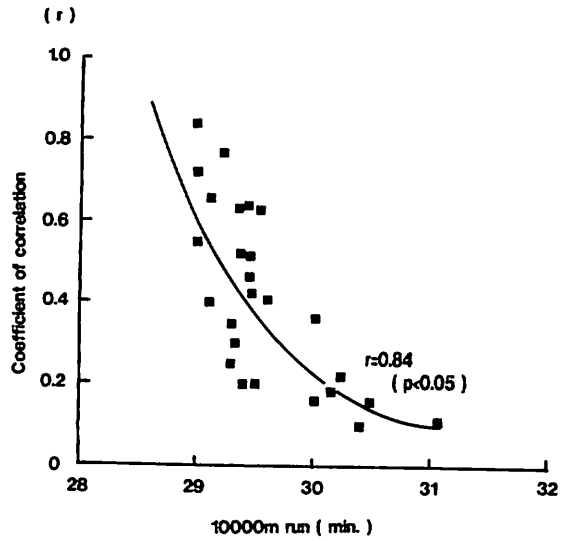


Fig. 4 MCV-plasma HDL 相関係数と 10000m 走記録との関係
 Fig. 4 Relationship between the coefficients of correlation and performance in 10000m run

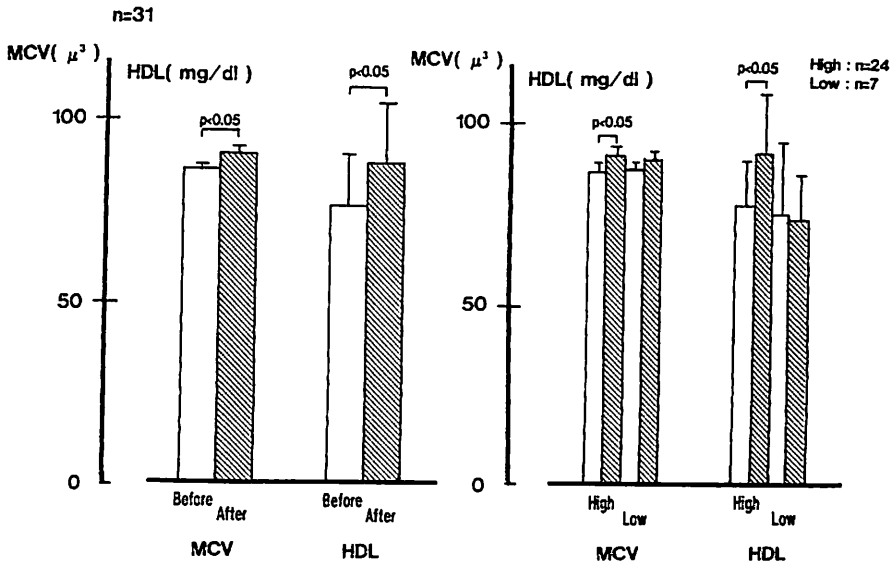


Fig. 5 夏期合宿前後における MCV, plasma HDL の変化と plasma HDL 水準の違いによる MCV 並びに plasma HDL の変化
 Fig. 5 Changes in MCV and plasma HDL before and after summer training

加が認められた。このように MCV-plasma HDL 関係の成立には plasma HDL 水準の違いが関与していた。

Ⅳ. 考 察

1. 持久性トレーニングに伴う代償的MCVの増加

Spodary, K. (2000)²¹⁾は、運動性貧血 (Sports anemia) に疑義のある事を総説として報告した。しかし、Yoshimura, H.¹⁹⁾が指摘しているように、持久性トレーニングを実施している選手に特有に発現していること、我々の4年間にわたる縦断的研究でもRBCの低下が確認されたことから、持久性トレーニングによるRBCの低下には疑問の余地はなさそうである。

RBCとHgbとの間にはきわめて密接な関係があるので、Hgbの低下が予測されるが、現実的にはスポーツ性貧血と診断されるようなHgb低下は認められず、むしろperformanceの向上が認められる。すなわち、持久性トレーニングに伴う代償的と思われるMCVとMCHの増加が認められた¹⁾。しかし、このような変化の発現には2~3年の期間を要しているため、持久性トレーニングによる生体全体としてのホルモン並びに代償的動態の変化に起因した現象と考えられる。持久性トレーニングでのplasma HDL並びにLCATの増加はよく知られているが、個々には説明づけられるものの、赤血球を介したこれら両者の相互的關係については全く論じられていない。

2. MCV-plasma HDL関係の背景

赤血球膜は総脂質の30%がcholesterol (Ch)である。他の膜脂質でのCh含有量(0.3%)に比較すればおよそ100倍のChを含有する。LCATの働きは細胞膜のCh転換酵素であるため、赤血球のようにきわめて機能的な細胞にとっては単に構造的なChの意味だけではなく、機能的背景も存在しているはずである。LCATはplasma HDL上に存在し、plasma HDLの量的変化は同時にLCATの量的変化も反映している。一方、LCATにより生じたLpcは赤血球膜や細胞膜を破壊する

結果となるため、赤血球膜のPCを利用し、赤血球膜表面にある1-acylglycerophosphorylcholin-transferaseによりLpc→PC転換が生じる。この働きは赤血球膜にとってはきわめて致命的現象である。赤血球膜を中心に考えると、plasma HDL並びにLCATの働きが一連の反応を形成している事になる。すなわち、持久性トレーニングによるplasma HDL並びにLCATの増加は、赤血球膜Chと一連の反応として存在し、根本的には密接な関係を要していることが予測できる。

3. MCV-plasma HDL関係の成立、不成立

4年間にわたるMCV-plasma HDL変化を各個人ごとに見ると (Fig. 1)、きわめて高い相関を示す選手とほとんど相関を示さない選手がいた。これらの相関係数(r)の分布曲線 (Fig. 3)が正規分布に近いことを考慮すると、持久性トレーニングに伴うMCV-plasma HDL関係の成立、あるいは不成立は生物学的特性として存在し、必ずしも持久性トレーニングによって発現する現象ではないことを示唆している。MCV-plasma HDL関係の成立は10000m走の記録と指数関係にあり (Fig. 4)、少なくとも10000m走の記録が29分30秒以内の選手では $r = 0.4$ ($p < 0.05$)の相関係数を示し、29分30秒以上の選手では相関関係は成立しない。このような関係の成立はきわめてめずらしく、持久性トレーニングによる生化学的変化がperformanceを決定する要因となる1つの証拠でもある。

MCV-plasma HDL関係の成立、不成立の背景をFig. 1-Cの結果からplasma HDLに求めた。その結果、plasma HDLを70mg/dl基準に定めると、この基準値以下の選手ではおよそ2ヶ月間のトレーニングにもかかわらずplasma HDLの増加はなく、同時にMCVの増加も認められなかった (Fig. 5)。したがって、MCV-plasma HDL関係の成立、不成立の背景には持久性トレーニングに伴うplasma HDLの増減の特徴がこれらの関係を左右していたことになる。

V. まとめ

持久性トレーニングに伴う長距離選手のMCV増加の背景を plasma HDLとの関係に求め、この関係の意義について検討した。4年間にわたるMCVと plasma HDLとの縦断的変化では、平行した変化を示す例と全く平行しない例があった。これらの間には相関係数の高い選手と低い選手が認められ、この相関係数の分布曲線は正規分布に近い結果であった。これら相関係数の違いは、10000m走での記録との間に指数関係を示し、およそ半数の選手で29分30秒以内の記録を示し、これらの選手では高い、有意な相関係数となった。この背景は plasma HDL水準にあり、70mg/dl以下の選手ではMCVの増加は認められなかった。逆に、70mg/dl以上の選手ではMCVが増加し、MCV-plasma HDL関係も成立し、持久性トレーニングによる plasma HDL増減の変化が、これらの関係の成立、不成立を決定し、しいては performanceへの影響を持つ結果となった。

References

- 1) Iwagaki S, Arai T, and Yamamura M: Decrease of red blood cells in prolonged endurance training. *Spectrum* 1 74-83 2000.
- 2) Spondary K.: Athlete's anaemia - A real phenomenon or myth, *Advances in Exer. And Sports Physiol.* 6(2), 33-39. 2000.
- 3) Mulder E. and Van Deenen L. L. M.: Metabolism of red cell lipids III. Pathway for phospholipid renewal, *J. Biochim. Biophys. Acta.* 106, 348-356, 1965.
- 4) Hirata, F. and Axelord J: Enzymatic methylation of phosphatidylethanolamine increase erythrocyte membrane fluidity. *Nature*, 275, 219-220. 1978.
- 5) Hirata F. and Axelord J: Phospholipid methylation and biological signal transmission. *Science*, 309, 1082-1090, 1980.

- 6) Tsopanakis C, Kotsarellis D, Tsopanakis A: Plasma lecithin: cholesterol acyltransferase activity in elite athletes from selected sports. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 58(3): 262-265. 1988.
- 7) Williams PT, Albers JJ, Krauss RM, Wood PD: Associations of lecithin: cholesterol acyltransferase (LCAT) mass concentrations with exercise, weight loss, and plasma lipoprotein subfraction concentrations in men. *Atherosclerosis* May; 82(1-2): 53-58. 1990.
- 8) Frey I, Baumstark MW, Berg A, Keul J: Influence of acute maximal exercise on lecithin: cholesterol acyltransferase activity in healthy adults of differing aerobic performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 62(1): 31-35. 1991.
- 9) Wallace MB, Moffatt RJ, Haymes EM, Green NR: Acute effects of resistance exercise on parameters of lipoprotein metabolism. *Med Sci Sports Exerc* Feb; 23(2): 199-204. 1991.
- 10) Grandjean PW, Crouse SF, O'Brien BC, Rohack JJ, Brown JA: The effects of menopausal status and exercise training on serum lipids and the activities of intravascular enzymes related to lipid transport. *Metabolism* Apr; 47(4): 377-383. 1998.
- 11) Hostmark AT: Physical activity and plasma lipids. *Scand J Soc Med Suppl* 29: 83-91. 1982.
- 12) Huttunen JK: Physical activity and plasma lipids and lipoproteins. *Ann Clin Res* 14 Suppl 34: 124-129. 1982.
- 13) Thomas TR, Adeniran SB, Iltis PW, Aquiar CA Albers JJ: Effects of interval and continuous running on HDL-cholesterol, apoproteins A-1 and B, and LCAT. *Can J Appl Sport Sci Mar*; 10(1): 52-59. 1985.
- 14) Marniemi J, Dahlstrom S, Kvist M, Seppanen A, Hietanen E: Dependence of serum lipid and lecithin: cholesterol acyltransferase levels on physical training in young men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 49(1): 25-35. 1982.
- 15) Yoshimura H: Anemia during physical training (Sports anemia) *Nuri. Rev.* 28, 251-253. 1970.

長距離選手の plasma particle image による metabolic field の検討

Lujian XING (大学院体育学研究所) 山村雅一 (スポーツ医科学研究所)

岩垣丞恒 (スポーツ医科学研究所) 王 恵珍 (福建中医学院)

Plasma particle image of student distance runners

Lujian XING, Masaichi YAMAMURA, Suketsune IWAGAKI and Hui-Zhen WANG

Abstract

There are many particles in plasma such as lipoproteins, albumin, globulin, fragments of cell membrane and leaked enzymes from the cells. Flow cytometry can detect these sizes and functional structures and make a scatter graph using the forward scatter (FS) and photo multiplier tube PMT1; a plasma particle image (PPI). Changes in metabolic function induced by exercise or prolonged training directly influence the availability of PPI. To our knowledge there have been no report on the availability of PPI and the purpose of this study was to investigate the characteristics of PPI in student distance runners and the availability of PPI. The subjects were student distance runners ($n = 45$), control subjects ($n = 12$), and a patient with myocardial infarction ($n = 1$). Blood collection was performed in the early morning and the plasma was obtained by centrifugation at 3000rpm for 20min. The diluted plasma was used for flow cytometry. The stability of the PPI was clarified by plasma incubation (temperature, pH). The PPI of student distance runners contained many fragments of cell membranes such as WBC, platelet and DNA. The large FS fraction sorted by flow cytometry contained more TG and protein than the small FS fraction. In particular, different molecular proteins were found in the large FS fraction. The PPIs were roughly classified into 3 typical scatter graphs; small and round scatter graph with small FS and PMT1, swords type scatter graph with large FS and PMT1, and many swords type scatter graph with middle FS and PMT1. The PPIs of student distance runners were small and round type with small FS and PMT1 and there was a significance difference in FS, PMT1 and the number of the particles between student distance runners and the control students ($p < 0.0001$). Jogging exercise caused changes in PPI with number of plasma particles FS and PMT1. Our findings showed the availability of PPI as a metabolic field and the characteristics of student distance runners.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 47-54, 2001)

はじめに

Plasmaには、タンパク質(アルブミン、グロブリン)、リポタンパク、キロミクロン、LCAT、

逸脱酵素、脂溶性物質等が粒子の状態で存在している。これらの粒子の大きさとそれぞれの代謝的特徴についての研究はこれまでに推進されてきている¹⁻⁹⁾。しかしながら、個々の粒子の特徴、或いは粒子ごとの相互関係についての研究が推進されているにもかかわらず、plasma particle全体像

(image、即ち plasma 中粒子の分布図) に関する報告は全く見受けられない。Plasma 粒子の役割は、個々の粒子の特徴と共に全体の plasma particle image により特徴づけられるはずであり、この意味からも、plasma particle 全体像の意味は極めて重要であると考えられる。

Flow cytometry (FCM) 法では、主に個々の細胞や粒子を大きさと内部構造密度の差を中心に分別し、その分布図を作成すると共に、それぞれの分画を分取できる方法である。EPICS-ALTRA (Beckman Coulter 社) では、直径 0.3~40 μm までの粒子を無染色条件で、このような分析と分取が可能となっている¹⁰⁾。

運動やトレーニングによる代謝機能の変化は、個々の物質間の応答のみではなく、plasma particle 全体像の代謝的な「場」としても影響しているはずである。PPIはこの「場」を評価することになる。長距離選手の plasma では、長期の持久性トレーニングによる代謝的变化が著しく、plasma particle image に対する変化が期待されるので、本研究ではその特徴と意味について検討した。

研究方法

1. 被験者

被験者は、学生長距離選手 (n = 45 名、年齢 21.0 \pm 0.8 才)、一般学生対照者 (n = 12 名、年齢 21.0 \pm 0.9 才)、一般人対照者 (n = 3 名、年齢 28.7 \pm 6.4 才)、心筋梗塞患者 (n = 1 名、年齢 50 才) である。

2. サンプル

1) Plasma サンプルの調製

採血は、早朝空腹時に (7:00~9:00) ヘパリン入り真空採血管を用い、上肢尺側正中皮静脈、又は、ヘパリン入りヘマトクリットを用い、指先部で行った。採取した血液は、3000rpm で 20 分間遠沈 (H-103、国産遠沈器株式会社) し、

上清を plasma サンプルとして用いた。測定する際には、pH7.4 のリン酸緩衝液 (phosphate buffer solution: PBS、和光純薬株式会社) で 20 倍ないし 50 倍に希釈した。

2) Plasma 粒子の分取及び洗浄

健常者と心筋梗塞患者の plasma 粒子は、直径 3 μm 位を境に大小のサイズに別区分けし、flow cytometry の sorting 方法により分取した。分取した plasma 粒子を遠沈濃縮器 (ビバスピ 6、ザルトリウス株式会社) を用いて、3000rpm で遠沈し、水分を除去した。この洗浄過程は 3 回行った。

3. Plasma particle image の作成

Plasma particle image の作成には、EPICS-ALTRA (Beckman Coulter) を用いた。日差変動管理は「Flow-Set」(Beckman Coulter) を用いた。粒子サイズの同定は、直径 2.0 μm 、5.0 μm 、10.0 μm 、20.0 μm の「CC Size Standards」(Beckman Coulter) と、直径 3.6 μm の「Flow-Set」(Beckman Coulter) と、「Calibration grade 1.0 micron YG」(Polysciences, Inc.) を用いた。測定には、縦軸に FS (前方散乱光、forward scatter)、横軸に PMT1 (側方散乱光、side scatter = photo multiplier tube 1) のログスケールを用いた。

4. Plasma particle image の安定性と再現性

1) 経時的 incubation の影響

1 ml の冷凍保存 (-37 $^{\circ}\text{C}$) plasma に 50ml の PBS (pH7.4) を添加し、37.0 $^{\circ}\text{C}$ の温水 incubator (東和科学株式会社) 下で攪拌しながら incubation した。1 時間置きに 1 ml の plasma PBS 溶液をサンプリングし、PPI の変化を FCM にて測定した。

2) 温度の影響

1 ml の冷凍保存 (-37 $^{\circ}\text{C}$) plasma (n = 10) に 50ml の PBS (pH7.4) を添加し、30、32、34、36、38、40、42、44 $^{\circ}\text{C}$ の各温度条件下で、振蕩しながら 15 分間の incubation を行った後、それぞれの PPI の変化を FCM にて測定した。

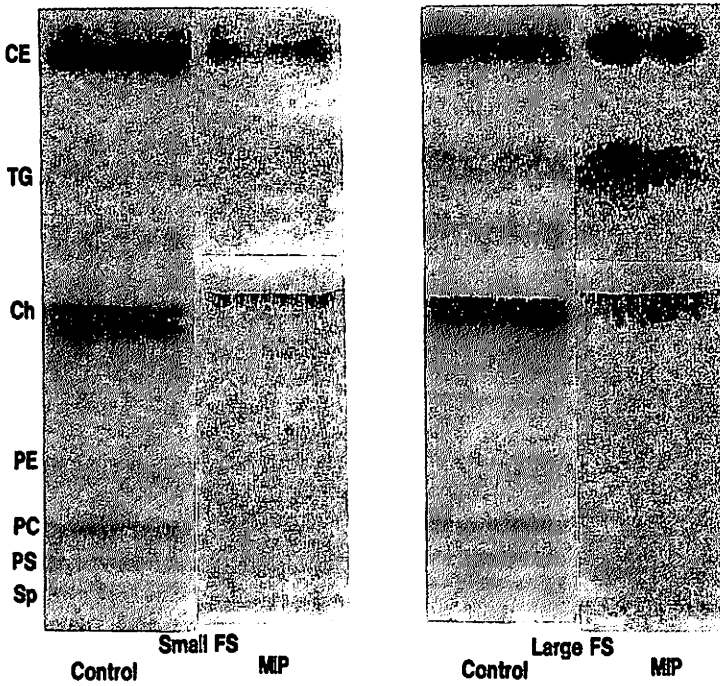


Fig. 2 Thin layer chromatography of plasma lipids of large FS and small FS fractions. Each fraction was sorted from PPI and the lipids were separated with development solvent. TG; triglyceride, CE; cholesterol ester, PE; phosphatidylethanolamine, PC; phosphatidylcholine, PS; phosphatidylserin, Sp; sphingomyerine

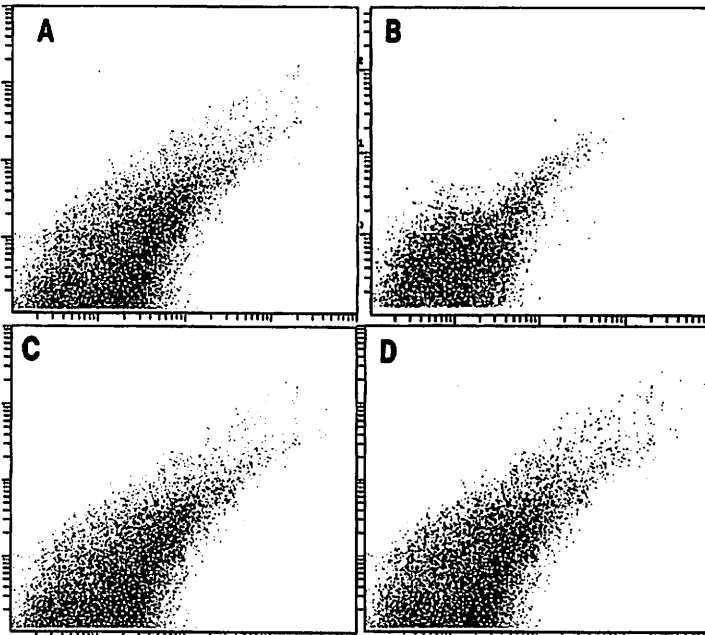


Fig. 4 Localization of positive and negative reactions with various antibodies in PPI
 A; The red particles were labeled with CD45 antibody.
 B; The green particles were labeled with CD42b antibody.
 C; The pink particles were labeled with Annexin V.
 D; The brown particles were labeled with propidium iodide (PI).

3) pH の影響

塩酸、又は水酸化ナトリウムで、pH7.4のPBSをpH7.0、7.2、7.6、7.8、8.0に調製した。0.1mlの冷凍保存(-37℃) plasma (n=10) に5.0mlの各pHのPBS液を添加し、37℃で15分間のincubationを行った後、それぞれのPPIの変化をFCMにて測定した。

5. Plasma particle imageの構成要素

1) 脂質の分析

Sortingにより得た plasma 粒子液をC/M (Chloroform/Methanol—2:1, v/v) 溶媒に溶解し、No.7の濾紙 (Toyo Roshi Kaisha, Ltd.) で漏過後、窒素ガス流入下で蒸発乾固した。これらのサンプルを薄層クロマトグラフィ (F645, Merck) により分離した。展開用溶媒には、中性脂質用 (Heptane/P-Ether/D-Ether/Acetic acid—60/20/20/1, v/v/v/v)、リン脂質用 (C/M/H₂O—65/25/4 v/v/v) を用いた。

2) タンパク質の定量と分析

Sortingにより得た plasma 粒子をBradford法¹¹⁾により染色し、分光光度計 (Spectrophotometer, U-2000、日立株式会社) にてタンパク質の含有量を測定した。

また、洗浄した plasma 粒子20 μ lに1mlのドテジル硫酸ナトリウムサンプル処理液 (1%のドテジル硫酸ナトリウム、1%の2-メルカプトエタノール、50mMのpH6.8のTris-HCl緩衝液、20%のグリセリン) を加え、100℃で2分間加熱処理し、10%アクリルアミドゲルで等電点電気泳動 (AE-7300, ATTO 株式会社) を行い、 plasma 粒子タンパク質の分子量を定性した。

3) 糖質の分析

0.5mlの plasma から分取した plasma 粒子を遠沈洗浄し、18000rpmで60分の遠沈処理 (20PR-52D、日立株式会社) を行ったから、50 μ lのPBSを添加し、グルコースアナライザー (Stat Plus, 2300型、YSI社) にてグルコースの含有量を測定した。

4) Plasma 粒子の染色

サンプルは冷凍保存(-37℃)した長距離選手 (n=10) と心筋梗塞患者 (n=10) の plasma を用いた。Plasma 粒子の染色には、CD45-FITC (Beckman Coulter)、CD42b-FITC (Beckman Coulter)、CD16-FITC (Beckman Coulter)、CD56-PE (Beckman Coulter)、Annexin V-FITC (医学生物学研究所株式会社)、ヨウ化プロピディウム (Propidium Iodine; PI、医学生物学研究所株式会社) を用いた。ネガティブコントロールには、IgG 1-FITC/IgG 1-FE (Beckman Coulter) を用いた。

50 μ lの plasma に、3.0 μ lのCD45-FITC抗体 (Beckman Coulter)、又は10 μ lのCD42b-FITC抗体 (Beckman Coulter)、又はCD16-FITC抗体 (Beckman Coulter) とCD56-PE抗体 (Beckman Coulter)、又は10 μ lのAnnexin V、又は5 μ lのPIを加え、室温で遮光15分間のincubationをした後、PBS (pH7.4) で50倍に希釈し、FCMで測定した。

6. 運動における影響

1) Jogging の影響

被験者は中長距離選手 (n=1) であった。8 km/h の速度で60分のjoggingを行った。Joggingの直前、途中20分、40分、60分、終了後30分の各時点で、指先から0.2mlの血液を採血し、0.8mlのPBSを加え、3000rpmで20分の遠沈処理を行い、上清 plasma を取り、FCMにて測定し、 plasma 粒子の大きさと構造密度の変化を分析した。

2) 長距離選手と一般学生の比較

被験者は、長距離選手 (n=45) と一般学生 (n=12) だった。採血は指先部より行った。採取した0.2mlの血液に0.8mlのPBS (pH7.4) を添加し、3000rpmで20分の遠沈処理を行い、上清をサンプルとして、FCMにて測定した。

研究成果

1. Plasma particle imageに関する検討

1) Plasma particle imageの安定性

Fig. 1で示したよう経時的incubationの結果では、時間が6時間以内、温度が30~44℃、pHが7.0~8.0の間であれば、plasma粒子の正面散乱光

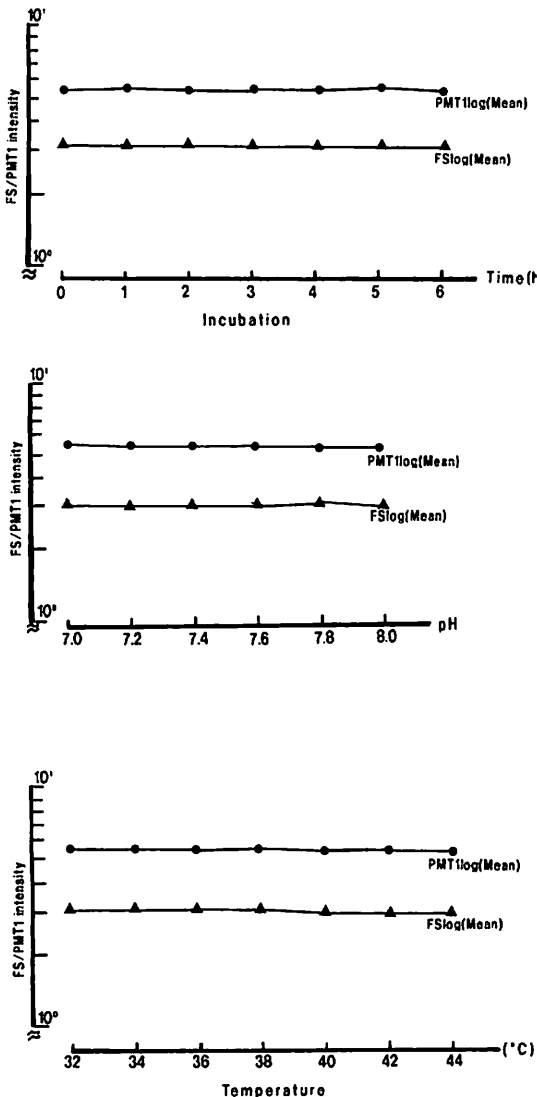


Fig. 1 Stability of plasma particle image (PPI) in various temperature and pH and incubation

(FSlog) と側方散乱光 (PMT1 log) は極めて安定していた。したがって、実験条件下での影響は極めて少ないことが明らかとなった。

2) Plasma particle imageの構成要素

Fig. 2は sortingにより得た plasma 粒子を薄層で展開した結果である。Phosphatidylethanolamine、phosphatidylcholine、phosphatidylserine、sphingomelineとコレステロール、中性脂肪、コレステロールエステル等の脂質の存在が確認された。心筋梗塞患者と健常者の間では、粒子の直径が3μm以下の場合、各脂質の含有量ははっきりした差が観察されないが、3μmを越えた場合、心筋梗塞患者の方に大量の中性脂質 (TG) の存在が確認できた。

Bradford法により、1 mlの plasma 粒子に9.19mgのタンパク質が測定された。上部にある20%の粒子に対し3.99mgの、下部にある80%の粒子に対し5.20mgのタンパク質が含まれていた (Table 1)。

Fig. 3は心筋梗塞患者 Plasma 粒子をサイズの大小別により sortingし、電気泳動した結果である。大小粒子の間には、分子量が75、60、40、18KDa 前後のところに移動度の異なるタンパク質の存在が確認された。

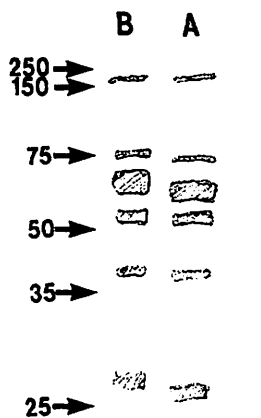
Stat plus (YSI株式会社)により、plasma 粒子にはグルコースが含まれていないことが判明した (Table 1)。

Plasma 粒子の染色テストは、Table 2で示した。長距離選手と心筋梗塞患者には、場合により、CD42b、CD45、CD56、Annexin V、PIに一定の陽性率、又は陰性率を示した。Fig. 4は染色テストの典型的なPPIである。

3) Plasma particle imagingの種類

Fig. 5は、主に小さい粒子で構成する丸みを帯びた分布、大量の大きい粒子が出現し、右上に延びた刀状の分布、又は2~3本刀状の分布等の plasma particle image パターンが観察された。

長距離選手の plasma particle image による metabolic field の検討



A: large FS B: small FS

Fig. 3 Electrophoresis of plasma protein sorted from large and small FS fractions by flow cytometry. Arrows show different proteins in A fraction

Table 1 Number of plasma particles, protein concentration and glucose in A and B fractions sorted by flow cytometry

	particle number (%)	protein (mg)	protein (%)	glucose (mg)
Large FS	20.0	3.99	43.4	0
Small FS	79.8	5.20	56.6	0

Table 2 Positive and negative reactions in plasma particles with various antibodies

	CD45	CD42b	CD56	Annexin V	PI
LDR	-	- 5, + 5	+	+	+
MIP	+	-	-	-	-

LDR: long distance runner, MIP: myocardial infarction patient, PI: propidium iodine.

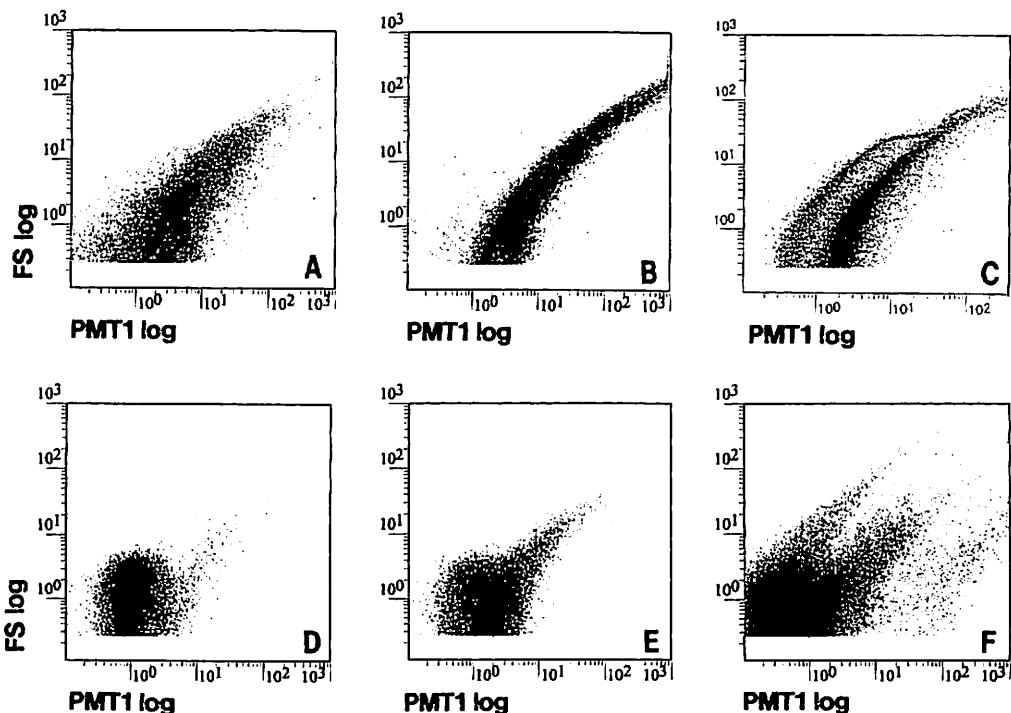


Fig. 5 Various kinds of plasma particle image (PPI)

2. 運動における影響

1) Joggingの影響

Fig. 6で示したよう、joggingを開始すると plasma 粒子の平均サイズが小さくなり、構造密度も低くなった。Joggingの継続につれ、粒子が徐々に大きくなり、構造密度も高くなっていった。30分の回復を経て、粒子の形状はほぼ回復できていた。粒子の数は、joggingの開始に伴い急増していた。30分の recovery を経て多少回復したが、まだjogging直前の数倍であった。

2) 長距離選手と一般学生との比較

Fig. 7で示したように、長距離選手と一般学生の plasma 粒子は、大きさ (FSlog Mean)、構造密度 (PMT1 log Mean)、粒子の数 (個/ μ l) において有意な差が認められた (それぞれ $p < 0.0001$)。

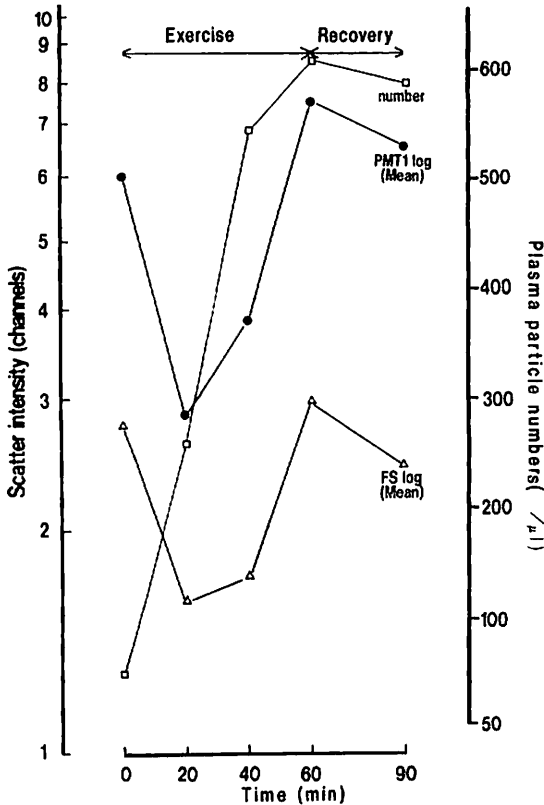


Fig. 6 Changes in the number of the particles, FS (Mean) and PMT1 (Mean) of PPI during jogging exercise and recovery

考 察

1. Plasma particle image (PPI) の安定性

Flow cytometry で得られる PPI は FS と PMT1 により分析されるため、Plasma particles の状態が PPI に直接反映される。温度、pH、経時的 incubation について PPI を分析すると、これらのいずれの条件下においても、FS 並びに PMT1 共に変化はなく、きわめて安定性を持った PPI であった (Fig. 2)。従って、PPI は安定しているため、その変化は生体内での plasma 中の変化を表していることになる。

2. PPI における脂質とタンパク質の含有量

しかし、これらの particle サイズを FS を基準に A、B に区分し、それぞれの sorting を行い、Plasma lipids の薄層フロマトグラフィーでの分析結果 (Fig. 2) を見ると、単に particle サイズだけではなく、脂質層にも著しい差が認められ、FS ならびに PMT1 の違いは plasma 中の脂質相の差異も表している。PPI での粒子数 (%) ならびに蛋白質の定量 (Table 1) は FS の大きな A 部分では、B 部分に比較し、蛋白量がおおよそ 2 倍となり、さらに Fig. 4 の分析結果から見ると、この蛋白量は単に FS の小さな粒子の結合として存在しているのではなく、小さな FS 粒子に見られない蛋白を含有した FS であった。これらの結果から、FS の違いは特定蛋白の生成により形成されたものと考えられる。

3. Plasma 中への白血球膜、血小板並びに巨核球膜の破片の混在

CD45、CD42b の抗原を CD45-FITC、CD42b-FITC 抗体として染色したところ、長距離選手の plasma 中にはこれらの反応が認められ (Table 2)、さらには Annexin V により phosphatidylserine (PS)、propidium iodine (PI) により DNA の存在も認められ、plasma particle image にはこ

これらの fragment も混入していること、さらには、長期トレーニングによる生体機能の変化には代謝機能以外の要素も大きく関与している事が明らかとなった。しかしながら、その意義についてはさらに検討を要する。

4. PPIの種類と metabolic field

PPIの種類 (Fig. 5) には典型的例をまとめると、およそ3種類にわけられる。FS並びにPMT1共に小さく、丸味をおびた分布、FS並びにPMT1共に大きく延びた刀状の分布、2~3本刀状の分布が平行して出現してくる分布である。これまでの結果からみると、これらの分布それぞれの plasma particle としても意味が存在しているはずである。

これまでの代謝過程は直接的反応として表現され、その過程の機能が論じられてきた。しかしながら、flow cytometry で得られたPPIでは、plasma 中粒子の全体像となるため、これらのPPIにおける違いは、plasma 粒子全体に生じた変化であり、個々の物質間ではなく、plasma 粒子としての「代謝的場 (metabolic field)」に生じた変化と考えられる。このような考え方はこれまでの代謝研究では皆無であり、PPIにより初めて meta-

bolic field としての代謝研究が可能となることを示した。PPIの差異は、それぞれの分布の特性が明らかとなることによって、意味づけられることになるが、現在のところ検討中である。

5. 運動における影響

Fig. 6から、plasma 粒子の形態と数は、運動との関係が極めて密接であることがわかった。Joggingを開始すると、plasma 粒子が血中に動員され、運動強度の増加につれ、大きい粒子も出現した。運動終了後、plasma 粒子の数は依然高くなっていて、血中に残存している。この現象から、運動は臓器からいろいろ物質を血中への放出を促し、新陳代謝を促進することを実証していると考えられる。

対照群と長距離選手群とのPPIの比較ではFig. 5に示したように長距離選手の plasma particle (数/ μ l) は数も少なく、FS並びにPMT1も有意に低かった。長距離選手の plasma lipid の特徴は、中性脂肪が著しく低く、リン脂質が多いことを考慮すると、これらの代謝的特徴としてFSが小さく、PMT1も小さくなるのが、plasma particle 全体の代謝的特徴として出現していることも考えられる。

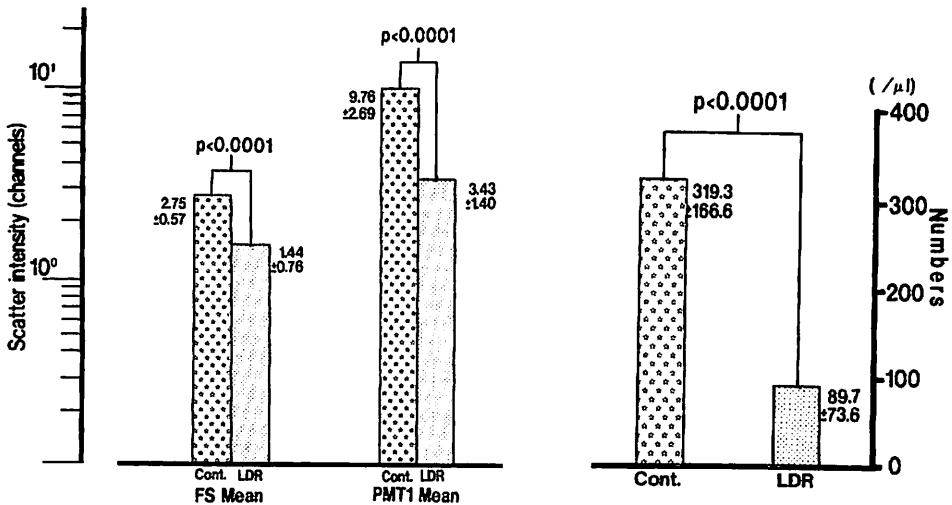


Fig. 7 PPIs of student distance runners. There was a significant difference in particle number, FS and PMT1 ($p < 0.0001$)

引用文献

- 1) Donald Voetら, 「生化学」, 第1版, 東京化学同人, 47-600, 1992.
- 2) 坂本武彦ら, 「生理学」, 第1版, 西村書店, 283-301, 1996.
- 3) Howard MA, Coagulation activities of plasma microparticles. *Thromb Res.* 1988 Apr 1; 50 (1): 145-56.
- 4) 日本臨床病理学会, 「臨床病理」, 特集, 第70号, 1-78.
- 5) 新日本血液学会全書刊行委員会, 「分子血液学」, 丸善株式会社, 1990.
- 6) 林康幸ら, 「検査値を変えるもの」, 第1版, 薬事日本社, 1994.
- 7) 松田道生ら, 「止血, 血栓, 線溶」, 第1版, 中外医学社, 16-260, 1994.
- 8) 大田和雄, 「フローサイトメトリー」, 第1版, 癌と化学療法社, 1994.
- 9) M. G. Ormerod, 「Flow cytometry」, Oxford Tokyo, 1994.
- 10) ベックマン・コールター株式会社, 「サイトメトリー&セルアナリシス」カタログ1998/1999, 328.
- 11) Marion M. Bradford: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry.* 1976, 72: 248-254.

足関節運動の力学的評価

中村 豊 (スポーツ医科学研究所) 有賀誠司 (スポーツ医科学研究所)

恩田哲也 (スポーツ医科学研究所) 寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)

菊川久夫 (医学部整形外科)

Dynamic evaluation of ankle joint movement

Yutaka NAKAMURA, Seiji ARUGA, Tetsuya ONDA,
Tamotsu TERAO and Hisao KIKUGAWA

Abstract

In 15 college students with no history of ankle joint problems, we performed a dynamic evaluation of ankle joint movement. We examined the joint characteristic in regard to joint laxity and speculated that a low value of joint resistance moment reflected joint laxity. Two features, the curvilinear pattern of joint laxity and the curvilinear pattern of hardness, were noted on the obtained joint angle-moment curve. The anatomical feature of the ankle joint was reflected in the joint angle-moment curve; the dorsi-flexion angle was restricted as the inversion-angle increased, and the plantar-flexion angle tended to become larger. We suggest that this dynamic evaluation was useful to give some combined characteristic information on joint laxity and joint instability.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 55-60, 2001)

Ⅰ. はじめに

関節の柔らかさは動きの柔らかさを反映しているとは言えず、個人々によって柔軟性は異なるのが普通である。関節の柔らかさを規定するものとして関節可動域と運動スピードがあり、特に関節可動域はいくつかの要因によって決定されている。関節を構成する骨の形状と軟部組織の柔らかささは可動域を制限する主たるものであるが、競技特性をもつスポーツ種目によってはさらにこの可動範囲が広がられていることもある^{1,2)}。さらに傷害によっても関節可動域が変化しているこ

とは珍しくなく、このような関節可動域に関係する因子を評価することは意義があると考えられる。

スポーツ選手の場合には関節運動が絶えず繰り返され、疼痛を起こすことはしばしば見られることである。関節の動きは痛みによって制限され、慢性変化を持った関節においては疼痛性にも制限が加わっていることは十分考えられる。これらさまざまな要因をもったスポーツ選手の関節運動にたいして力学的評価を加えることは、従来から行われている関節機能評価に新たな情報を提供するものと考えられる。今回われわれは関節運動抵抗モーメントを用いて従来から行ってきた足関節角度を規定した1方向性の内外反運動評価に加え、底

背屈運動を加えた2方向性の運動について評価を行ったので報告する。

II. 対象および方法

1. 対象

現在運動部に所属していないもので、足関節に支障のない大学生15名である。性別はすべて男性で、平均年齢は21.8歳である。

2. 調査方法

1) 傷害アンケート；アンケート項目は主に3つで、現在および過去の関係したスポーツ種目と、今までの足関節機能に影響する傷害歴をアンケート調査した。

2) 足関節運動の力学的計測；自家作製の足関節可動試験機にて足関節角度を規定して底背屈・内外反運動における関節抵抗モーメントを求めた。

a) 測定装置 (図1)：装置は足部固定用回転プレート部、下腿固定部、負荷ハンドル部、信号検出・記録部の4つより構成され、各部はアルミニウム合金 (A2017) およびスチールシャフトを用いて作製した。足部固定回転プレートは内外反用と底背屈用の2種類を用意し、下腿および足部固定部にはプラスチックパッドとストラップ取り付けて、装置との密着性を高めるように工夫した。

関節角度はプレート回転軸後方に取り付けら

れたポテンシオメーター (CCP-45-4、緑側器) により検出し、ポテンシオメーター出力変換器 (RV-505G、緑側器) を介してパーソナルコンピュータにデジタル記録した。

関節抵抗モーメントは、負荷回転ハンドルを取り付ける前方回転軸に二軸箔歪みゲージ (KFG-1-120-D-16-11、共和電業) により歪みを検出し、動歪みアンプ (DPM-611B、共和電業) を介してパーソナルコンピュータにデジタル記録した。

歪みからモーメントへの換算には

$$M = \frac{EZ_p}{1 + \nu} \gamma$$

E：ヤング率 (206Gpa)、 γ ：歪み測定値、
Zp：極断面係数 ($Z_p = \pi d^3 / 16$, $d = 10\text{mm}$)、
 ν ：ポアソン比 (0.3)

の式を用いて算出した。

b) 測定方法：被験者は股関節90° - 膝関節90°の座位にて足部を回転プレートに置き、大腿部をストラップ、下腿部分をパッドおよびストラップで固定し、後足部は踵部パッドにストラップを、前足部はプレートに作られたスリットを介したストラップにより固定し、運動時にズレの生じないように疼痛限界で締め付け固定した。

測定では底背屈運動では背屈、内外反運動では外反方向を+、底屈および内反運動方向を-として測定を開始し、運動開始肢位は足関節中間位より始め、底背屈運動では最大底屈位、中

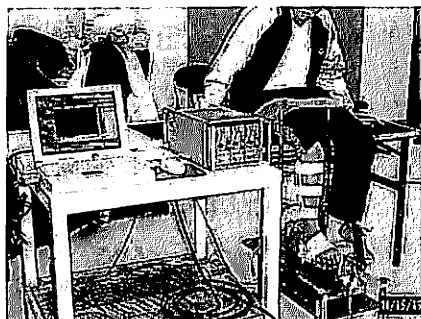
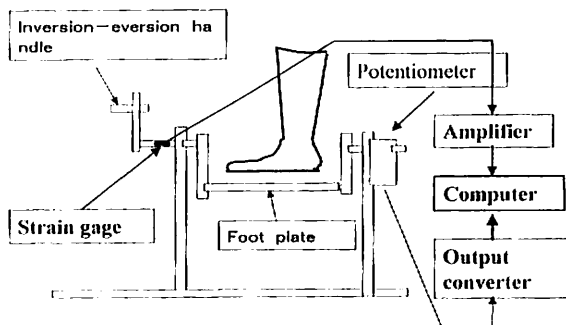


図1 測定装置
Fig. 1 Measurement equipment



間位、最大背屈位、中間位の順で行い、内外反運動では最大内反、中間位、最大外反、中間位の順を1サイクルとして数サイクルを行った。

関節角度の規定は関節捻挫の受傷肢位を念頭に置き、底背屈運動については内反方向のみ角度を設定し、0°、15°、30°の3角度を規定した。内外反運動では底屈角度のみを規定し0°、15°、30°、45°を設定した。

Ⅲ. 測定結果

1. 対象者のアンケート結果からは過去にスポーツ活動を行っていたものは14名で、スポーツと無縁のものは1名のみであった。種目としてはサッカーが6名と多く、水泳が4名、テニス、バスケット、野球がそれぞれ2名であった。現在も何らかのスポーツ活動に参加しているものは8名で、足関節をはじめとする関節傷害既往をもつものは4名であった。その内容は捻挫が5関節で骨折が1関節に見られたが、現在もお足関節に支障の継続があるものはなく、測定に支障のあるものは見られなかった。

2. 足関節運動の力学的計測結果から、得られた数値による関節角度—モーメント曲線作成すると、1つのヒステリシスループ曲線が得られた。これらの曲線パターンを検討するとともに、関節特性を評価するためにいくつかのパラメーターを作成した。曲線全体を5等分し、動きは比較的小さいがモーメント変化の大きい部分である両端部分の傾きをA、Bとし、動きは大きいがモーメントはゼロである部分の傾きをC、Dとし、モーメントゼロの部分の長さHを算出した(図2)。

曲線パターンからは主に3つの特徴が得られた。1つは底背屈運動や内外反運動時のC、Dの傾きが少ない曲線と一定の傾きをもっている曲線があることである。すなわち、運動サイクルの関節中間位付近で抵抗の加わり方が少ない場合と抵抗がある程度加わっている場合の2つのパターンがあると思われた(図3)。2つ目は内反角度を増

加させると背屈角度が減少し、底屈角度が増加する傾向を示したことである(図4)。これは内外反運動でも底屈角度が増加するにつれて内外反角度は増加する傾向がみられたが、45°底屈位ではむしろ減少傾向が見られた。3つ目は曲線のモーメントが大きいA、B部分の値とC、D部分の差が大きいパターンと差が著しくないパターンの2つがみられたことである(図5)。

モーメントゼロ部分Hの距離は、曲線パターンからみると、弛緩性の強いものに距離が短い傾向が見られたが明らかなものでなく、硬性を示したものには一定の傾向は見られなかった。

Ⅳ. 考 察

今回行われた足関節に対する力学的検討は、関節のもつ3次元的な動きを分解し、1方向の動きを規定して残る2方向の動きに対する関節抵抗モーメントを測定することで、得られたデータおよびデータ曲線より関節特性を把握するものであるが、関節抵抗モーメントからは当然のことながら値が低いものは関節の弛緩性を反映するものと考えられる。特に曲線パターンでみればC、D部分、すなわち関節運動中間位であり、この部分は骨性

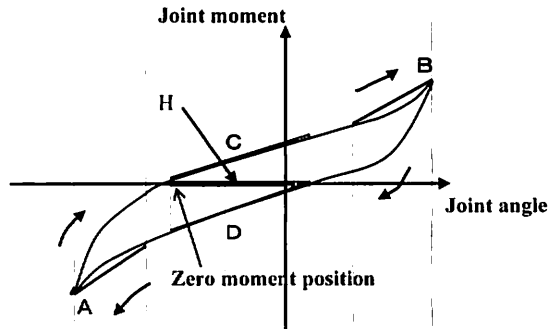


図2 関節角度—モーメント曲線と評価パラメーター。曲線を5等分し、両端の傾きA、Bと運動中間の傾きC、Dを求める。Hはモーメントゼロ部の距離

Fig. 2 A joint angle—moment curve and evaluation parameter. A curve is equally divided to five and it asks for the inclination A and B to both ends, and the inclination C and D of movement middle. H is the distance of a moment zero part

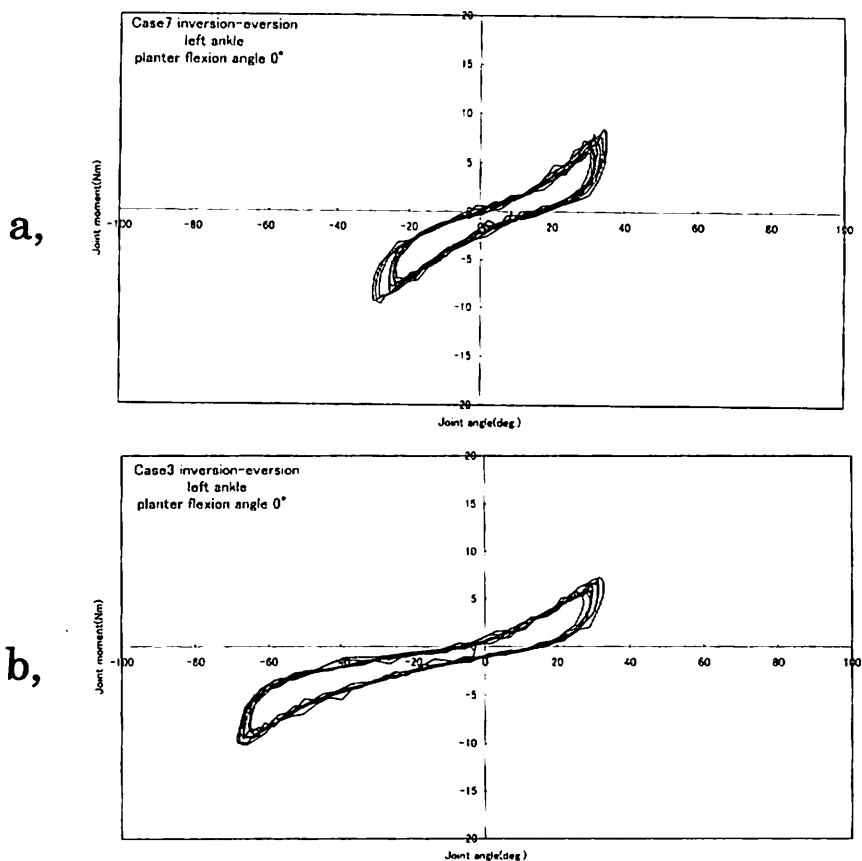


図3 関節角度—モーメント曲線 運動中間部のCとDの傾き。aはCとDの傾きは大きいパターンで、運動中間時の抵抗を受ける。bはCとDの傾きが小さく、運動抵抗が小さい

Fig. 3 Joint angle-moment curve. Inclination of C and D of a movement middle part. Inclination of C and D is a large pattern and a receives the resistance at the time of movement middle. b has little inclination of C and D and its movement resistance is small

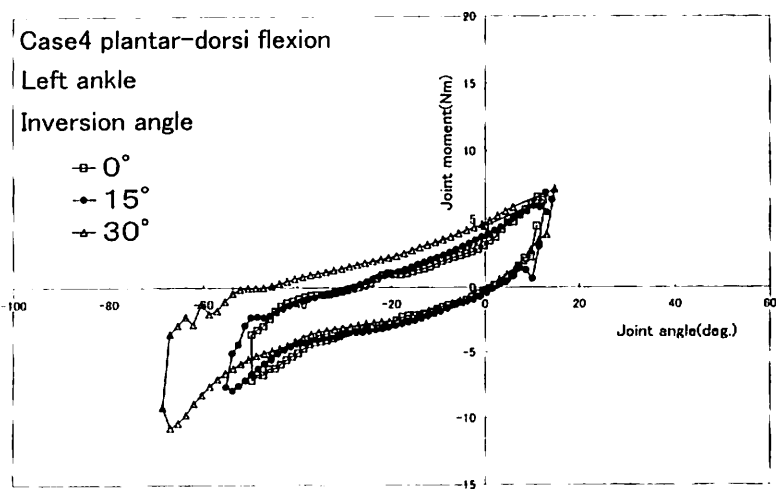
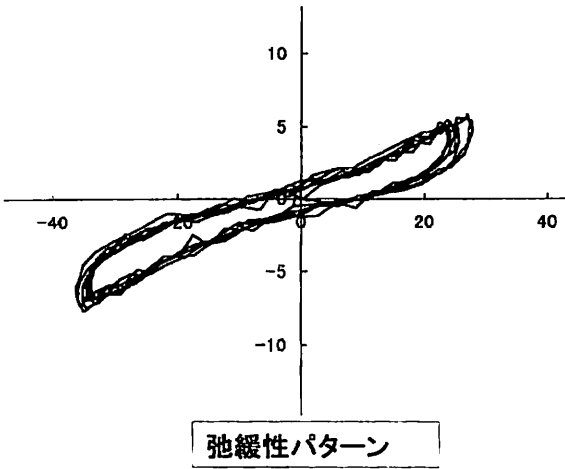


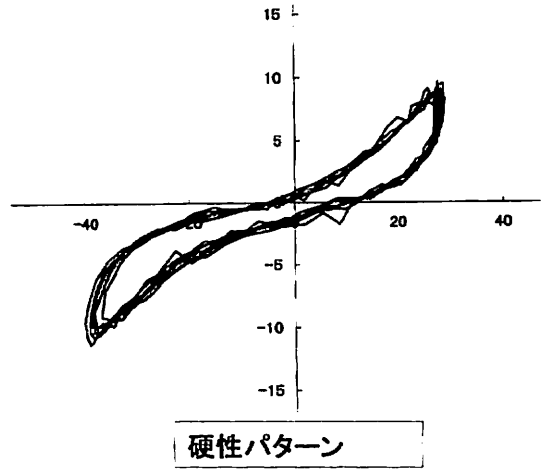
図4 関節角度—モーメント曲線 内反角度の増加につれて、背屈角度が減少し、底屈角度が増加する

Fig. 4 Joint angle-moment curve. Along with the increase in an inversion-angle, a dorsi-flexion angle decreases and a planter-flexion angle increases



弛緩性パターン

Case 2,4,5 etc.



硬性パターン

Case 7,9,12 etc.

図5 関節角度—モーメント曲線 弛緩性パターンはA, B部分とC, D部分の傾きの差が大きいタイプ。硬性パターンはA, B部分とC, D部分の傾きの差が小さいタイプ
 Fig. 5 Joint angle-moment curve. A laxity pattern is a type with the large difference of inclination of A, B portion, and C and D portion. A stiff pattern is a type with the small difference of inclination of A, B portion, and C and D portion

要素が関係すると考えられるが、関節形状や軟骨状態が正常であれば、ここでの抵抗はむしろ関節包および関節周囲の軟部組織の生理的な可動範囲における柔らかさを反映すると考えられる。

運動サイクルにおける運動方向の転換するA, B部分は、曲線部分の両端であり生理的関節可動範囲の限界部分でもあるが、ここでの傾斜は抵抗下での軟部組織の弾性を示すものと考えられる。この部位の抵抗が大きいことは関節の硬さを示し、逆に関節抵抗が低いことは弛緩性をもち関節可動域に予備範囲をもつことを示すと考えられる。したがってA, B部分とC, D部分の抵抗の差が大きければ関節の硬さを意味し、小さければ弛緩性を示すものと考えられる。曲線パターンの特徴にみられたヒステリシスループ曲線の形状は関節弛緩性や硬さを特徴づけるものと思われた。

逆にパターンからみれば関節抵抗モーメントは明らかに弛緩性パターンでA, B部分とC, D部分の抵抗の差が小さく、硬性パターンで抵抗の差が大ききことが確認され、弛緩性をみる目安の1つになると考えられる (図6)。

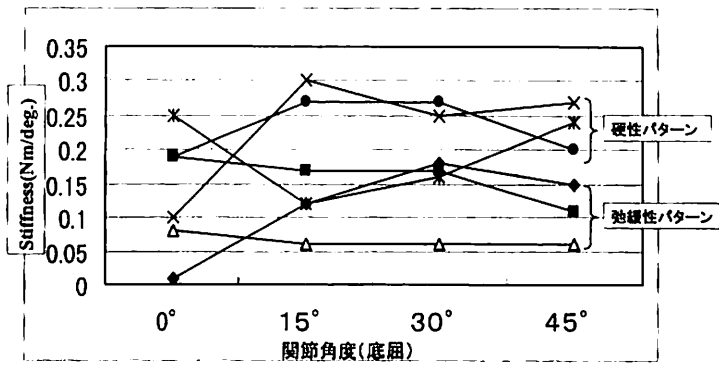
関節角度に関して内反角度を増加させると背屈

角度が減少し、底屈角度が増加する傾向を示したことは、足関節の解剖学的特長を反映したもので、距骨体部の形状が前方部の幅が広く後方が細くなっているため内反角度を増すにつれて細くなった距骨体部が内・外果に対するため可動範囲が広がり、背屈制限は前方の広い体部が内・外果に入りにくくなるためと思われる^{2,3)}。

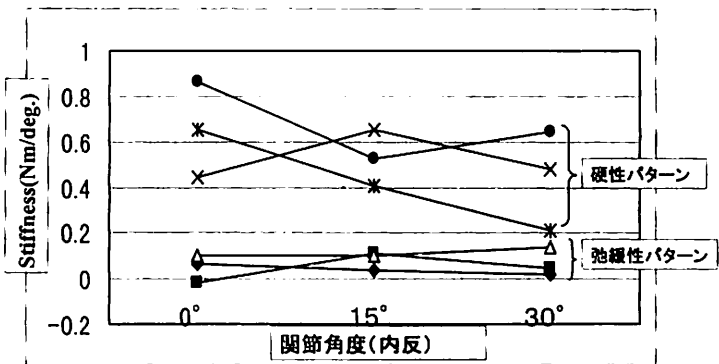
関節角度が内反角度で3つの角度、底屈角度で4つの角度を規定し、それぞれに底背屈運動と内外反運動を行わせることで、捻挫の発生肢位に近い状況がある程度再現されたと考えられる。今後力学的評価を加えることはすでに関節不安定性があり、しかも関節弛緩性も共有するような場合などに、軟部組織の柔らかさの評価に情報を与えるものと考えられる。

V. 結 語

1. 現在特に足関節に支障のない15名の大学生について運動時の関節抵抗モーメントによる関節特性に関する力学的評価を行った。



a. 内・外反運動(A-D)



b. 底・背屈運動(A-D)

図6 パターン別の傾斜角度の差 (A-D間)。内外反運動や底背屈運動のいずれにおいても弛緩性パターンの硬さの値は低値を示す

Fig. 6 Difference of the degree of angle of inclination by the pattern (between A-D). Also in any of inversion and eversion movement or plantar and dorsal flexion movement, the value of the hardness of a laxity pattern shows low value

2. 得られた関節角度—モーメント曲線より、関節弛緩性に関する曲線パターンが認められた。
3. 関節角度—モーメント曲線から足関節の解剖学的特長が反映された。
4. 力学的評価は関節不安定性や弛緩性の混在する関節に対する弛緩性の評価法として活用できると考えられた。

- 3) 羽達弥ほか：バレーボール選手の手関節の弛緩性に関する研究，東海大学スポーツ医科学研究雑誌，第10号，43-47，1998。
- 4) Inman, T. V.: The joint of the ankle. Williams and Wilkins, Baltimore, 1976.
- 5) Cass, J. R. etc.: Three-Dimensional Kinematics of Ankle Instability Following Serial Sectioning of Lateral Collateral Ligaments. Foot Ankle, 5-3, 142-149, 1984.
- 6) 亀山泰ほか：ストレスCTによる足根骨の3次元運動解析，日本臨床バイオメカニクス学会誌，Vol. 21, 275-278, 2000.
- 7) 川上健作ほか：距腿関節の3次元運動及び動的接触圧力に関する実験的研究，日本臨床バイオメカニクス学会誌，Vol. 21, 279-285, 2000.

参考文献

- 1) Kapanji, I. A.: カバンディ関節の生理学II, 下肢, 医歯薬出版, 150-217, 1988.
- 2) Cailliet, R: Foot and Ankle pain, F. A. Davis Company, Philadelphia, 1997.

皮質骨の破壊じん性評価

菊川久夫 (医学部整形外科) 福田宏明 (医学部整形外科)

Evaluation of Fracture Toughness of Bovine Cortical Bone

Hisao KIKUGAWA and Hiroaki FUKUDA

Abstract

To establish a preventive method against injuries caused by sports, it is necessary to clarify the fracture characteristics of bone tissues. In this present study, fracture toughness, which is a characteristic that prevents cracks in bones, was evaluated in bovine cortical bones. The object of this study was to examine the effect of initial crack geometry and specimen thickness on the fracture toughness, K_{Ic} , under an opening mode. The change of fracture toughness expressed using Weibull distribution, which showed a positive correlation. The plane strain conditions have been gotten with over 5mm thick specimen. The results obtained in this experiment well expressed the simulation of bone fracture development.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 61-66, 2001)

Ⅰ. はじめに

生体を材料力学的観点から見た場合、スポーツ外傷による骨折や疲労骨折の発生に関与する因子として、圧縮、引張、ねじり、曲げあるいはこれら複合荷重による骨の力学的強度が挙げられる。特に、スポーツ活動における骨折予防のためには、骨の破壊抵抗およびき裂進展挙動を十分考慮した上でトレーニング等を行うべきである。

一方、整形外科領域においては、骨折の予防のみならず、人工関節や人工骨などの骨補綴材料の最適設計の観点から、皮質骨の破壊じん性評価は不可欠なものである。しかしながら、その評価に

については金属材料を対象とした試験法が主に用いられており、これらが生体材料である骨にどの程度まで適用可能か否かについては不明な点が多い。特に、この種の試験において、試験片にあらかじめ設ける初期き裂の形状や試験片の板厚などは、実験結果を左右する重要な因子である。

前報¹⁾においては、骨折の予防を意図して、き裂(骨折)が物体を進展しにくい性質である、破壊じん性の測定を行い、骨密度と破壊じん性の関係について言及した。本報告では上述の諸問題を考慮し、試験片の板厚および初期き裂形状が骨の破壊じん性に及ぼす影響について、試験片の骨折破面およびスリット先端に発生する微視破壊の観察を含めた破壊力学的手法を用いて検討したので報告する。

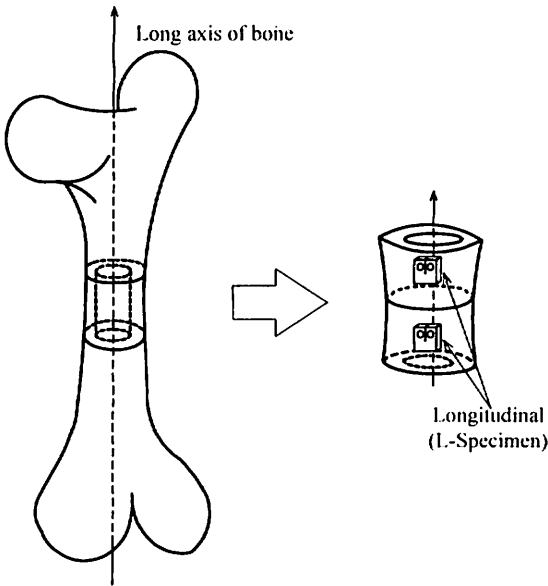


図1 試験片およびその採取方法
Fig. 1 Specimen preparation

II. 実験方法 (a)~(g)

実験に用いた皮質骨は図1に示すような、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 E399⁴⁾に準拠して、図2に示すような試験片幅 $W = 16\text{mm}$ のコンパクトテンション試験片を機械加工により製作した。スリット長さ/試験片幅比 (a/W) は0.5の一定とし、初期き裂は骨軸方向に水平に導入した。スリット先端形状の影響を調べるためにキーホール型およびVノッチ型の2種類を製作した。なお、キーホール型試験片については先端のホール径 d を1.0mm、1.5mm、2.0mm、2.5mmおよび3.0mmの5種類に変化させた。また、試験片の板厚の影響を調べるため、各試験片とも板厚 B を1mm、2mm、3mm、5mm、7mmおよび9mmと6種類に変化させた。

破壊じん性試験には、インストロン材料試験機

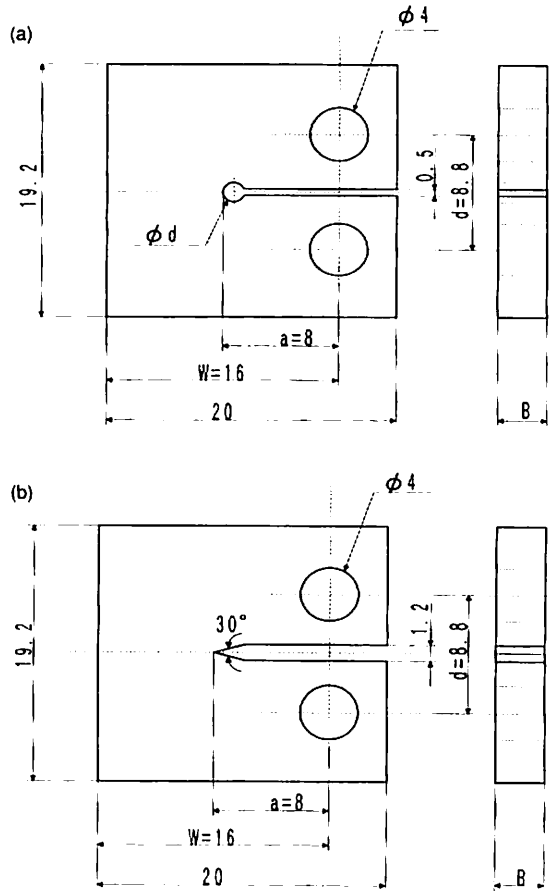


図2 コンパクトテンション試験片の形状 (単位 mm)
(a) キーホール型試験片 (b) Vノッチ型試験片
Fig. 2 Compact tension specimen and dimensions (in mm)
(a) Key hole type (b) V-notch type

(Model 1000) を使い、負荷速度を5 mm/minに設定して行った。試験片に設けた2つの穴に通した鋼製ピンを介して引張力を加え、得られた荷重-変位曲線の最大荷重より破壊じん性値 K_{Ic} ⁵⁾を算出した。

III. 実験結果および考察

図3 (a) および (b) にキーホール型試験片 ($B = 9\text{mm}$, $d = 1.5\text{mm}$) およびVノッチ型試験片 ($B = 9\text{mm}$) それぞれについての典型的荷重-変位曲線の一例を示す。各試験条件における荷重-変位曲線は最大荷重が生じた後、荷重が急激

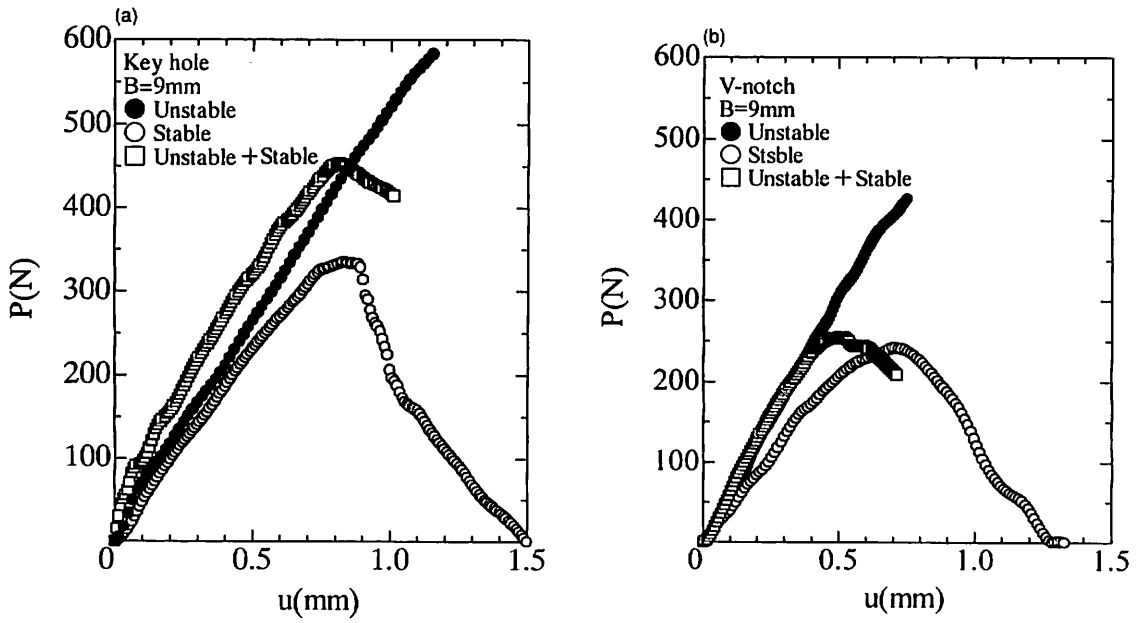


図3 荷重-変位曲線
 (a) キーホール型試験片 (b) Vノッチ型試験片
 Fig. 3 Load-displacement curve
 (a) Key hole type (b) V-notch type

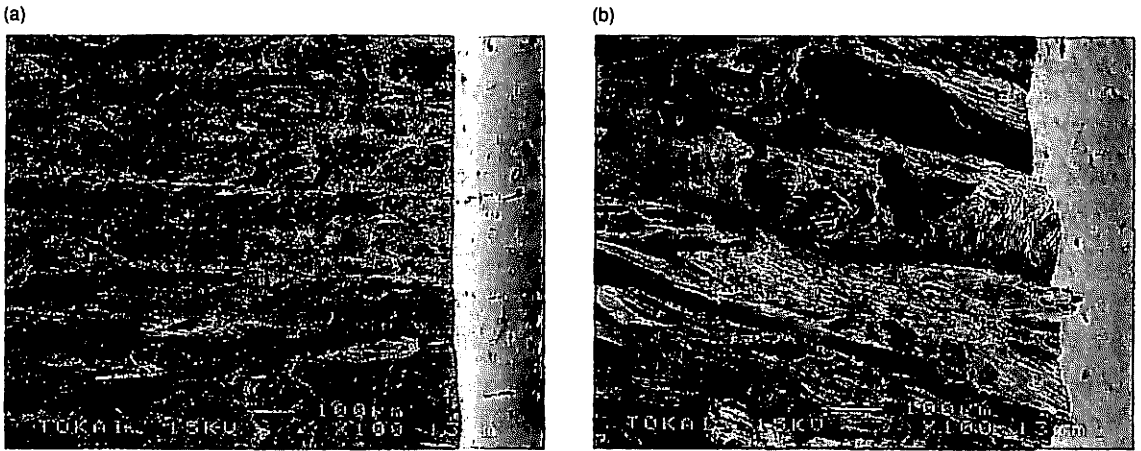


図4 キーホール型試験片の初期亀裂近傍のSEM写真
 (a) 不安定破壊 (b) 安定破壊
 Fig. 4 SEM image of fracture surface for key hole type specimen
 (a) Unstable fracture (b) Stable fracture

に減少し、瞬時に破壊が進展する不安定破壊、最大荷重発生後、荷重が徐々に減少する安定破壊および最大荷重が生じた後、ある期間き裂が安定に進展し、その後不安定破壊を呈する破壊形態（以後、混合型と呼ぶことにする）に大別された。

図4 (a) および (b) にキーホール型試験片 (B = 3 mm, d = 1.5mm) で生じた不安定破壊

および安定破壊それぞれの破断面の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真の典型例を示す。これらの観察から、前者の破壊はオステオン中心部に存在する血管 (ハバース管) に沿ってき裂が進展している。これに対し安定破壊においてはオステオンあるいはその境界組織を中心にき裂が進展していることがわかる。

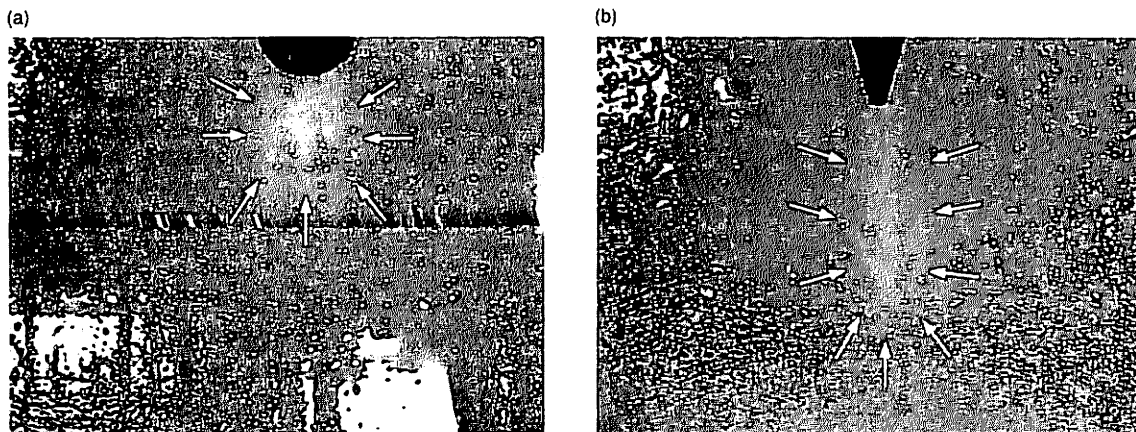


図5 初期亀裂先端に発生したフラクチャプロセスゾーン (不安定破壊)

(a) キーホール型試験片 (b) Vノッチ型試験片

Fig. 5 Photograph of frontal process zone (Unstable fracture)
(a) Key hole type (b) V-notch type

不安定破壊を生じた試験片の破壊直前のスリット近傍組織の変化を実体顕微鏡により撮影した典型例を図5 (a) および (b) にキーホール型試験片 ($B = 3 \text{ mm}$, $d = 1.5 \text{ mm}$) およびVノッチ型試験片 ($B = 3 \text{ mm}$) それぞれについて示す。この時点ではスリット先端のまき裂の発生は観察されていないが、多数のマイクロクラックの集積、すなわち、フラクチャープロセスゾーン⁵⁾と考えられる領域が確認できる。そして、その発生領域は不安定破壊の場合の方が安定破壊に比べ広範囲にわたり、また、スリット先端形状の違いによりプロセスゾーンの発生領域は大きく異なっていた。

最近になって日常生活における運動時においても、骨折に至らない程度の微視破壊が発生するとの報告がある^{6),7)}。これは骨の再構築と密接な関係があり、骨折後の骨癒合における骨折部近傍での再骨折とも関係が深い。破壊力学的にはマイクロクラックの発生は、初期き裂近傍の応力緩和に寄与し、破壊じん性値の向上へとつながると考えられ、プロセスゾーンの広範囲に発生した不安定破壊を呈した試験片で K_{IC} が比較的高い値を得たことと一致している。

図6および図7にワイブル確率紙上にプロットした K_{IC} 値の分布の一例を、キーホール型試験片

およびVノッチ型試験片それぞれ板厚 $B = 2 \text{ mm}$ 、 5 mm および 7 mm について示す。図中の実線は2母数のワイブル分布であり、仮定した分布は破壊形態の相違に関わらず、実験値をよく近似していることがわかる。そして、実験を行った全ての条件で同様の整理が可能である。よって、皮質骨の破壊じん性の発生傾向はワイブル分布で十分表現できることがわかった。また、不安定破壊における K_{IC} 値は、他の2つの破壊形態に比べ、高い値を示す傾向を示した。安定破壊および混合型破壊の発生頻度は不安定破壊に比べ比較的少ないが、板厚の増加に伴い不安定破壊の発生が支配的となる。

ワイブル分布において、ワイブル係数 m の値が大きくなるほど K_{IC} 値のばらつきが小さいことを意味するが、係数 m と試験片の板厚 B の関係を示したものを図8に示す。キーホール型において、 B の増加とともに m は単調増加しており、また、Vノッチ型においても、 $B = 2 \text{ mm}$ 以下を除けば、板厚の増加に伴い m は増加の傾向にあることがわかる。

図9にキーホール型試験片の板厚 $B = 5 \text{ mm}$ における K_{IC} 値とスリット先端径 d の関係を示す。ここでプロットはワイブル分布における平均値(期待値) および誤差棒は標準偏差を示している。

皮質骨の破壊じん性評価

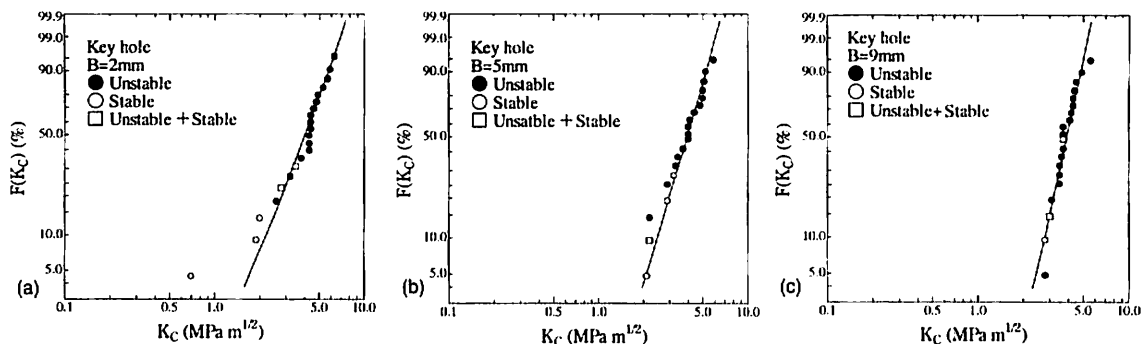


図6 ワイブル確率紙上にプロットされたキーホール型試験片の破壊じん性値の分布
 Fig. 6 Distribution of critical stress intensity factor plotted on Weibull probability paper for key hole type specimen

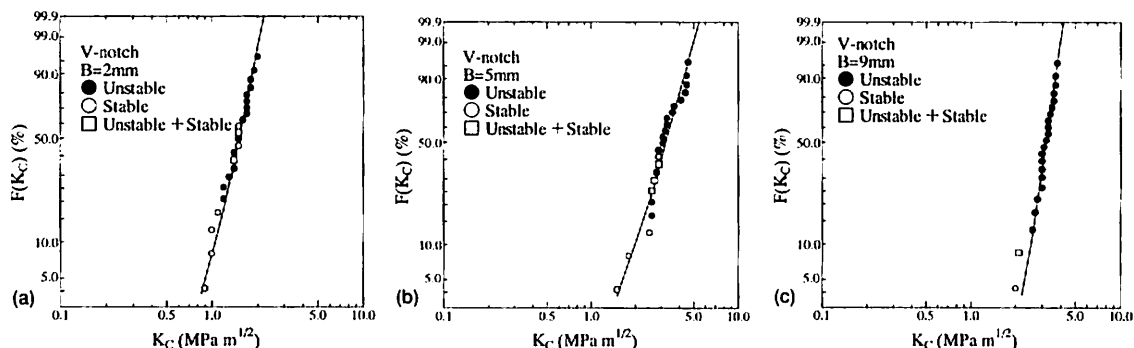


図7 ワイブル確率紙上にプロットされたVノッチ型試験片の破壊じん性値の分布
 Fig. 7 Distribution of critical stress intensity factor plotted on Weibull probability paper for V-notch type specimen

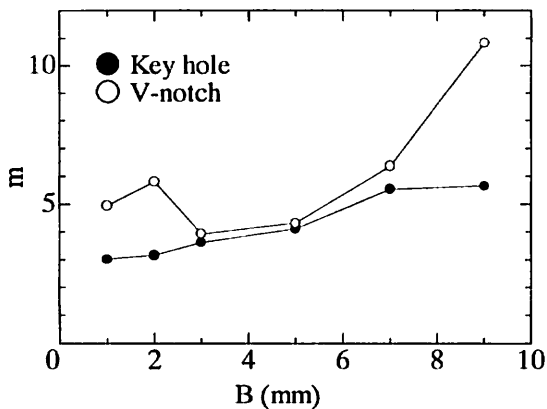


図8 ワイブル係数mと試験片板厚Bの関係
 Fig. 8 Relationship between m and B

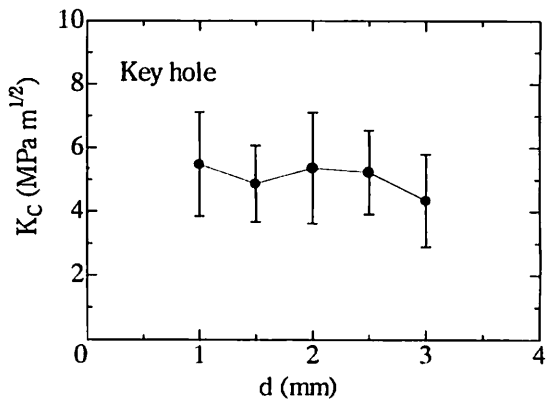


図9 キーホール試験片におけるき裂先端径の影響
 Fig. 9 Effect of hole diameter for key hole type specimen

dを1 mm ~ 3 mmまで変化させても、若干3 mmで減少傾向を示すものの、 K_c 値には有意な変化を認めなかった。

図10は K_c 値と試験片の板厚Bの関係を示したものである。両タイプの試験片において、板厚

B = 5 mmであれば、平面ひずみ状態での破壊が得られると考えられる。また、板厚5 mm以上においては、Vノッチ型がキーホール型に比較して約15%低い値を示した。この原因として、スリット先端の応力分布の相違やこれらに伴うプロセ

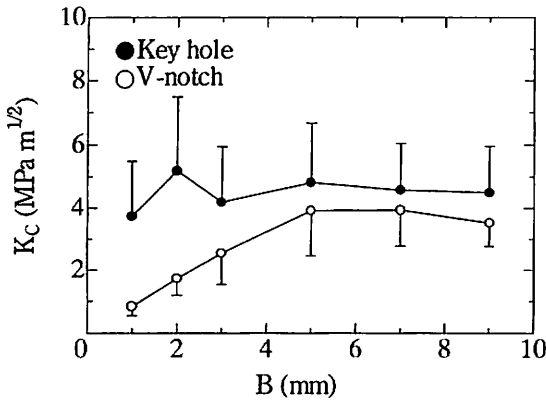


図10 試験片板厚の影響
Fig. 10 Effect of thickness

スズーンの発生形態が変化(図5参照)したためであると容易に予想がつく。よって、本来スリット先端に設けなければならない疲労予き裂¹⁾の影響も、今後十分考慮しなければならないと考えている²⁾。

金属材料の破壊じん性試験においては、試験片板厚が大きくなるほど平面ひずみ状態が支配的になる。通常同じ長さのき裂材についていえば、板厚Bが大きいくほど破壊じん性値K₀は低下する。この時、K₀はほぼ一定の最低値を示し、この値を平面ひずみ破壊じん性と呼び、σ_yを0.2%耐力とすれば、次式の関係を満たすものを応力拡大係数K_{1c}と規定している¹⁾。

$$B \geq 2.5 (K_0 / \sigma_y)^2 \dots\dots\dots (1)$$

いま、皮質骨の耐力の文献値⁶⁾を(1)式に代入して、本実験で求めたK_cを用いて試験片に必要な板厚を試算⁹⁾してみると、板厚5mm以上の試験片において、キーホール型試験片で約10mm、Vノッチ型で約8mm以上の板厚が必要となる。

しかしながら、ヒトやウシの長管骨骨幹部のようなごく限られた部分から10mmの板厚を有する試験片を常に製作するのは不可能に近い。よって本研究においては、B = 5 mm ~ 9 mmの試験片において比較的安定した値(図10参照)を得ており、また、この条件において実験結果のばらつきも少ない(図8参照)ことから、試験片の板厚Bは5mm以上が本実験に有効と結論づける。

IV. まとめ

スポーツによって生じる各種骨折の予防を意図して、骨中をき裂が進展しにくい性質である、皮質骨の破壊じん性の測定を実施し、その評価の妥当性について考察、検討した。得られた成果は、実験結果の信頼性の向上および有限要素法などを用いた骨折のシミュレーションに有効な知見となり得ると考えている。

本研究の一部は日本機械学会第12回バイオエンジニアリング講演会にて報告した。

参考文献

- 1) 菊川久夫, 福田宏明, 康井義明: 皮質骨の破壊靱性について, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第12号, 62-66, 2000.
- 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, 327-333, 2000.
- 3) H. Kikugawa, T. Tomatsu and Y. Yasui: The fracture characteristics of bovine cortical bone, Journal of Japanese Society for Clinical Biomechanics and Related Research, Vol. 20, 193-196, 1999.
- 4) ASTM E399-90.
- 5) D. Vascisith, J. C. Behiri and W. Bonfield: Crack growth resistance in cortical bone: concept of microcrack toughening, J. Biomech., Vol. 30, No. 8, 763-769, 1997.
- 6) 田辺裕治, W. Bonfield, K. E. Tanner: ウシ緻密骨の衝撃破壊靱性, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, Vol. 17, 337-341, 1996.
- 7) 田辺裕治, W. Bonfield: 緻密骨の破壊じん性評価—初期き裂長さおよび試験片板厚の影響—, 日本材料学会第8回破壊力学シンポジウム講演論文集, 243-247, 1995.
- 8) D. T. Reilly and A. H. Burstein: The elastic and ultimate properties of compact bone tissue, J. Biomech., Vol. 8, 393-405, 1975.
- 9) T. L. Norman, D. Vashisith and D. B. Burr: Mode I fracture toughness of human bone, ASME, Advances in Bioengineering, BED-Vol. 20, 361-364, 1991.

運動による糖尿病マウスの 発病遅延及び寒冷暴露に対する 抵抗力の向上

高田繁生 (医学部分子生命科学) 前島邦光 (電子科学株式会社)
勝呂伊佐央 (関島光学目盛り工業所) 山村雅一 (医学部分子生命科学)

Delaying the development of diabetes and increase resistance to
low temperature exposure by swimming exercise in C57BL db/db mouse

Shigeo TAKADA, Kunimitu MAEJIMA, Isao SUGURO and Masaichi YAMAMURA

Abstract

The effect of exercise on diabetes was studied using C57BL db/db mice, which are known to develop diabetes following obesity. Exercise, swimming for 20 min at 35 °C, three times per week, Monday, Wednesday, and Friday, was started at 6 weeks old. The effect was determined by the blood glucose level and free heat release measured at 21 °C via a whole body calorimeter.

Our findings showed that although the blood glucose level in both the exercise and non-exercise groups increased steadily over age, the increase in the blood glucose level was slower in the exercise group than in the non-exercise group; at 17 weeks-old mean blood glucose was 340 mg/dl in the exercise group and 470 mg/dl in the non-exercise group. Free heat in the exercise group gradually increased from 19.8 ± 5.7 at 11 weeks-old, 26.6 ± 4.8 at 18 weeks-old and 30.6 ± 4.1 KJoules /day at 26 weeks-old, while in the non-exercise group it was 22.3 ± 6.6 at 11 weeks-old and at 18 weeks 21.7 ± 6.8. At 26 weeks old all the non-exercise mice died during or immediately after measurements, but all the exercise mice survived.

We speculate that our findings may suggest that exercise activates the metabolism of fatty acid, which subsequently slows the rise in the blood glucose level.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 67-71, 2001)

緒言

平成10年度の厚生省の推計によると、糖尿病が強く疑われる人が全国で約690万人、糖尿病の可能性が否定できない人が全国で約680万人いる。これらの膨大な人々が将来糖尿病を発症し、治療

を受けると、その莫大な医療費が医療保険制度の破綻の一因になると共に、健全な日本の経済の発展に大きな足かせとなる可能性が指摘されており、これら膨大な数の糖尿病予備軍の発病を予防する適切な方法の開発が強く望まれている。同じ考えは2000年9月17日に開催された欧州糖尿病学会(EASD)でも表明され、21世紀の三大疾患の一つとして肥満に伴う糖尿病が危惧されている¹⁾。

レプチンは脂肪細胞に十分な栄養が取り込まれると脂肪組織から内分泌され、満腹中枢に働き、摂食行動を止めるホルモンである^{2,3,4}。db/dbマウスは、摂食後脂肪組織からレプチンが分泌されても、レプチン受容体の異常が原因で満腹中枢に信号が届かない為に摂食行動が止まらずに過食し、肥満をきたし、極度に体を動かさなくなり、高頻度に肥満性のインスリン非依存型糖尿病(NIDDM)を発症する^{5,6}。

肥満性のNIDDMを発病する患者の多くも、甘いものや脂を多く含むものを多めに食べる傾向が見られると共に肥満の割合が多く⁷、比較的運動が嫌いな傾向が指摘されている⁸。この様な傾向が見られる肥満性のNIDDM患者が適度な持久性運動を続けると、病状が改善すること、更には肥満性のNIDDMの予防にも効果があることは疫学調査で明らかである⁹。しかし、適度な運動を、継続することが肥満性のNIDDMの予防に効果があることを動物実験で証明した研究は少ない。肥満性のNIDDMの発病予防に運動がどの様な機構で、どの程度の効果を発揮するかを検討するためにはdb/dbマウスが好都合であると考えられる。今回、このdb/dbモデルマウスを用い、運動が肥満性のNIDDMの発病予防に効果があるかどうかを検討した。

実験方法

動物：過食の結果肥満をきたし、肥満性のインスリン非依存型糖尿病を高頻度に発症するマウスC57BL/KsJ-db/db Jcl 6週齢の雌及び、db遺伝子をヘテロに持ち、過食、肥満及び肥満性のインスリン非依存型糖尿病を発症しないマウスC57BL/KsJ-db/-Jclの6週齢の雌を日本クレア株式会社から購入した。購入直後にC57BL/KsJ-db/db Jclマウスを非運動群と運動群の2群に分けた。飼育室の室温は25℃に保ち、06:00時から18:00時まで点灯し、18:00時から翌日の06:00時まで消灯した。餌は同社製の固形食CE

2を、水は水道水を共に自由に摂取させた。床敷きは同社製クリーンチップを毎日交換した。

運動：運動は水泳を行わせた。縦45cm、横35cm、深さ25cmの大きさで、水温34℃の水が流速12m/minで循環しているプールで泳がせた。1日20分の水泳を2日に1回、週3回行った。

空腹時血糖値の測定：生後8週齢から17週齢まで、毎週1回測定した。前日の17:00時に餌を抜いた。08:30~09:00時の間にジエチルエーテル麻酔科に尾静脈から採血した。採取後直ちに血液0.01mlを0.12mlの0.5%TCA溶液に加え、攪拌し、10,000回転、5分間遠心分離して得た上清を用いた。グルコースの定量はO-トルイジン硼酸法を用いて行った。

放出熱量の測定：電子科学株式会社製の全身熱量計BioDynamic Calorimeter (BDC-200)を使用した。熱量計内にはトレッドミルを取り付け、温度を21℃に保った。09:00時にマウスを測定機内に入れ、翌日の17:00時に取り出した。測定中は水餌共に自由摂取させた。17:00~翌日の17:00の24時間の値を測定値とした。

実験結果

1. 空腹時血糖値に及ぼす運動の効果

健康対照マウス(db/-)の空腹時血糖値は常に70~110mg/dlの正常な空腹時血糖値の範囲内であった。非運動群db/dbマウスの空腹時血糖値は飼育開始直後から直線的に上昇し始め、17週齢での平均空腹時血糖値は470mg/dlに達した。空腹時血糖値の上昇率は29.7mg/dl/週であった。運動群db/dbマウスの空腹時血糖値も飼育開始直後から直線的に上昇し始め、17週齢の平均空腹時血糖値は340mg/dlであった。空腹時血糖値の上昇率は22.2mg/dl/週であった(表1)。又、両群の上昇率には有意差があった(t検定、 $p < 0.00001$)。

2. 放出熱量に及ぼす運動の効果

非運動群 db/db マウスの 11 週齢の放出熱量は 22.3 ± 6.6 KJ/日であり、運動群 db/db マウスの 11 週齢の放出熱量は 19.8 ± 5.7 KJ/日であった。この両者の値の間に有意差はなかったが、それらは共に健康対照群マウスの放出熱量 38.6 ± 4.7 KJ/日に比べて有意に低かった。

健康対照群及び非運動群 db/db マウスの 18 週齢時の放出熱量は、それぞれの 11 週齢時の放出熱量とほぼ同じであった。しかし、18 週齢時の運動群 db/db マウスの放出熱量は 26.4 ± 4.8 KJ/日を示し、同群の 11 週齢時の放出熱量よりも有意に大きかった。26 週齢時の運動群 db/db マウスの放出熱量は 30.6 ± 4.1 KJ/日を示したが、同じ群の 18 週齢時の値との間に有意差はなかった (表 2)。

本研究における低温暴露とは、25℃の飼育温度から 21℃の熱量測定器に入れたことによる温度低下を指している。健康対照群、運動群 db/db マウスはこの低温暴露に対して全く何らの異常も示さなかった。しかし、26 週齢の非運動群 db/db マウスは低温暴露の最中或いは飼育温度に戻した直後に全個体が死亡した (図 1)。

db/db マウスの摂餌量及び体重に対しての運動の効果は認められなかった。

考 察

運動群の空腹時平均血糖値の上昇率は明らかに非運動群のそれよりも低く、尚、平均血糖値が 250mg/dl を越えたのが非運動群 db/db マウスでは実験開始後 4 週、運動群では実験開始後 7 週であった (表 1)。明らかに、適度な運動を継続することが肥満性の NIDDM の発病予防に効果があることを示している。

今回の研究で最も顕著であったのは、第 3 回目の低温暴露で非運動群 db/db マウスの全てが死亡したにも関わらずに、運動群 db/db マウスは全て異常もなく生存したことである (図 1)。第 3 回目の低温暴露を受けたときの非運動群 db/db マウスの平均血糖値は約 550mg/dl であり、運動群のそれは約 450mg/dl であり、共に強度の高血糖状態であったので、全ての非運動群 db/db マウスが死亡し、全ての運動群 db/db マウスが生き残った理由を糖尿病の程度に求めるのは困難である。

表 1 平均空腹時血糖値 (mg/dl)
Table 1 Average blood glucose level of fasted mice (mg/dl)

週齢	非運動群	運動群
6	108	98
8	194	142
9	196	174
10	302	207
11	306	218
12	273	238
13	280	244
14	349	276
15	410	281
16	426	371
17	459	328

表 2 平均放出熱量 (KJ/24h)
Table 2 Average amount of heat released from mice

	11 週齢	18 週齢	26 週齢
対照群 (n=4)	$38.6 \pm 4.7^a)$	41.3 ± 4.0	ND
非運動群 (n=6)	$22.3 \pm 6.6^b)$	$21.7 \pm 6.8^b)$	ND
運動群 (n=6)	$19.8 \pm 5.7^b)$	$26.6 \pm 4.8^{b,c)}$	$30.6 \pm 4.1^d)$

a); Mean \pm SD

b); Significantly different from the data of the control group of 11 or 18 weeks old, respectively by Student's t test ($p < 0.001$).

c); Significantly different from the data of the exercise group of 11 weeks old by Student's t test ($p < 0.05$).

d); Significantly different from the data of exercise group of 11 weeks old by Student's t test ($p < 0.001$).

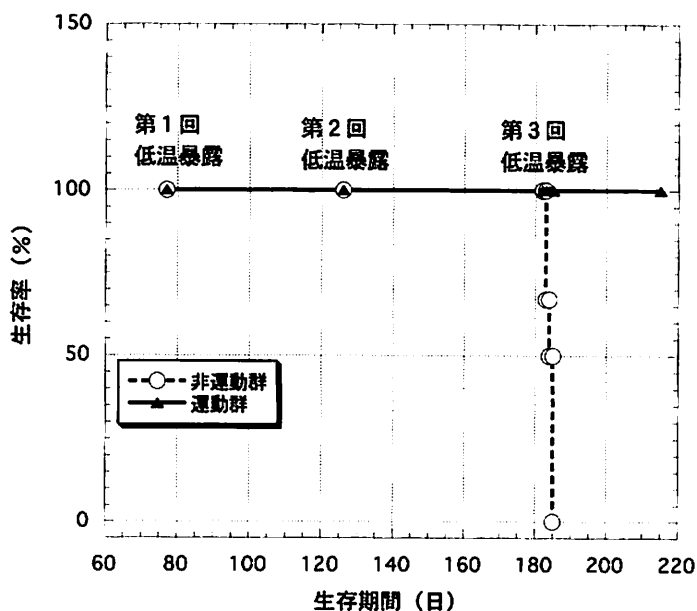


図1 db/dbマウスの生存期間に及ぼす運動の効果

Fig. 1 Effect of an exercise on living periods of db/db mice

動物が寒冷状態におかれた場合、交感神経が緊張し、副腎髄質や甲状腺が刺激され、副腎髄質からはアドレナリンが、甲状腺からはサイロキシンが分泌される。アドレナリンは肝臓グリコーゲンの分解を促すと共に、脂肪組織のトリグリセリドリパーゼを活性化してトリグリセリドの分解を促し、血中遊離脂肪酸濃度を増すと共に筋肉での脂肪酸の酸化を促す。サイロキシンは骨格筋、肝臓或いは心臓等に作用してこれらの臓器の酸素消費量を増大させる即ちエネルギー産生を促し、体温の維持に作用する。人の場合、全エネルギー産生の約58%は骨格筋で、約22%は肝臓で約4%は心臓で作られている¹⁰⁾。これら骨格筋、肝臓及び心臓は共に脂肪酸を主なエネルギー源とする臓器である¹¹⁾。これらの事実は、体温を維持するためのエネルギー産生に脂肪酸の酸化が重要であることを示している。

持久性の運動を継続すると、最大酸素摂取量が増える¹²⁾と同時に筋肉細胞での脂肪酸の酸化も増大する¹³⁾。

db/dbマウスも1回20分の水泳を週3回のペースで続けると平均放出熱量が運動継続期間に比例して増大した(表2)。運動群db/dbマウスの

骨格筋を始めとする全身における脂肪酸利用能力が向上した結果と考えられる。この様に脂肪酸利用能力が向上していたと考えられるdb/dbマウスを寒冷暴露すると、上に述べような機構で熱産生が速やかに活発になり寒冷に対処できた。しかし、非運動群db/dbマウスでは脂肪酸酸化能力が向上していなかったため寒冷暴露されても十分な熱産生ができずに体温が低下して死亡したと考えられる。

以上の結果、レプチン受容体の異常によって過食をきたし、肥満し、高頻度に肥満性のNIDDMを発症するdb/dbマウスに持久性の運動を継続させると肥満性のNIDDMの発症を遅らせると共に、寒冷暴露に対する抵抗力を大幅に向上させることが明らかになった。

マウスを用いた僅かに1回の実験結果でヒトの糖尿病について云々することははばかれるが、肥満者が適度な持久性運動を継続することは、NIDDMの発症を遅らせると共に、寒冷暴露等の種々のストレスに対する抵抗力を向上せしめ、生存期間の延長につながる可能性が示唆される。

まとめ

レプチン受容体の異常から過食と肥満をきたし、高頻度に肥満性のNIDDMを発症するdb/dbマウスを用いて、適度な持久性の運動を継続することが肥満性のNIDDMの発症予防に効果があるかどうかを検討した。

以下の結果が得られた。

- (1) 200~250mg/dl以上の血糖値が継続すると糖尿病の症状が現れる。適度な持久性の運動を継続させると平均血糖値が250mg/dlを越えたのは、実験開始後7週であった。一方、非運動群db/dbマウスの平均血糖値が250mg/dlを越えたのは、実験開始後4週であった。
- (2) 運動群db/dbマウスの平均放出熱量は適度な持久性運動の継続期間が長くなるにつれて増大したが、非運動群db/dbマウスの平均放出熱量には変化がなかった。
- (3) 寒冷暴露すると、非運動群db/dbマウスは6匹全てが死亡したが、運動群db/dbマウスは6匹全てが異常もなく生きていた。

以上の本研究の結果から、適度な持久性の運動を継続することは、肥満性のNIDDMの発病時期を遅らせる効果あることが示されたと共に、寒冷暴露に対する抵抗力を大幅に向上させることが明らかになった。

参考文献

- 1) 黒田耕太郎, 糖尿病は文明病, 第36回EASD総会から, 毎日新聞, 2000年11月1日, 12版, 20面.
- 2) Halaas, J. L., Gajiwala, K. S., Maffei, M., Cohen, S. L., Chait, B. T., Rabinowitz, D., Lallone, R. L., Burley, S. K., and Friedman, J. M.: Weight-reducing effects of the plasma protein encoded by the obese gene. *Science*, 269, 543-546, 1995.
- 3) Pellemounter, M. A., Cullen, M. J., Baker, M. B., Hecht, R., Winters, D., Boone, T., and Collins, R.: Effects of the obese gene product on body weight regulation in ob/ob mice. *Science*, 269, 540-543, 1995.
- 4) Rohner-Jeanrenaud, F., and Jeanrenaud, B.: Obesity, leptin, and the brain. *New Engl. J. Med.*, 334, 324-325, 1996.
- 5) Chen, H., Charlat, O., Tartaglia, L. A., Woolf, E. A., Weng, X., Ellis, S. J., Lakey, N. D., Culpepper, J., Moore, K. J., Breitbart, R. E., Duyk, G. M., Tepper, R. I., and Morgenstern, J. P.: Evidence that the diabetes gene encodes the leptin receptor: identification of a mutation in the leptin receptor gene in db/db mice. *Cell*, 84 (3), 491-495, 1996.
- 6) Chua Jr., S. C., Chung, W. K., Wu-Peng, X. S., Zhang, Y., Liu, S. M., Tartaglia, L., and Leibel, R. L.: Phenotypes of mouse diabetes and rat fatty due to mutations in the OB (leptin) receptor. *Science*, 271 (5251), 994-996, 1996.
- 7) West, K. M.: *Epidemiology of Diabetes and Its Vascular Lesions*, p. 231, Elsevier, Amsterdam (1978).
- 8) Helmrich, S. P., Ragland, D. R., Leung, R. W., and Paffenbarger Jr., R. S.: Physical activity and reduced occurrence of non-insulin-dependent diabetes mellitus. *N. Engl. J. Med.*, 325, 147-152 (1991).
- 9) 井村裕夫, 尾形悦郎, 高久史磨, 垂井誠一郎編集, 最新内科学体系7代謝疾患2糖尿病, 中山書店, 238-245, 1995.
- 10) 杉春夫編著, 人体機能生理学改訂2版, 南江堂, 642, 1994.
- 11) W. C. McMurray著, 斉藤正行・矢島義忠訳, 人体の代謝分子レベルでの考察, 東京化学同人, 162-206, 1987.
- 12) 堀清記, 中田健次郎, 小野桂市, 河野節子著健康と運動改訂3版, 金芳堂, 176-178, 1997.
- 13) W. D. McArdle, F. I. Katch, V. L. Katch著, 田口貞善, 矢部京の介, 宮村実春, 福永哲夫監訳, 運動生理学, 杏林書院, 303, 1992.

PHSを用いたスポーツ選手のリアルタイム遠隔脳波検出技術の開発

大塚義明 (工学部電気工学科) サンドゥー・アダルシュ (工学部電気工学科)
岩垣丞恒 (健康科学部) 寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)

Remote and Real Time Measurement of Mobile Athletes' EEG Activity
using PHS Technology

Yoshiaki OTSUKA, Adarsh SANDHU,
Suketsune IWAGAKI and Tamotsu TERAO

Abstract

We report on the development of a new versatile telemetric system for the remote and real time measurement of the EEG activity of mobile athletes during training. The system consists of a PHS transmitter and receiver terminals (29200 bps), one-chip CPU (PIC16F873), EEG signal amplifier, and laptop personal computer. The raw EEG data is analyzed by initially carrying out a fast Fourier transform (FFT) followed by 3D visualization using Interactive Data Language. Transmitting and receiving EEG signals in a laboratory environment confirmed the operation of the system. The measurement and analysis of EEG activity of mobile athletes during training is expected to yield valuable information for use in enhancing their performance during competition.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 72-75, 2001)

I. はじめに

スポーツ選手の物理的な分析は色々な方法で行われている。直接運動に関わる筋力の測定や、体組織の組成分析等様々な側面から行われている。

しかし、競技で良い成績をおさめるためには物理的な面だけでなく、精神的な面についても考慮しなければならない。チームゲームの例で言えば、小林らは中学生のバスケットボールの試合において、「勝てそうである」「勝てそうにない」という

予測をした結果がチームの志気にどのように影響を与えたか調べている。結果として「勝てそうにない」という予測をした場合、志気にマイナスの効果を与えたと述べている¹⁾。

心理面のトレーニング法として、ジェイコブソンの漸進的解緊法²⁾やシュルツの自立訓練法³⁾などがあるが、このような訓練法の効果はすぐに分かるわけではない。

そこで我々は脳波という手段に着目した。脳波を測定し分析することによって個人の脳の活動や精神状態をリアルタイムに判別することが出来る¹⁾。

一般に脳波測定は椅子に座った状態で行われる。その理由としては 1. 被測定者が運動すると電極がはがれてしまう 2. 非常に高感度なため、シールドルームで行わなければならない などがあ

る。我々が使用する脳波測定器はワイヤレスであり、離れてデータ蓄積器と離れて測定することが可能で、ノイズに対しても強く作られているので、屋外でも測定できる。電極も人が運動することを前提に作られているため、運動が特に激しいスポーツ選手にも応用できる⁵⁾。

この技術を利用して我々はスポーツ選手のパフォーマンス向上に関する研究をおこなっている。

しかし、現在測定に用いている装置はワイヤレスであるものの、通信可能距離は10mほどの範囲に限られる。これでは運動選手が練習をしているときの脳波測定を行うことは難しい。例えばグラウンド走っている被験者の測定は現在の技術では難しい。高出力の無線機を利用するという方法も考えられるが、高出力の無線機は一般に高消費電力であるため、被測定者に重い装置を装着させる必要がある。

また、測定するといった場合、様々なシステムを動作させなければならないため、操作などは複雑になる。できることならば、専門家でない人であっても測定器をセットでき、測定を行いたい場合にすぐさま行えるというのが理想である。このようにするには、機器の操作性は良好であることが要求される。

そこで、我々はこのような問題を考慮し、操作性の向上とPHSという通信インフラを利用して脳波データを通信できる遠隔脳波検出技術の開発を行う。この機器の開発によって、様々な環境で測定できるようになり、このことからスポーツ選手の成績向上に貢献することを目的としている。

II. システムの構成

システム全体の構成を図1に示す。このシステ

ムは脳波測定の測定器とPHS、そして情報を処理するマイクロコンピュータ及びパーソナルコンピュータで構成される。

1. システムの設計と特長

脳波のデータを送受信するために必要な通信速度は制御信号を含め2400bpsである。PHSの通信速度は32000bps (実効29200bps)^{6,7)}であるため、この速度のデータ通信では転送量にまだ余裕がある。このため例えば心拍のデータなどを同時に送信することができる。また、PHSという既存の通信インフラを利用することで、サービスエリア内であれば様々なところで測定できる。

検出器側のPHSの制御やデータ通信の制御はマイコンが行っている。操作手順がプログラムされているためあまり高度な操作を要求されることはない。

2. PHS通信システム

このシステムではPHSのデータ通信システムを利用している。

PHSはもともと音声用の通信システムであったが、旧PHSインターネットアクセスフォーラム (現 MITF) が策定したPIAFS: Personal handy-phone system Internet Access Forum Standardという通信用規格によってデータ通信が出来るようになった。この規格にはエラー訂正なども含まれており、データ通信速度も高速である⁷⁾。

我々が用いた送信用PHS端末には(株)日本無線通信製NDT-900Aを用い、受信用PHS端末には(株)DENSO製AJ-32を使用している。通信網にはTTNet PHS網を使用する。

3. マイクロコンピュータによる制御

測定器の操作性を向上させるため、PHSの制御を初めとする被験者に装着された装置の制御にはマイクロコンピュータを使用している。このマイコンに搭載されたプログラムは全てアセンブラを用いて記述している。実際の脳波測定器の操作はPHS、脳波測定器、制御器電源をいれ、スイッチ

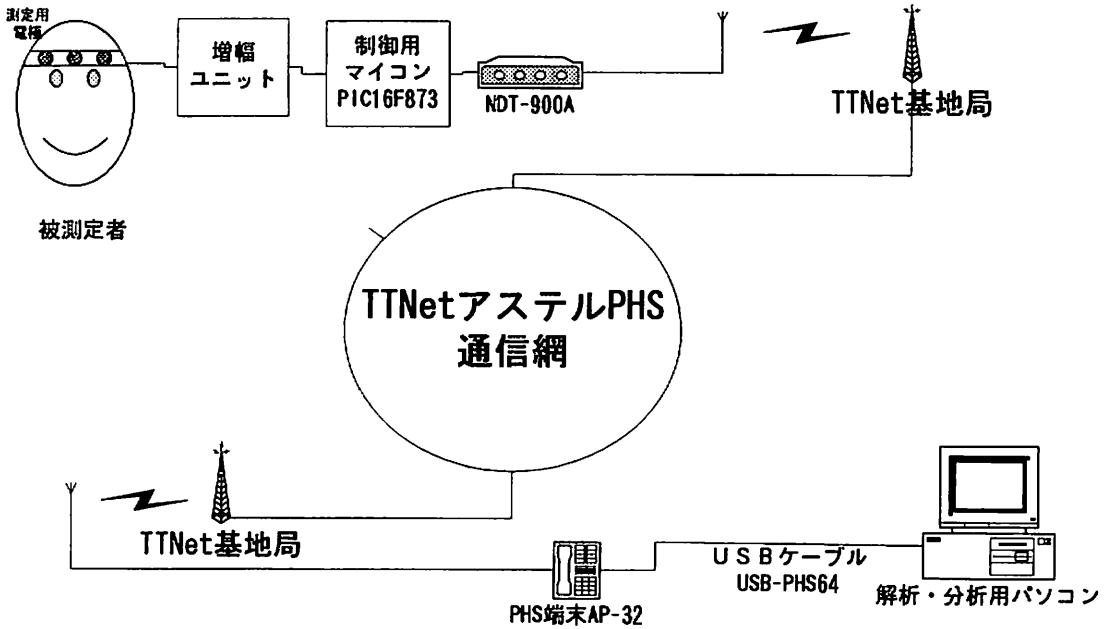


図1 システム構成図
Fig. 1 System Composition

を一つ押せば自動で通信を確立する。

4. データ伝送

データ伝送のインターフェイスを図2に示す。脳波測定器から送られたデジタルデータはマイコンへと送られる。その送られたデータは前述マイコンで処理される。マイコンでの内部処理をデータ受信の内部ブロック図3に示す。データの受信はポートよりシリアルで受信し、データ通信の速度変換をおこなうためUSARTモジュールからNDT-900Aへと通信される。NDT-900Aのダイアリングはマイコンによって自動的に行われる。データを受信したAJ-32からはPIAFS32のUSBアダプタを経由し、パソコンへと送信され、測定用パソコンへと伝送される。

5. データ分析

送られてきたデータの分析はFFT：高速フーリエ変換を用いているが、このままでは高調波ノイズが発生するため、Hamming窓関数を用いて変換をしている。

そして変換したデータを出力、周波数、時間の

3次元で表示している。

Ⅲ. 動作検証

前述のシステムを構築し、データ伝送の動作を確認した。データ伝送の確認には脳波測定器に正弦波(10Hz：17μV)を入力するという実験を行った。正常にデータが送信されていることが実証された。測定用パソコンの動作結果を図4に示す。

また、システムのデータ送信時にエラーが発生しないか確認した。このシステムにおいてはシステムのバッファ等の要素もあるため、若干の伝送までの待ち時間が存在するが、その待ち時間後において30分測定した後に受信パソコンやマイコン、測定用パソコンにおけるバッファオーバーフローなどの問題は発生しなかった。

Ⅳ. まとめ

マイコンによる制御回路、脳波測定器、測定用

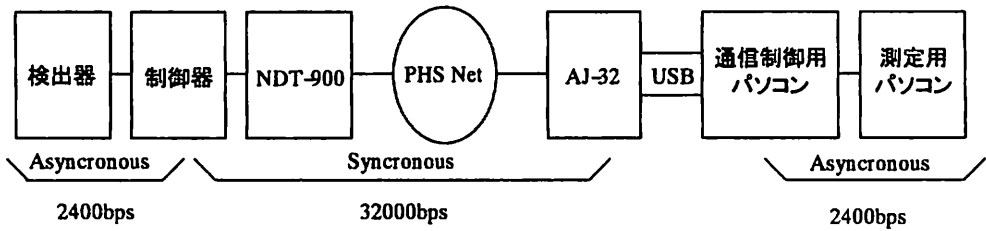


図2 データ伝送のインターフェイス
Fig. 2 Data Transfer Interface

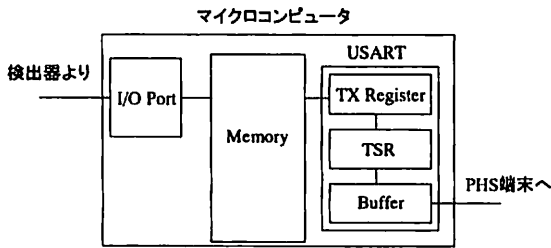


図3 内部ブロック図
Fig. 3 Internal Block Diagram

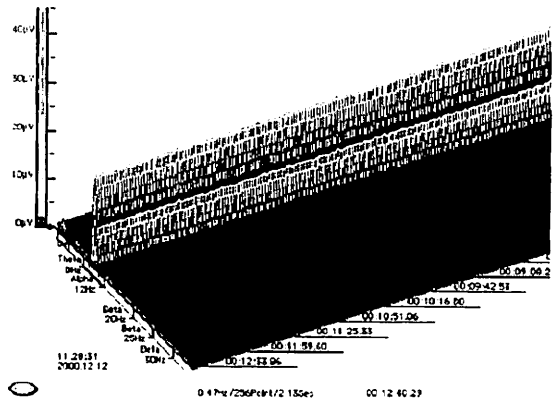


図4 測定用パソコン動作結果
Fig. 4 Working Result of Measuring PC

パソコン構成されるリアルタイム遠隔脳波検出システムを開発した。このシステムの利点は遠隔地であっても測定器のみで測定が行え、操作も容易なことである。そしてこのシステムの動作実験を行うため、リファレンス信号を脳波測定器に直接入力した。結果として若干のタイムラグも確認されたが、正常に通信することができた。

今回のシステムでは測定用パソコンの前段に通信制御用パソコンを配置して通信データ処理を行い測定用パソコンに送信するという形式をとったが、将来は、測定用パソコンだけで受信できるようにする予定である。また、マイコンによって操作性を向上させることが出来たが、電源がそれぞれ独立であることや、パソコン側の受信設定もあらかじめ行っておく必要があるなど、改善すべき問題も多い。続けて研究を行っていく必要がある。

また、今後このシステムを実際に被験者に設置し、テストを行う予定である。

参考文献

- 1) 小林 篤：相手チームの力量に対する予測と認知がチームの志気に及ぼす影響，*体育学研究*，Vol. 5, No. 2, 15-20.
- 2) Jacobson, E.: *Progressive Relaxation*, Univ. Chicago Press, 1929.
- 3) J. H. Schultz, Luthe, W.: *The Autogenic, Training*, Grune & Stratton, 1959.
- 4) Ernst Niedermeyer, Fernando Lopes da Silva: *Electroencephalography 4th ed.*, Lippincott Williams & Wilkins, 1999.
- 5) Random Electronics Design Incorporated, Tokyo, Japan.
- 6) PIAFS 2.2仕様書, *Mobile Internet Access Forum*, 2000.
- 7) 大和 哲：PIAFSとは，ケータイ用語の基礎知識第16回，<http://k-tai.impress.co.jp/column/keyword/2000/10/17/>, 2000.

生体組織のマイクロ波誘電分光と 含水量測定

林 義人 (理学部物理学科) 原本泰雅 (理学部物理学科)
新屋敷直木 (理学部物理学科) 八木原晋 (理学部物理学科)
栗田太作 (医学部内科) 灰田宗孝 (医学部内科)
塩谷壽美恵 (医学部内科) 篠原幸人 (医学部内科)
福崎 稔 (東京短期大学部)

Microwave Dielectric Spectroscopy and Determination of Water Content for Tissue *in Vivo*

Yoshihito HAYASHI, Yasumasa HARAMOTO, Naoki SHINYASHIKI,
Shin YAGIHARA, Daisaku KURITA, Munetaka HAIDA, Sumie SHIOYA,
Yukito SHINOHARA and Minoru FUKUZAKI

Abstract

We have proposed a new approach to determine water content for tissue *in vivo* through microwave dielectric measurements via a time domain reflectometry (TDR) method using flat-end probes. Dielectric spectra observed on human skin of finger were drastically changed by soaking in 37 °C water during 30 minutes because of change in water content. The high frequency relaxation process observed around 10GHz was due to reorientation of free water molecules, and the water content can be determined from the dielectric strength $\Delta\epsilon_k$. A recovery process of the skin was also observed, and time dependence of the water content was examined. On the other hand, the water content estimated from TDR measurements depended on weight of a slug that is one of the most useful samples to control the water content *in vivo*. Furthermore, the water content was detected on healing process of human skin of face damaged by hydrofluoric acid. During the first six days, the water content of the damaged skin was significantly lower than normal skin. This difference disappeared after twelve days, since the damaged tissue had healed up. The present work suggests that TDR measurement is useful and effective method to determine water content, and will be applicable to a diagnosis.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 13, 76-84, 2001)

Ⅰ. はじめに

生体内の水は、発汗や血液粘度の変化などに関わるだけでなく、エネルギー源となる物質や疲労物質の輸送、代謝反応、DNAやタンパク質の構造安定化や機能発現など、生命現象発現のあらゆる場面で様々な役割を果たしている。従って、スポーツ医学の分野においても生体内の水の状態を知ることが重要であることは容易に理解できるであろう。これまで、生体組織の含水量を *in vivo* で測定する方法としてコンダクタンス計測が広く行われてきた¹⁾。しかし、この方法が与えるのはあくまでも相対的な含水量に関連すると仮定されたコンダクタンス値であり、正しい含水量への換算は保証されていない。近年、時間領域反射法 (TDR法)²⁻⁵⁾ によるマイクロ波誘電緩和測定が、接触式の電極を用いて肺組織⁶⁾ や筋肉⁷⁻⁹⁾、脳^{9,10)}、ヒトの皮膚¹¹⁻¹⁴⁾ や食品¹⁵⁾ などに対して行われ、自由水量などについて議論されるようになった。この方法が優れている点は、生体組織内の水分子の運動を直接観測できることなどである。しかし、依然として生体組織の含水量や水の液体構造を *in vivo* で簡便に定量的に測定する方法が確立されたとは言い切れず、データの不足は否めない。特に、システムティックに含水量を調節した試料系での基礎データの蓄積がこれまで不十分であった。

生体内の水はその運動性や液体構造の違いによっていくつかに分類することが可能である。結合水と呼ばれる水は、DNAやタンパク質分子と直接水素結合し、さらに結合水どうしも互いに水素結合を行ってネットワーク構造を形成している¹⁶⁻²⁵⁾。DNA水溶液やタンパク質水溶液の誘電緩和測定によって、結合水の再配向による緩和過程が25℃で100MHz付近に観測されている。結合水のように生体分子に結合していない水を自由水と呼び、誘電緩和測定では数ギガ~数十ギガヘルツ領域に観測される¹⁹⁻²¹⁾。細胞内外を満たす水の大部分は自由水であるが、その液体構造はピュアな水と完全

に同じとは限らない²⁶⁾。生体組織を凍結させた場合、全ての自由水が氷になるわけではなく一部は凍らずに残る²⁷⁾。このような水を不凍水と呼び、寒冷地に住む生物などでは凍結による障害から組織を守る働きをしている。低温でも凍らない水という意味では、結合水も同様であるが、誘電緩和測定では自由水由来の不凍水と、結合水とを別々の緩和過程として観測することができる^{22,23)}。

本研究では、*in vivo*でのTDR測定による含水量評価法を構築し、系統的に含水量を変化させたヒトの皮膚(手指の腹)やナメクジを測定し、この評価法の有用性を議論した。また、フッ化水素酸によってダメージを受けた皮膚の治療過程を測定し、含水量測定による生体組織の健全性の診断が可能であることを示した。

Ⅱ. 実験方法

1. TDR法

TDR法による誘電緩和測定の原理はすでにいくつかの論文にまとめられている²⁻⁵⁾。まず、パルスジェネレータによって立ち上がり時間35psec、電圧200mVのステップパルスを立ち上げ、これを高周波同軸ケーブルを通してその先端に取り付けた電極に入射する。図1に示すように、電極部分は同軸ケーブルと同様な構造をしてお

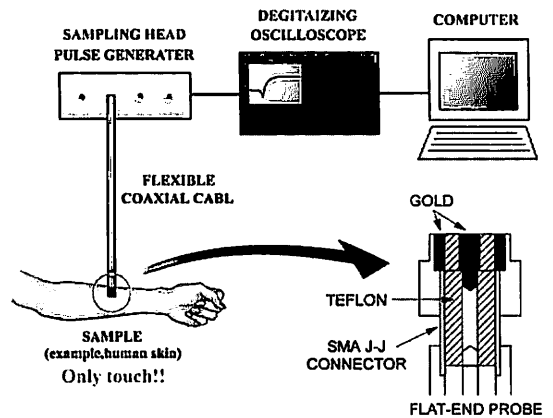


図1 TDRシステム
Fig. 1 TDR system

り、試料表面に接触させて使用する。入射波は電極と試料との界面でインピーダンスのミスマッチにより反射して同軸ケーブルを逆向きに戻って来る。この反射波には試料の複素誘電率の情報が含まれているので、この信号を時間軸に対する電圧変化として観測して記録する。次にコンピュータ上でフーリエ変換を伴う解析をすることによって誘電率の周波数特性を連続スペクトルとして得ることができる。このようにTDR法を用いた誘電緩和測定では小さな電極を試料に接触させるだけで簡便に測定を行うことができるため、例えばフィットネスなどの運動中にリアルタイムに測定するというような応用も今後可能である。

2. ヒト手指腹部の皮膚の測定

著者の一人が被験者となり左手中指の腹部を測定した。測定では外部導体の内径が10mm、電気長 $\gamma d = 520\mu\text{m}$ の電極を用いて200kHz～6 GHzの周波数域で行った。まず、コントロールとして何も処理を行っていない状態で手指の腹の測定を行い、その後、37℃のお湯に30分間、手首から先を浸した。お湯から出してすぐに表面についた水を拭き取り誘電測定を行った。このとき、指の腹は水を吸ってしわができていたので、電極が隙間なく接触するように注意した。再現性を確認するために、実験は日を改めて2回行った。2回目の実験では、お湯に浸した後、また元の状態に戻

っていくまでの経時変化を調べるために、180分にわたって10回の測定を行なった。

3. ナメクジの測定

野外で捕獲したナメクジを飼育しておき、それを用いてTDR法による誘電緩和測定を行った。測定部位はナメクジの腹部とし、電極は接触式で電気長 $\gamma d = 160\mu\text{m}$ のものを用いた。まず、ナメクジの体重を測定し、その直後に誘電緩和測定を行った。その後、数分間乾燥したガラス製のシャーレの中を這わせることで、ナメクジは粘液を出して、体重が減少する。このような体重測定と誘電測定を繰り返し、異なる体重での誘電緩和測定を4回行った。また、キムワイブを用いて強制的に水分を減少させたナメクジの誘電緩和測定も行った。

4. 薬品障害を受けた皮膚の治癒過程と含水量

少量のフッ化水素酸が飛散して顔面に薬傷を受けた被験者の皮膚の治癒過程を12日間に渡って測定した。図2左はフッ化水素酸によって皮膚にダメージを受けてから2日後の写真であり、図2右は20日後（治癒後）の写真である。TDR法による誘電緩和測定には、電気長 $\gamma d = 160\mu\text{m}$ の接触式電極を用いた。また、コントロールとしてダメージを受けていない顔面皮膚も同様に測定した。

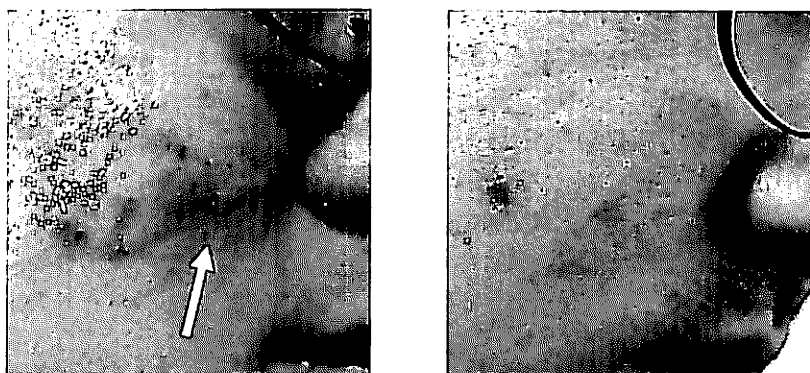


図2 フッ化水素酸によってダメージを受けた顔面皮膚の写真
左：2日後、右：20日後（治癒後）

Fig. 2 Pictures of human skin on face damaged by hydrofluoric acid
Left: after 2 days, Right: after 20 days (healed up)

Ⅲ. 生体組織の誘電分光測定結果

図3 Aは手指の腹をお湯に浸した前と直後の誘電測定結果を示している。お湯に浸すことによって、誘電率の実部と虚部のどちらも中間周波数域から高周波数領域にかけて増加することが分かる。得られた複素誘電率 $\epsilon^*(\omega)$ は図3 Bに示すように次式によって4つの緩和過程に分離された。

$$\epsilon^*(\omega) - \epsilon_\infty = \frac{\Delta\epsilon_{11}}{1+j\omega\tau_{11}} + \frac{\Delta\epsilon_{12}}{1+j\omega\tau_{12}} + \frac{\Delta\epsilon_m}{\{1+(j\omega\tau_m)^{2m}\}^{1/2m}} + \frac{\Delta\epsilon_h}{1+(j\omega\tau_h)^{2h}} \quad (1)$$

ここで、 j は虚数単位、 ϵ_∞ は光学的領域における誘電率、 $\Delta\epsilon$ は緩和強度、 τ は緩和時間、 a と β は緩和時間分布をあらわすパラメータである。また、添え字11、12、 m 、および h はそれぞれ、低

周波域第1緩和11、低周波域第2緩和12、中間周波数域の緩和過程 m 、および高周波域の緩和過程 h を示している。

高周波側の緩和過程 h は自由水分子の回転拡散運動によるものである。自由水による緩和過程は、タンパク質水溶液²¹⁻²⁴や合成高分子水溶液²⁶、肺組織⁶、筋肉組織⁷⁻⁹、脳組織^{9,10}、食品¹⁵など多くの試料でも、本研究と同様の周波数域に観測されている。生体組織内の水の大部分は、このような自由水であることが分かっている²⁹。

その他の緩和過程についてはそれぞれいくつかの可能性が指摘されており、その緩和メカニズムは未だに確定しているわけではない。しかし、最近のNaito等による皮膚の誘電的研究によると、緩和過程 m のメカニズムとして最も有力な可能性は生体組織の不均一性に起因する界面分極である¹⁴。その他の可能性としては、結合水の回転拡散運動、カウンターイオンプロセスなどのイオン性緩和、生体高分子の分子運動、電極分極などやこれらの重なり合ったものが考えられる^{17,18}。こ

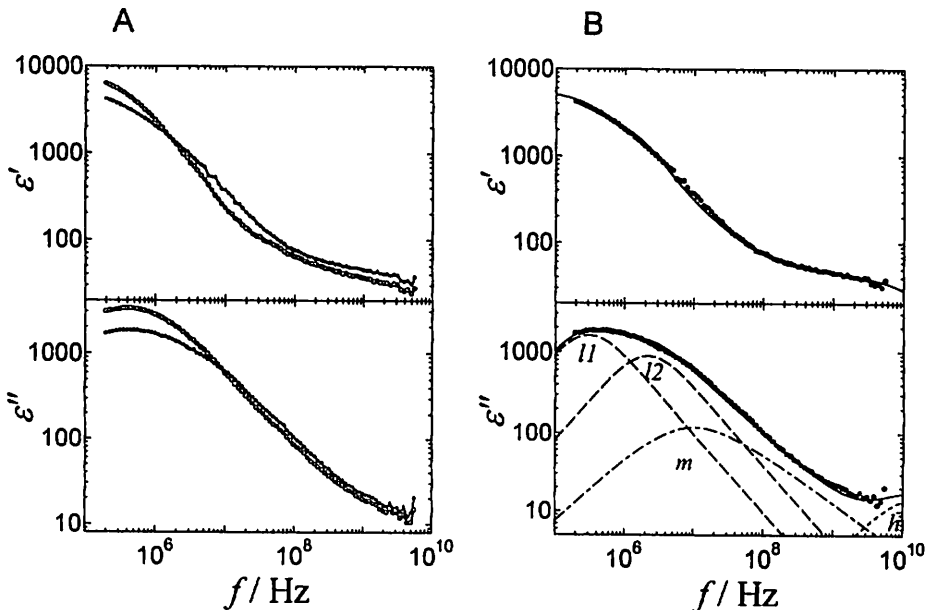


図3 A：ヒト手指皮膚の誘電分散および誘電吸収曲線：もとの状態(●)；30分間37℃のお湯に浸した後(○)。B：お湯に浸した皮膚における式(1)によるパラメータフィッティングの結果

Fig. 3 A: dielectric dispersion and absorption curves for human skin of finger: intact (●); soaked in 37°C water during 30 minutes (○). B: result of parameter fitting by eq. (1) for the skin that soaked in 37°C water during 30 minutes

のように、中低周波域の緩和メカニズムは複雑であるが、今後これらが実験的に検証されれば、細胞や組織の状態、DNAやタンパク質などの生体高分子、及びイオンなどの量や状態について、TDR法による簡便な測定による評価が可能になるはずである。本研究では自由水の測定と評価に主眼を置いているので、自由水以外の緩和過程についてのこれ以上の議論はここでは割愛することにする。

図4にはナメクジ、図5にはフッ化水素酸によってダメージを受けた顔面皮膚の誘電緩和測定の結果を示す。ナメクジの含水量変化や、フッ化水素酸による皮膚へのダメージによって測定結果が大きく変化することが分かる。これらの測定周波数域は、手指の腹の測定と比べると高周波領域に限ったものであるが、自由水を評価するためには十分である。実験によって得られた複素誘電率は、図4 B、5 Bに示すように次式によって3つのデバイ型緩和に分離された。

$$\varepsilon^*(\omega) - \varepsilon_\infty = \frac{\Delta\varepsilon_l}{1+j\omega\tau_l} + \frac{\Delta\varepsilon_m}{1+j\omega\tau_m} + \frac{\Delta\varepsilon_h}{1+j\omega\tau_h} \quad (2)$$

ここで、高周波側に観測された緩和過程 h が生体組織中に含まれる自由水の回転拡散運動によるものであり、その緩和強度、 $\Delta\varepsilon_h$ から生体組織の含水量を評価することができる。なお、緩和過程 l 及び m のメカニズムについては、式(1)を用いたお湯に浸した手指腹部の場合の緩和過程 l_1 、 l_2 及び m と同様に未だに確定しているわけではない。可能性として考えられるものは、界面分極、結合水、カウンターイオンプロセスなどのイオン性緩和、生体高分子の分子運動、電極分極、および、これらの重なり合ったものである^{17,18)}。

IV. 生体組織の含水量評価と診断への応用

緩和強度 $\Delta\varepsilon_h$ は単位体積中に含まれる自由水の質量 C_f や、水分子が凝集して形成する液体構造(クラスター構造)に依存する。ここで、生体組

織中の自由水の液体構造が純水のそれと同じであると仮定すると、 C_f を次式によって求めることができる。

$$C_f = (\Delta\varepsilon_h / \Delta\varepsilon_w) C_w \quad (3)$$

ここで、 C_w は純水の密度、 $\Delta\varepsilon_w$ は純水の緩和強度であり、すでに様々な温度における精密測定による文献値が存在しているので、それらを用いて生体組織中の自由水量を見積もることができる。生体組織の含水量は、ほぼ自由水量に等しいと考えてよい。

図6は、37℃のお湯に30分間浸した後の手指の含水量(体積百分率)の経時変化を、式(3)を用いて求めた結果である。このとき、 $\Delta\varepsilon_w$ には25℃の純水の値、73.03を用いた。お湯に浸したことによって皮膚が水を吸い込み、含水量は約12%増加した。その後、約100分に渡って含水量は時間と共に減少した。これは、皮膚組織中の過剰な水が体内に拡散したり、表層から体外に蒸発したためだと考えられる。特に60分以降ではお湯に浸す前よりも乾燥が進むことが分かった。130分以降から含水量は緩やかな増加に転ずるが、200分弱経過しても元の値にまでは回復しなかった。このような現象は、長時間お湯に浸したことによって、皮膚内の保水物質(タンパク質や糖など)の一部が失われたり、角質層内に含まれる脂質量が減少して水の蒸発量が増加したためではないかと考えられる。また、これらの回復には少なくとも200分以上の時間が必要だということも分かる。

Naito等の報告によると、接触式電極を用いたTDR測定によって、電気長 γd の数倍程度の深さまでの情報が得られることが示されている³⁰⁾。この測定に用いた電極の電気長は520 μm であるから、表層から約200 μm までの表皮(角質層、顆粒層、有棘層、基底層)とその下の真皮の一部を見ていることになる。以前行われた電気長50 μm の電極を用いた手指腹部の測定では、角質層(約100 μm)の水を見ていることになり、含水量を計算すると約16%であることが分かった¹⁴⁾。今

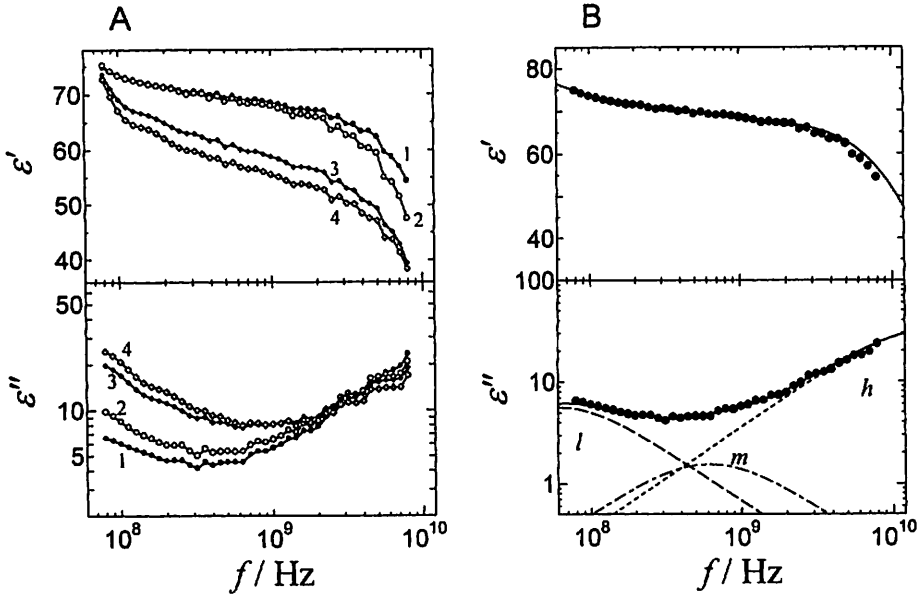


図4 A: 体重をコントロールしたナメクジの誘電分散および誘電吸収曲線 (1: もとのまま, 2: 18% 減少, 3: 36%減少, 4: 46%減少). B: 体重を減少させていないナメクジにおける式 (2) によるパラメータフィッティングの結果

Fig. 4 A: dielectric dispersion and absorption curves for slugs controlled weight (1: intact, 2: decreased 18%, 3: decreased 36%, 4: decreased 46%). B: result of parameter fitting by eq. (2) for the intact slug

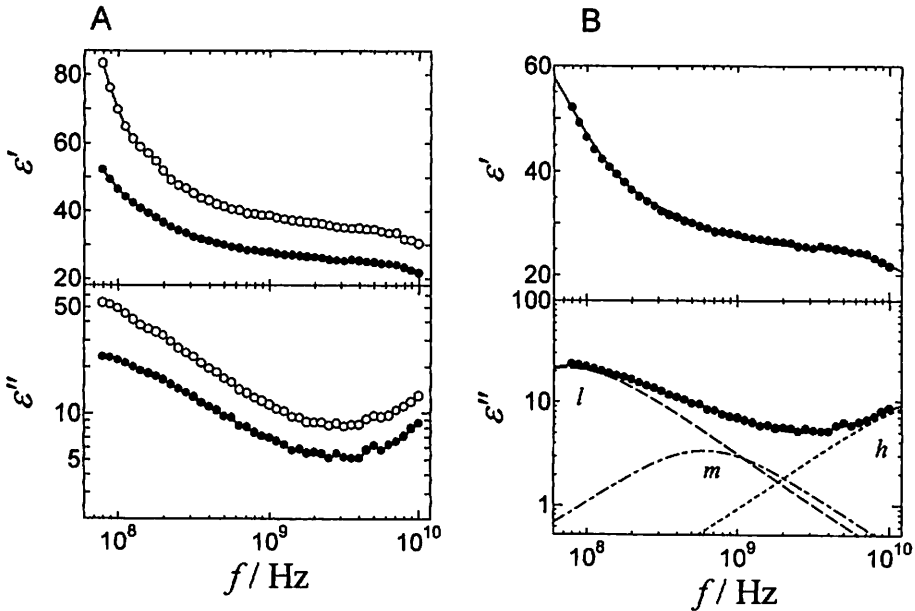


図5 A: ヒト顔面皮膚の誘電分散および誘電吸収曲線: フッ化水素酸によってダメージを受けた皮膚 (●); 正常皮膚 (○). B: フッ化水素酸によってダメージを受けた皮膚における式 (2) によるパラメータフィッティングの結果

Fig. 5 A: dielectric dispersion and absorption curves for human skin of face: damaged by hydrofluoric acid (●); normal (○). B: result of parameter fitting by eq. (2) for the damaged skin

回の測定でお湯に浸す前の含水量が約34%であることから、表層付近は深部よりもかなり乾燥していることが分かる。また、発汗によって含水量が増加した皮膚を電気長217 μ mの電極を用いて測定した結果では、含水量が元の値に戻るまで約15分かかることが示されている¹¹⁾。この時間は、図6に示した本研究の結果と比べて明らかに短く、このことから、比較的表層に近い部位に含まれる過剰な水の拡散や蒸発は深部よりも非常に速いことが分かる。このように、測定に用いる電極の電気長を変えることで、表層から様々な深さまでの情報を選択的に得ることが可能である。さらにその測定精度は非常に優れており、例えば、マグロの含水量測定を行った場合の標準偏差は2.6%であった²⁹⁾。

図7はナメクジの体重変化と含水量の関係を示している ($\Delta \epsilon_s$ には室温24 $^{\circ}$ Cの純水の値73.37を用いた)。ナメクジを乾燥したシャーレの上で這わせると粘液を放出して体重が減少する。このとき、体重だけではなく体積も減少する。ナメクジが放出する粘液を採集してその含水量をTDR法による誘電測定から式(3)を用いて求めたとこ

ろ、約80%だった。図7から分かるように、もともとナメクジは80%以上の水を含んでいたわけだから、含水量80%の粘液を放出してもナメクジの含水量はほとんど変化しないはずである。それにも関わらず体重の減少に伴う含水量の変化が見られたことは、ナメクジの身体の含水量に勾配があり、外側が内側よりも高くなっていることを示している。ナメクジには一定量以上の粘液が失われて生命の危険にさらされた状態では、表層付近の含水量が減少し、動きを止めてそれ以上の水分の減少を防ぎ、乾燥から身を守るといった機能や行動様式が備わっていると解釈することが可能である。その場合、図7に示された含水量変化は単に直線的なものではなく点線で示したようなS字曲線で変化しているとも考えられる。このとき、体重の約30%に相当する粘液が失われるとナメクジは生命の危険を感じるということができる。现阶段でこの真偽を決定することはしないが、今後、測定ポイント数を増やすことなどで比較的容易に判定できるはずである。

図8は、フッ化水素酸によってダメージを受けた顔面皮膚の治療過程にともなう含水量変化を示

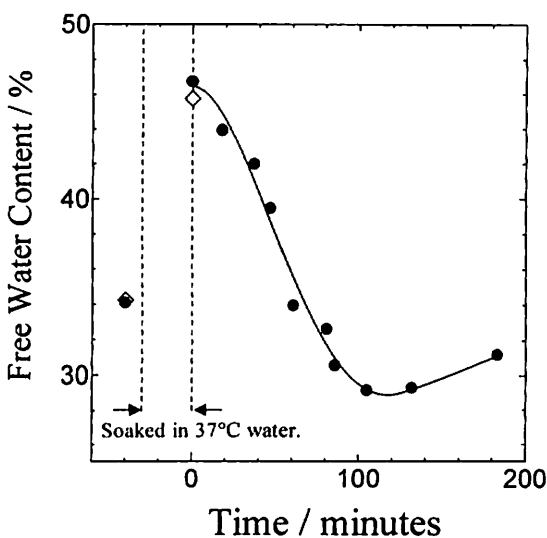


図6 37 $^{\circ}$ Cのお湯に30分間浸したヒトの手指の皮膚における自由水量の時間変化
Fig. 6 Time dependence of free water content for human skin of finger soaked in 37 $^{\circ}$ C water during 30 minutes

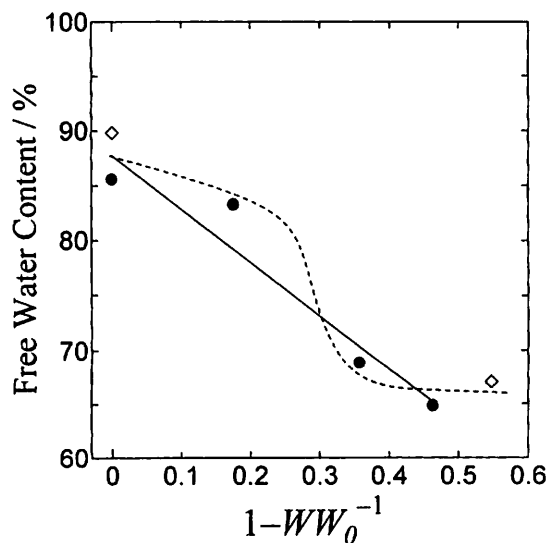


図7 ナメクジの自由水量の体重依存性
Fig. 7 Weight dependence of free water content for slugs (W_0 : original weight of slugs; W : weight of slugs)

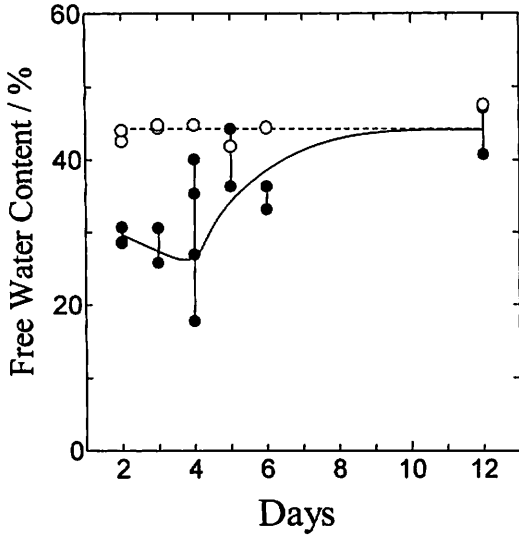


図8 ヒト顔面皮膚の含水量：フッ化水素酸によってダメージを受けた皮膚(●)；正常皮膚(○)
 Fig. 8 Free water content for human skin of face: damaged by hydrofluoric acid (●); normal (○)

している ($\Delta\epsilon_w$ には30℃の純水の値71.16を用いた)。ダメージの受け具合は部位によってばらつきがあると考えられるので、最低2ヶ所の測定部位で実験を行った。コントロールとして測定した正常顔面皮膚は、測定日によらずにほぼ一定の含水量を示しているが、ダメージを受けた部分は日を追って変化していることが分かる。ダメージを受けてから数日間は、正常な皮膚と比べて10%以上も含水量が低いことが分かる。3日目から4日目にかけて、古い皮膚がかさぶたとなって脱落した。4日目の測定で、測定部位によるばらつきが大きいのはそのためではないかと考えられる。12日目には正常皮膚との有意差はなくなり、治癒したことが分かる。このような新たな皮膚の形成に伴う含水量の経時変化は、火傷の治癒過程の測定においても見出されている²⁹⁾。今後このような基礎データを蓄積することで、皮膚の健全性を簡便に診断したり皮膚移植後の定着を判断することなどが可能になると考えられる。

本研究によって、生体組織の含水量を簡便なTDR法による誘電緩和測定によって正確に評価できることが示され、健全性の診断にも応用できることが分かった。このとき、測定に使用する電

極の電気長を変えることで測定深さをコントロールすることができる点も注目に値する。今後、自由水が観測される高周波領域だけでなく、中低周波数領域の緩和メカニズムが解明されれば、様々な階層(組織、細胞、生体高分子、水)における生体の情報をこの手法で評価することが可能となるだろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なご意見を戴きました東海大学文明研究所所長山上明博士と東海大学文明研究所助教授谷晋博士に厚く御礼申し上げます。また、実験の一部を手伝っていただいた東海大学工学部電子工学科の林伸樹氏、東海大学理学部物理学科の永井満雄氏、配野真実さん、比嘉拓美氏、中野厚氏に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) M. A. Lampe, A. L. Burlingame, J. Whitney, M. L. Williams, B. E. Brown, E. Roitman, and P. M. Elias: Human stratum corneum lipids: characterization and regional variations. *J. Lipid Res.* 24: 120-130, 1983.
- 2) R. H. Cole: Evaluation of dielectric behavior by time domain spectroscopy. I. Dielectric response by real time analysis. *J. Phys. Chem.* 79: 1459-1469, 1975.
- 3) R. H. Cole: Evaluation of dielectric behavior by time domain spectroscopy. II. Complex permittivity. *J. Phys. Chem.* 79: 1469-1474, 1975.
- 4) R. H. Cole, S. Mashimo, and P. Winsor, IV: Evaluation of dielectric behavior by time domain spectroscopy. 3. Precision difference methods. *J. Phys. Chem.* 84: 786-793, 1980.
- 5) S. Mashimo, T. Umehara, T. Ota, S. Kuwabara, N. Shinyashiki, and S. Yagihara: *J. Mol. Liquid* 36: 135-151, 1987.
- 6) N. Miura, S. Shioya, D. Kurita, T. Shigematsu, and S. Mashimo: Time domain reflectometry: measurement of free water in normal lung and pulmonary edema. *Am. J. Physiol.* 276: L207-L212, 1999.
- 7) 栗田太作, 灰田宗孝, 篠原幸人, 古橋栄介, 新屋敷直木, 三浦信廣, 真下悟: 骨格筋の強縮に伴

- う水のダイナミクス, 東海大学スポーツ医科学雑誌 6 : 80-87, 1994.
- 8) 栗田太作, 灰田宗孝, 篠原幸人, 古橋栄介, 三浦信広, 新屋敷直木, 真下悟: 骨格筋における自由水の特性, 東海大学スポーツ医科学雑誌 7 : 99-104, 1995.
- 9) D. Kurita, M. Haida, Y. Shinohara, E. Furuhashi, N. Miura, N. Shinyashiki, S. Yagihara, and S. Mashimo: Dielectric study on tissue water by a time domain reflectometry method, Proc. School Sci. Tokai Univ. 32: 85-94, 1998.
- 10) 栗田太作, 灰田宗孝, 篠原幸人, 櫛田昌希, 梅原利宏, 真下悟: TDR法によるラット細胞障害性脳浮腫に関する検討, 産業科学研究所研究報告 23: 21-25, 1992.
- 11) 真下悟: マイクロ波先端技術を用いた発汗時の皮膚含有水の構造と物性に関する研究, 東海大学スポーツ医科学雑誌 1 : 64-71, 1989.
- 12) 梅原利宏, 三浦信広, 櫛田昌希, 真下悟, 古谷嘉邦: 筋肉運動負荷時の皮膚(皮下組織)の水の構造, 東海大学スポーツ医科学雑誌 3 : 63-67, 1991.
- 13) S. Naito, M. Hoshi, and S. Mashimo: In vivo dielectric analysis of free water content of biomaterials by time domain reflectometry, Anal. Biochem. 251: 163-172, 1997.
- 14) S. Naito, M. Hoshi, and S. Yagihara: Microwave dielectric analysis of human stratum corneum in vivo, Biochim. Biophys. Acta 1381: 293-304, 1998.
- 15) 石原良美, 齋藤寛, 真下悟, 高野二郎: 水分含有量によるのりの評価, Nippon Suisan Gakkaishi 60: 389-390, 1994.
- 16) E. H. Grant: Electric behaviour of egg albumin solutions at ultra-high frequencies, Nature 196: 1194-1195, 1962.
- 17) S. Takashima: Electrical properties of biopolymers and membranes, IOP Publishing Ltd., 1989.
- 18) R. Pethig: Dielectric and electric properties of biological materials, John Wiley & Sons Ltd., 1979.
- 19) T. Umehara, S. Kuwabara, S. Mashimo, and S. Yagihara: Dielectric study on hydration of B-, A-, and Z-DNA, Biopolymers 30: 649-656, 1990.
- 20) N. Shinyashiki, N. Asaka, S. Mashimo, S. Yagihara, and N. Sasaki: Microwave dielectric study on hydration of moist collagen, Biopolymers 29, 1185-1191, 1990.
- 21) N. Miura, N. Asaka, N. Shinyashiki, and S. Mashimo: Microwave dielectric study on bound water of globule proteins in aqueous solution, Biopolymers 34: 357-364, 1994.
- 22) N. Miura, Y. Hayashi, N. Shinyashiki, and S. Mashimo: Observation of unfreezable water in aqueous solution of globule protein by microwave dielectric measurement, Biopolymers 36: 9-16, 1995.
- 23) N. Miura, Y. Hayashi, and S. Mashimo: Hinge-bending deformation of enzyme observed by microwave dielectric measurement, Biopolymers 39: 183-187, 1996.
- 24) Y. Hayashi, N. Miura, J. Isobe, N. Shinyashiki, and S. Yagihara: Molecular dynamics of hinge-bending motion of IgG vanishing with hydrolysis by papain, Biophys. J. 79: 1023-1029, 2000.
- 25) S. Mashimo, S. Kuwabara, S. Yagihara, and K. Higashi: Dielectric relaxation time and structure of bound water in biological materials, J. Phys. Chem. 91: 6337-6338, 1987.
- 26) Y. Hayashi, N. Miura, S. Shinyashiki, and S. Yagihara: Globule-coil transition of denatured globular protein investigated by a microwave dielectric technique, Biopolymers 54: 388-397, 2000.
- 27) 栗田太作, 灰田宗孝, 篠原幸人, 古橋栄介, 三浦信広, 新屋敷直木, 真下悟: 骨格筋における不凍水の特性, 東海大学スポーツ医科学雑誌 8 : 55-60, 1996.
- 28) N. Shinyashiki, S. Yagihara, I. Arita, and S. Mashimo: Dynamics of water in a polymer matrix studied by a microwave dielectric measurement, J. Phys. Chem. B 102: 3249-3251, 1998.
- 29) Authors: unpublished results.
- 30) S. Naito, M. Hoshi, and S. Mashimo: A method of measuring surface permittivity by microwave dielectric analysis, Rev. Sci. Instrum. 67: 3633-3641, 1996.

スポーツ医科学研究会抄録

第7回

◎テーマ 運動部新入生の健康管理に関して—運動負荷テストの結果から—

三田信孝（体育学部社会体育学科、スポーツ医科学研究所研究員）

大学体育会運動部の学生に対して、大学生活におけるクラブ活動を安心して出来る様に、保健管理センターでは、定期健康診断に加えて体育学部学生の心電図検査やクラブ健康診断を行っている。しかし、これらは安静時のものであり、運動負荷により出現する潜在性の心疾患等については把握できない。実際に運動を行わせて検査を行う運動負荷テストが望まれるが、運動負荷テストを行うとなると、人的、金銭的負担が増加するため行われていない現状であった。そこで総合大学で有ることを活かし、人的、物的資源を活用し、金銭的には限られた中で、出来る限りの健康管理を行うことを目的に、THCSC（TOKAI HEALTH CARE OF SPORTS CLUB：東海大学運動クラブ健康管理研究会）が1986年に発足した。研究会に所属する運動クラブの新入生に対しては、毎年、全員の血液検査と運動負荷テスト（運動負荷心電図、形態測定、血圧測定等を含む）検査を実施してきている。在学生には、毎年、全員の血液検査と運動負荷心電図再検者の運動負荷テストなどを実施してきている。

研究会では、その活動結果からみた新入生の健康管理の問題や今後の課題などについて発表した。その内容は、以下の様であった。

THCSC所属クラブについては、クラブの意向により、この14年間に入れ替わりが有ったが、現在も継続しているクラブとして、男子がバレーボール部、サッカー部、柔道部、バドミントン部、ラグビー部、ハンドボール部、バスケットボール部が所属している。女子は、バレーボール部、柔道部、ハンドボール部、バドミントン部である。これらのクラブ以外からの申し出もあったが、運動負荷テストに関する施設、人的、時間的な問題などから、現在は、上記のクラブに成っている。本来ならば、全ての運動クラブに必要な事では有るが、難しい現状である。

運動負荷テストの流れとして、新入生は入学後の放課後を利用して、クラブ毎に順次運動負荷テストを受け、ほぼ春学期中に対象者全員の運動負荷心電図撮影が終わる。心電図は大学病院の循環器専門の医師に判読を依頼し、判読結果が戻ってきて、精密検査が必要な者がいる場合、大学病院へ紹介して、精密検査を受診している。受診時は、保健管理センターから紹介状を受け取り、運動負荷テストの心電図結果を持って、精密検査に臨んでいる。運動負荷テストを受けている新入生は、毎年男女合わせて約130～150名おり、その中の約1割が次年度の再検者となっている。クラブの監督者に

は、判読結果を示した再検者のリストを配布し、再検査受診の指導をお願いしている。各クラブ受診者全員の結果についても、全体会議で配布している。精密検査結果は、受診者が保健管理センターへ届け、その結果をクラブの監督者へ戻している。

1986年～1998年度の運動負荷テストの受診者は、男子1254名、女子237名、合計1491名であった。再検者は124名であった。

運動負荷心電図により、安静時には正常範囲であった者の中に、運動により不整脈などの異常所見を認め、より精密な検査が必要であるとされた者が約7%いた。安静時及び運動時、回復時の異常心電図所見としては、早期再分極、洞性不整脈、洞性徐脈、左心室肥大などのスポーツ心臓を示唆する所見が多く認められた。

安静時には認められず、運動中や回復時に認められた異常所見は、心室性期外収縮、上室性期外収縮等の不整脈やST低下、T波平低化、陰性T波などの虚血性変化を示した所見が多く認められた。運動負荷テストとは別に行っている血液検査結果から貧血症状を認める者も多く、栄養摂取状況の悪い学生がおり、その改善も必要とされる結果であった。また、入学以前より、異常所見が有ることを知っていながら、活動している者も認められ、検査の結果、運動を行う事を制限しなければ成らない者も認められた。

今後の課題として、現在行っている運動負荷テストは、運動部に所属する学生にとって是非必要とされる事であるが、一部の運動部のみに限って行われており、本来なら全ての運動部が実施するのが望ましく、大学としてその実施を考えていくべきである。

運動負荷テストは万能ではなく、内科的な診察から分かる様な異常もあり、その1例としては、バレーボール部の男子学生が死亡した件では、運動負荷テストの心電図結果では、異常を認めていなかった。しかし、専門の医師が内科的な診察を行えば、発見できた可能性も高いと考えられ、幅広い検査が必要である。更に、入学後の早い段階で運動負荷テストを行うには、現在、機材、人材、経費等が充分ではなくその確保が必要である。

第8回

◎テーマ 皮質骨の破壊じん性に及ぼすひずみ速度の影響について

菊川久夫 (医学部整形外科学)

1. はじめに

皮質骨の破壊挙動に関する研究は、主に静的モード I 荷重条件下について行われている¹⁾。しかし、交通あるいはスポーツ外傷など、衝撃的外力による骨の破壊メカニズムの解明に必要な、高速荷重下の破壊じん性評価についての報告例²⁾は少なく、骨の破壊挙動に影響を及ぼす因子と考えられる、骨の異方性や粘弾性挙動などの検討は

十分行われていない。

本研究ではウシ皮質骨より Compact Tension 試験片を作成し、準静的から高速負荷領域にわたる破壊じん性試験を行った³⁾。そして、試験片採取方向の異なる試験片における臨界応力拡大係数 K_{Ic} の負荷速度依存性について検討した。

2. 臨界応力拡大係数のひずみ速度依存性³⁾

図1に湿潤試験片における K_{Ic} (平均値±標準偏差)とひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関係を示す。図を見やすくするために片側の標準偏差のみ示してある。

オステオンの配向を横切って破壊が進展するT方向試験片の場合、準静的試験範囲において、 $\dot{\epsilon} = 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 以下ではほぼ一定値を示すものの、 $\dot{\epsilon} = 10^0 \text{ s}^{-1}$ では極端に減少した。一方、高速負荷領域においては、準静的範囲における K_{Ic} ほどではないが、明らかな増加を示し、さらにひずみ速度を増加させると再び減少した。オステオンの配向に沿って破壊が進展するL方向試験片についても類似の傾向を示した。

試験片採取方向による依存性は、準静的負荷領域では、T方向がL方向の約2倍高値を示すが、高速負荷領域においては準静的負荷ほど顕著な差は認められていない。

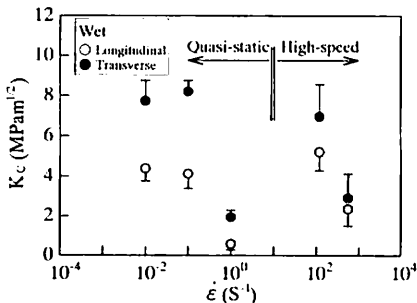


図1 皮質骨の臨界応力拡大係数のひずみ速度依存性
Fig. 1 Effect of strain rate on fracture toughness for wet specimen.

3. 考察^{3), 4)}

湿潤皮質骨L方向試験片の Compact Tension 試験法による破壊じん性評価は、ひずみ速度 $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ の範囲における静的負荷速度におけるデータが明らかにされている¹⁾。この領域ではひずみ速度の増加に伴いおおむね K_{Ic} は単調増加の傾向にあり、粘弾性体である骨の粘性的特性が関与していると推察する。T方向試験片についてもL方向試験片ほどのデータの蓄積はないものの、ほぼ同様の結果を生じること本実験結果からも予想できる。本研究では、これらの結果と従来までにほとんど行われていない、準静的から高速負荷領域における K_{Ic} のひずみ速度依存性について、本実験結果を含め検討した。

従来までに行われた研究成果と対応させて検討すると、準静的速度範囲では $\dot{\epsilon} = 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 近傍に K_{Ic} の極大値が存在し、以後、 $\dot{\epsilon} = 10^0 \text{ s}^{-1}$ で K_{Ic} 値の極端な低下を認める。この低下は、破断後の試験片観察よりある程度理解できる。つまり、L方向およびT方向試験片両者とも、 $\dot{\epsilon} = 10^0 \text{ s}^{-1}$ は $\dot{\epsilon} = 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ に比較し、凹凸の少ない破面を呈し

ており、より脆性的に破壊している。そのため吸収エネルギーが $\dot{\epsilon} = 10^0 \text{ s}^{-1}$ で相対的に低下したものと推察する。また、骨の場合、骨折に至らない程度の外力に対し、マイクロフラクチャーの発生²⁾が示唆されている。この発生過程に負荷速度依存性が存在し、臨界応力拡大係数値に影響を及ぼしたものと予想する。低ひずみ速度時においては、主亀裂の進展以前に、内部に有する微小空孔などより、すでに多くの微視破壊が始まり、これが吸収エネルギーの増加に寄与したものと考えられる。

なお、高ひずみ速度領域における応力拡大係数の増加メカニズムの解明については、今後の課題である。

参考文献

- 1) J. W. Melvin; Fracture mechanics of bone, J. Biomech. Eng., Vol. 115, 549-554, 1993.
- 2) 田辺裕治, W. Bonfield, K. E. Tanner : ウシ緻密骨の衝撃破壊特性, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, Vol. 17, 337-341, 1996.
- 3) 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, 327-333, 2000.
- 4) H. Kikugawa, T. Tomatsu and Y. Yasui: The fracture characteristics of bovine cortical bone, Journal of Japanese Society for Clinical Biomechanics and Related Research, Vol. 20, 193-196, 1999.

第9回

◎テーマ Plasma 粒子の組成からみた plasma metabolic field

Lujian XING (東海大学大学院体育学研究所)

岩垣承恒 (東海大学スポーツ医科学研究所)

山村雅一 (東海大学スポーツ医科学研究所)

<背景>

Plasmaにはいろいろな物質が粒子として存在している。これらの粒子の特徴、或いは粒子ごとの相互関係についての研究が推進されているにもかかわらず、plasma particle全体像 (image、即ちplasma中粒子の分布図) に関する報告は全く見受けられない。Plasma粒子の役割は、個々の粒子の特徴と共に全体のplasma particle image (PPI) により特徴づけられるはずであり、この意味からも、plasma particle全体像の意味は極めて重要であると考えられている。これまで我々はPPIの安定性と再現性、PPIパターンの特徴、運動における影響、長距離選手のPPIの特徴等について報告してきたが、本研究でその特徴と意味について検討した。

<研究方法>

①脂質の分析: Folchの方法でplasma粒子の脂質を抽出し、薄層クロマトグラフィ (F645, Merck) で中性脂質とリン脂質を展開分析した。②タンパク質の分析: タンパク質の定量はBradford法を用いた。タンパク質の分子量分析は10%アクリルアミド電

気泳動 (SDS-PAGE) 方法を用いた。③糖質の分析: plasma粒子を遠沈 (18000rpmで60分) した後、グルコースアナライザー (Stat Plus、2300型、YSI社) にて測定した。④Plasma粒子の染色: 染色用抗体は、CD45-FITC、CD42b-FITC、CD16-FITC、CD56-PE (Beckman Coulter) と、Annexin V-FITC、Propidium Iodine (医学生物研究所株式会社) を用いた。測定はflow cytometry (EPICS-ALTRA; Beckman Coulter) を用いた。

<結果>

Plasma粒子にはPhosphatidylethanolamine、phosphatidylcholine、phosphatidylserine、sphingomelineとコレステロール、中性脂肪、コレステロールエステル等の脂質の存在が確認された。心筋梗塞患者と健常者の間では、粒子の直径が $3\mu\text{m}$ を越えた場合、心筋梗塞患者の方に大量の中性脂質 (TG) の存在が確認できた。Bradford法により、1 mlのplasma粒子に9.19mgのタンパク質が測定された。上部にある20%の大きな粒子に対し3.99mgの、下部にある80%の小さな粒子に対し5.20mgのタンパク質が含まれていた。電気泳動した結果では、大小粒子の間には、分子量が75、60、40、18KDa前後のところに移動度の異なるタンパク質の存在が確認された。糖質の分析で、plasma粒子にはグルコースが含まれていないことが判明した。Plasma粒子の染色テストでは、長距離選手と心筋梗塞患者の間、場合により、CD42b、CD45、CD56、Annexin V、PIに一定の陽性率、又は陰性率を示した。

<考察>

FS (forward scatter) の大きいplasma粒子では、FSの小さい粒子に比較し、蛋白量がおおよそ2倍となり、さらに電気泳動の分析結果から見ると、この蛋白量は単にFSの小さな粒子の結合として存在しているのではなく、小さなFS粒子に見られない蛋白質を含有したFSであった。これらの結果から、FSの違いは特定蛋白の生成により形成されたものと考えられる。薄層クロマトグラフィーでの結果を見ると、心筋梗塞の場合plasma粒子はサイズの違いにより、脂質層にも著しい差が認められた。FSならびにPMT 1の違いはplasma中の脂質相の差異を表していると考えられる。

Plasma粒子をCD45-FITC、CD42b-FITC抗体で染色したところ、長距離選手のplasma中にはこれらの反応が認められた。さらにAnnexin Vによりphosphatidylserine、propidium iodineによりDNAの存在も認められた。Plasma particleにはこれらの膜タンパク質や核酸タンパク質も含有していること、さらに長期トレーニングにより生体機能の変化には代謝機能以外の要素も大きく関与していることが明らかとなった。しかしながら、その意義についてはさらに検討を要する。

これまでの代謝過程は直接的反応として表現され、その過程の機能が論じられてきた。しかしながら、flow cytometryで得られたPPIでは、plasma中粒子の全体像となるため、これらのPPIにおける違いは、plasma粒子全体に生じた変化であり、個々の物質間ではなく、plasma粒子としての「代謝的場 (metabolic field)」に生じた変化と考えられる。このような考え方はこれまでの代謝研究では皆無であり、PPIにより初めてmetabolic fieldとしての代謝研究が可能となることを示した。PPIの差異は、それぞれの

分布の特性が明らかとなることによって、意味づけられることになるが、現在のところ検討中である。

第10回

●テーマ スポーツ選手における脳波測定及び解析についての研究

大塚 義明 (東海大学工学部電気工学科)

サンドゥー・アダルシュ (東海大学工学部電気工学科)

寺尾 保 (東海大学スポーツ医科学研究所)

岩垣 丞恒 (東海大学体育学部社会体育学科)

志水 哲雄 (教養学部芸術学科)

我々の脳波に関する研究は1999年度から始まっており、前年度には、リラクゼーションに関する研究と言語学習に関する研究を行った。このリラクゼーションに関する研究は、日本バイオミュージック学会大会で昨年発表した。また、論文誌にも掲載される予定である。

そして現在、スポーツにおける脳波を測定し、スポーツ選手のパフォーマンス向上について研究を行っている。この研究について報告する。

競技で良い成績をおさめるためには物理的な要素も必要であるが、精神的な要素もまた重要である。そこで、我々は科学的に判断する手段として脳波が応用できると考えた。一般的な脳波測定器は動くことができないが、我々の使用している測定器は、運動している人の脳波を測定するように作られているため、スポーツの分野にも応用できる。同時に呼気を分析することで高度な情報を引き出せると考えた。これらのデータを解析することによってスポーツ選手の成績向上に役立てることを目的として研究を行った。

実験は二つの設定で行った。一つは走者応答型トレッドミルでの実験である。図1は実際に測定を行っている風景である。走者応答型トレッドミルは速度が走者に合わせて動くため、走者の自由なペースで走ることができる。これを使い、走者に自由に速度を設定して走行した場合の脳波の変化と呼気の変化を測定するという実験を行った。もう一つの実験は、低圧下における走者の変化を捉える実験である。この実験の測定風景を図2に示す。この実験は低圧室内で行われ、速度を8 km一定として行っている。高度を地上から500mずつ上げていき、そのときの脳波と呼気の結果を記録している。

結果として走者応答型トレッドミルにおける実験では、走者がスパートをかける場合、かける前に α 波の出力が低下し、スパート中には出力が上昇する傾向が見られた。低圧室での実験ではRPE値の低下につれ、 α 波の出力の低下が見られた。脳波の変化を図4に示す。現在はデータの蓄積を行う段階であるため、今後詳しく解析を行って

いく。

現在我々は新たな脳波測定システムを開発中である。図3に測定システムの構成を示す。我々が使用している脳波測定器はワイヤレスであるものの、約10mしかデータ蓄積器から離れて測定することができない。これでは、トラックなどを走っている走者の分析を行うことはできない。そこで、PHSという既存の通信インフラを利用し、どこからでも測定ができる、PHSを用いたテレメトリ脳波測定システムの開発を行っている。このシステムではマイコンを利用しているため、測定器側では複雑な操作を行わずに簡単に測定することが可能である。また、PHSを利用しているため、データ蓄積器が九州にあったとしても、北海道にいる被測定者をリアルタイムに分析できる装置である。このシステムでは脳波測定器だけでなく他の測定装置、例えば心拍のデータなどを同時に送ることも可能である。

実験はすでに終了しており、機材の実装について現在開発を行っている。

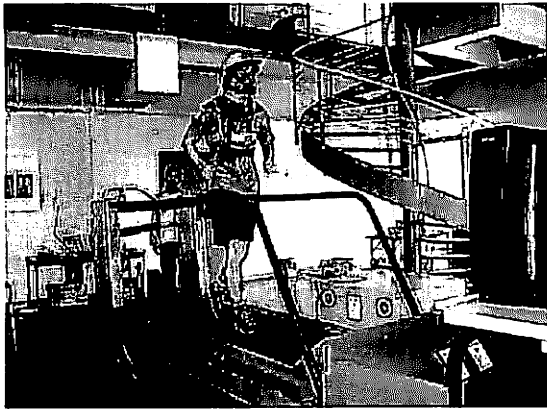


図1 走者応答型トレッドミルにおける実験

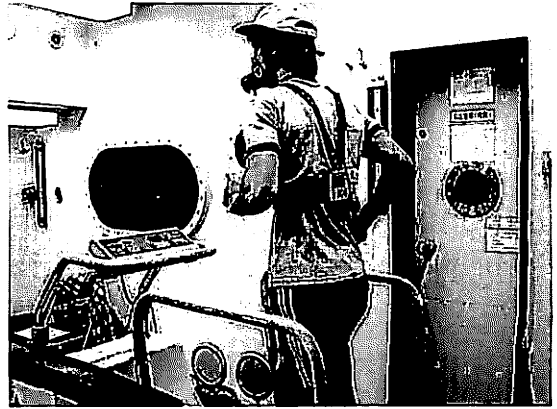


図2 低圧室における実験

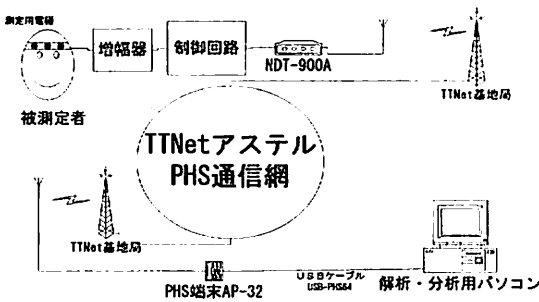


図3 測定システム構成図

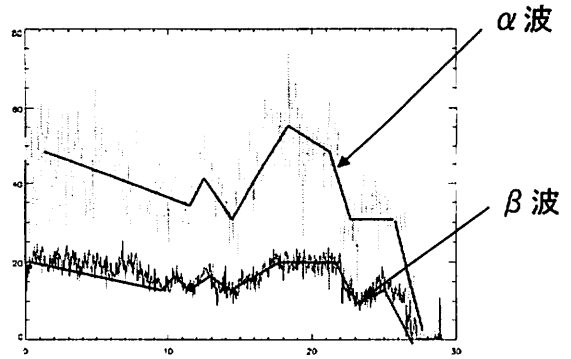


図4 測定結果

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

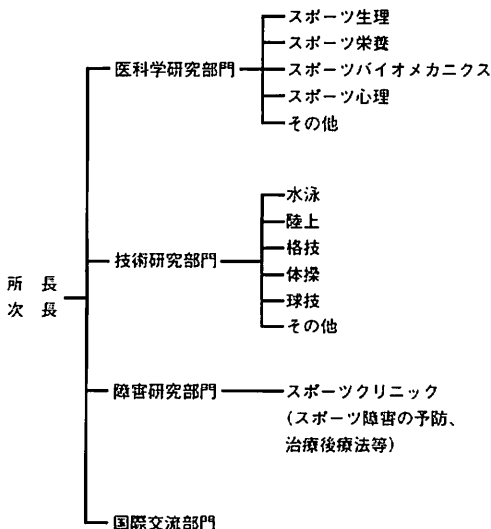
昭和62年10月1日

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

(2001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ぬ。

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)人事に関する事。
- (5)研究委託に関する事。
- (6)研究生に関する事。
- (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、和欧両文で記入）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 神奈川県平塚市北金目1117

「東海大学スポーツ医科学研究所」編集委員会

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 (2000. 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 石田 暉
- 5 委員 馬場 礼三
- 6 委員 山村 雅一

2000年度スポーツ医科学研究所 所員・研究員名簿

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

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）

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

2000年度スポーツ医科学研究所
プロジェクト研究課題

健康・体力と競技力向上のための総合的研究

編集後記

『東海大学スポーツ医科学雑誌』第13号をお送りいたします。今年度の交換論文には、オーストリア・ウィーン大学の「運動時の自律神経系調節に関する研究」が掲載されています。

また例年のように、スポーツ医学誌でありながら理学部・工学部からのきわめて基礎的な研究論文も掲載しています。このような論文の掲載はスポーツ医科学誌ではあまり例が見られません。しかし、未来に向けた研究課題とすれば、スポーツ医科学の根底を覆すほどの結果を生む可能性は十分にあり、これらの成果がスポーツ医学と結実することを期待しています。コペンハーゲンのスポーツ医科学研究所では、出身学部の異なる研究者が、それぞれの立場でスポーツ医科学研究者として、学際的な雰囲気の中でディスカッションしていたことを改めて思い出します。このような意味においても、現在のスポーツ医科学研究所の存在はきわめて学際的であり、これらの成果が結実することによって、より高い評価を受ける研究所として存続することとなります。スポーツ活動を通じて人類の健康・体力向上を目指す学術研究は、まさにスポーツ医科学にあることを改めて強調しておきたいと思います。

2001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

◇ 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13号 2001

発行日———2001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——株式会社テイクアイ