

6. Izawa KP, Watanabe S, Omiya K, et al. Effect of the self-monitoring approach on exercise maintenance during cardiac rehabilitation: a randomized, controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84:313-21.
7. Loughlan C, Mutrie N. An evaluation of the effectiveness of three interventions in promoting physical activity in a sedentary population. *Health Educ J* 1997;56:154-65.
8. Kirk AF, Higgins LA, Hughes AR, et al. A randomized controlled trial to study the effect of exercise consultation on the promotion of physical activity in people with type 2 diabetes: a pilot study. *Diabet Med* 2001;18:877-82.
9. Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare. [2009 health and social statistics] [Japanese]. Available at: <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/hoken/kiso/21.html>. Accessed October 1, 2011.
10. Koelling TM, Johnson ML, Cody RJ, Aaronson KD. Discharge education improves clinical outcomes in patients with chronic heart failure. *Circulation* 2005;111:179-85.
11. Izawa KP, Oka K, Watanabe S. Research on exercise adherence: a review of primary studies. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 2006;18:92-105.
12. Hulley SB, Cummings SR, Browner WS, Grady D, Hearst N, Newman TB. *Designing clinical research: an epidemiologic approach*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p 52-124.
13. Prochaska JO. Treating entire populations for disease prevention. *Jpn Health Psychol* 2002;10:1-17.
14. Marcus BH, Simkin LR. The transtheoretical model: applications to exercise behavior. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:1400-4.
15. Schneider PL, Crouter SE, Lukajic O, Bassett DR Jr. Accuracy and reliability of 10 pedometers for measuring steps over a 400-m walk. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1779-84.
16. Crouter SE, Schneider PL, Karabulut M, Bassett DR Jr. Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1455-60.
17. Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M, et al. The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure: a validation study against whole-body indirect calorimetry. *Br J Nutr* 2004;91:235-43.
18. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982;14:377-81.
19. Izawa K, Hirano Y, Yamada S, Oka K, Omiya K, Iijima S. Improvement in physiological outcomes and health-related quality of life following cardiac rehabilitation in patients with acute myocardial infarction. *Circ J* 2004;68:315-20.
20. Bandura A. Self-efficacy mechanism in human agency. *Am Psychol* 1982;37:122-47.
21. Oka K. Exercise adherence-promote of physical activity and exercise. In: Sakano Y, Maeda M, editors. *Clinical psychology of self-efficacy*. Kyoto: Kitaouji Syobo; 2002. p 218-34.
22. Portney LG, Watkins MP. Appendix C: Power and sample size. In: Mehalik C, Cohen M, editors. *Foundations of clinical research: applications to practice*. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall; 2000. p 705-29.
23. Field A. *Discovering statistics using SPSS*. 2nd ed. London: Sage Publications; 2005.
24. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavior sciences*. 2nd ed. Hillsdale: Lawrence Erlbaum; 1988.
25. Bock BC, Marcus BH, Pinto BM, Forsyth LH. Maintenance of physical activity following an individualized motivationally tailored intervention. *Ann Behav Med* 2001;23:79-87.
26. Ayabe M, Brubaker PH, Dobrosielski D, et al. Target step count for the secondary prevention of cardiovascular disease. *Circ J* 2008;72:299-303.
27. Marcus BH, Forsyth LH. *Motivating people to be physically active [physical activity intervention series]*. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics; 2009.
28. Wonisch M, Hofmann P, Fruhwald FM, et al. Influence of beta-blocker use on percentage of target heart rate exercise prescription. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2003;10:296-301.
29. Oka K, Ishii K, Shibata A. [A structural equation analysis of psychological, social, and environmental influences on physical activity among Japanese adults] [Japanese]. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 2011;60:89-97.
30. Izawa KP, Watanabe S, Oka K, et al. Physical activity in relation to exercise capacity in chronic heart failure patients. *Int J Cardiol* 2011;152:152-3.

#### Suppliers

- a. Suzuken Co, Ltd, 8 Higashikataha-machi, Higashi-ku, Nagoya-shi 461-8701, Japan.
- b. Microsoft Corp, One Microsoft Way, Redmond, WA 98052.
- c. IBM SPSS Japan, Inc, 10F Ebisu Prime Square Tower, Hiroo 1-1-39, Shibuya-ku, Tokyo 150-0021, Japan.



## Original article

## Heart rate and blood pressure response to ramp exercise and exercise capacity in relation to age, gender, and mode of exercise in a healthy population

Haruki Itoh (MD, FJCC)<sup>a,\*</sup>, Ryuichi Ajisaka (MD, FJCC)<sup>b</sup>, Akira Koike (MD, FJCC)<sup>c</sup>, Shigeru Makita (MD)<sup>d</sup>, Kazuto Omiya (MD, FJCC)<sup>e</sup>, Yuko Kato (MD)<sup>f</sup>, Hitoshi Adachi (MD)<sup>g</sup>, Masatoshi Nagayama (MD)<sup>a</sup>, Tomoko Maeda (FJCC)<sup>a</sup>, Akihiko Tajima (PhD, FJCC)<sup>h</sup>, Naomi Harada (BSc)<sup>i</sup>, Koichi Taniguchi (MD, FJCC)<sup>i</sup>, On behalf of the Committee on Exercise Prescription for Patients (CEPP) Members<sup>j</sup>

<sup>a</sup> Department of Cardiology, Sakakibara Heart Institute, Tokyo Japan

<sup>b</sup> Division of Sports Medicine, Graduate School of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba, Tsukuba Japan

<sup>c</sup> Department of Cardiology, the Cardiovascular Institute, Tokyo Japan

<sup>d</sup> Department of Cardiac Rehabilitation, Saitama University international Medical Center, Hidaka-shi Japan

<sup>e</sup> Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, St. Marianna University School of Medicine, Kawasaki-shi Japan

<sup>f</sup> Department of Medicine, Division of Cardiology, Hepatology, Geriatrics and Integrated Medicine, Nippon Medical School, Tokyo Japan

<sup>g</sup> Division of Cardiology, Gunma Prefectural Cardiovascular Center, Maebashi-shi Japan

<sup>h</sup> Saitama Prefectural University, Koshigaya-shi Japan

<sup>i</sup> Japan Heart Club, Tokyo Japan

<sup>j</sup> Committee on Exercise Prescription for Patients (CEPP), Japan

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 6 September 2012

Accepted 25 September 2012

Available online 22 November 2012

## Keywords:

Cardiopulmonary exercise test

Normal value

Exercise capacity

Heart rate response

Blood pressure response

## ABSTRACT

**Background:** The responses of heart rate (HR) and blood pressure to the ramp exercise test are not known and the current understanding of peak oxygen uptake and anaerobic threshold (AT) values in the normal Japanese population is insufficient.

**Methods and results:** A total of 749 healthy Japanese subjects aged 20–78 years underwent a cardiopulmonary exercise test using a cycle ergometer or treadmill ergometer with ramp protocols. HR, systolic blood pressure (SBP), and oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2}$ ) at rest, at AT, and at peak exercise were determined. HR and SBP at peak exercise in a cycle ergometer and treadmill ergometer test decreased with age. Work rate at peak exercise in a cycle ergometer increased with body weight and decreased with age.  $\dot{V}_{O_2}$ /weight at AT and at peak exercise were higher in treadmill ergometer testing than in cycle ergometer testing, and were not affected by exercise protocol. Both of these decreased with age.

**Conclusions:** The normal responses of HR and SBP to ramp exercise testing are reported for the first time. AT, peak  $\dot{V}_{O_2}$ , and  $\dot{V}_{O_2}$  at each stage are shown for a healthy population. Some of these parameters were influenced by weight, gender, and age, as well as mode of exercise and the protocol used. These results provide useful reference values for interpreting the results of cardiopulmonary exercise testing.

© 2012 Japanese College of Cardiology. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

## Introduction

Cardiopulmonary exercise testing (CPX) is frequently used as a measure for not only evaluating functional capacity and assessing the prognosis in cardiac patients but also determining exercise intensity for training in cardiac rehabilitation and for lifestyle-related disease management. There are very few reports on the normal values of peak oxygen uptake (peak  $\dot{V}_{O_2}$ ) and anaerobic threshold (AT) in the Japanese population [1–3].

The first multicenter investigation of the normal values of CPX in a healthy Japanese population was published in 1992 [2] and described only peak  $\dot{V}_{O_2}$  and AT. Moreover, there was no information on heart rate (HR) and blood pressure responses to the exercise with ramp protocols that are commonly used in CPX. Another complicating factor in that study was that the young study subjects were relatively inactive and elder subjects relatively active [2,3]. Therefore, the investigation failed to show a significant relationship between exercise capacity and age. In this study, we aimed to clarify the normal responses of HR and blood pressure to ramped exercise and to establish standard values of peak  $\dot{V}_{O_2}$  and AT in the normal Japanese population. Furthermore, we assessed influential factors on each individual's exercise parameters.

\* Corresponding author at: Department of Cardiology, Sakakibara Heart Institute, 3-16-1 Asahi-cho, Fuchu-shi, Tokyo 163-0804, Japan. Tel.: +81 33344 3313.  
E-mail address: [itoh@cepp.ne.jp](mailto:itoh@cepp.ne.jp) (H. Itoh).

## Methods

### Study design

This investigation was conducted as a prospective, multicenter study in 9 institutions (Sakakibara Heart Institute Clinic, Sakakibara Heart Institute Hospital, Tsukuba University, St. Marianna University, Saitama University International Medical Center, Gunma Prefecture Cardiovascular Center, the Cardiovascular Institute, Nippon Medical School, and Saitama Shimin Medical Center). All institutes have breath-by-breath gas analyzer(s) and well-trained doctors and medical technicians who perform CPX regularly on a clinical basis. After written informed consent was obtained from healthy Japanese volunteers, CPX was conducted under a randomized exercise protocol.

### Subjects

Healthy Japanese subjects aged 20–78 years were enrolled by stratified randomization based on age group and gender. The randomized allocation of the subjects was conducted by the data center of the nonprofit organization, the Japan Heart Club. At least 10 subjects were enrolled for each decade of age and gender; however, the higher-incline ramp protocols were excluded for the elder and/or female subjects, depending on their exercise capacity and anticipated exercise time. To be included, subjects must (1) have had no experience of cardiac or pulmonary disease with no symptoms, (2) measure 145–190 cm in height, and (3) have a body mass index (BMI) of 17.6–28.6 (–20% and 30% of BMI 22). Excluded were those who (1) had smoked within the past year, (2) regularly exercised more than twice a week, (3) showed abnormal blood pressure at rest, and (4) had an abnormal resting electrocardiogram (ECG).

### Exercise testing equipment

The breath-by-breath gas analyzers used in this study were the CPEX-1 System manufactured by Inter Reha Co. Ltd. (Tokyo,

Japan) and the AE-300S by Minato Medical Science Co. Ltd. (Osaka, Japan). All analyzers were carefully calibrated before the start of this project.

Cycle ergometers used in this study were the SB-8, a servomotor-controlled model by Mitsubishi Electric Engineering Co. Ltd. (Nagoya, Japan) and the Corival 400, an electromagnetically braked cycle ergometer (Lode BV; Groningen, The Netherlands). Treadmill ergometers used in the study were the MAT-2700 and MAT-2200 by Fukuda Denshi Co. Ltd. (Tokyo, Japan).

Stress systems used were the ML-4500, ML-6500, and ML-9000 by Fukuda Denshi Co. Ltd. Each of these models can monitor 12-lead ECGs simultaneously while also controlling a cycle ergometer, treadmill ergometer, and automatic-cuff blood pressure manometer (FB-300, Fukuda Denshi Co. Ltd., STBP-780 by Nippon Colin Co. Ltd., Komaki, Japan, or Tango by SunTech Medical, Inc., Morrisville, NC, USA).

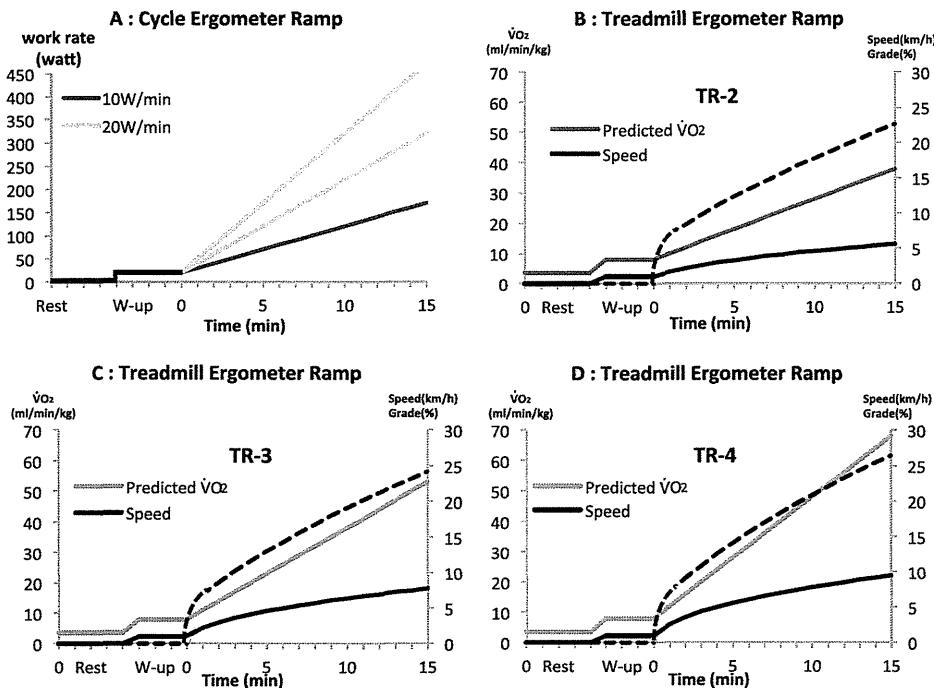
### Exercise protocols

After checking the data acceptability of the ECG, blood pressure, and expired gas analysis parameters at rest, the test was started with 4 min of rest either sitting on the cycle ergometer or standing on the treadmill. A symptom-limited exercise test was then conducted.

Ramp protocols for the cycle ergometer were 10 W/min, 20 W/min, and 30 W/min ramping (Fig. 1A). Ramp protocols for the treadmill ergometer were TR-2, TR-3, and TR-4. These were designed to obtain linear increases in  $\dot{V}O_2$  of 2 ml/min, 3 ml/min, and 4 ml/min in young males, respectively, through increases in grade and speed (Fig. 1B–D). These protocols were designed using the equation:  $\dot{V}O_2$  (ml/min/kg) =  $0.15S^2 + 0.14SG + 0.45S + 0.40G + 4.23$ , where  $S$  is speed (km/h) and  $G$  is grade (%) [4].

### Heart rate, blood pressure, and expired gas parameters

During testing, HR was continuously monitored and systolic blood pressure (SBP) measured each minute.  $\dot{V}O_2$ , carbon dioxide



**Fig. 1.** Ramp protocols of the cycle ergometer (A) and treadmill ergometer (B,C,D) employed in this study. Treadmill ramp protocols were designed to achieve a linear increase of  $\dot{V}O_2$  of 2 ml/min, 3 ml/min, and 4 ml/min in young males, respectively, by increasing grade and speed [4].  $\dot{V}O_2$ , oxygen uptake.

output ( $\dot{V}_{CO_2}$ ), minute ventilation ( $\dot{V}_E$ ), fraction of end-tidal O<sub>2</sub> (FET<sub>O<sub>2</sub></sub>), and fraction of end-tidal CO<sub>2</sub> (FET<sub>CO<sub>2</sub></sub>) were measured on a breath-by-breath basis. Derived parameters such as  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$ ,  $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$ , and gas exchange ratio ( $R$ ;  $\dot{V}_{CO_2}/\dot{V}_{O_2}$ ) were also monitored simultaneously. The breath-by-breath expired gas data were converted into time-series data every 3 s. Both of the data sets obtained by the RM-300S and CPEX-1 were calculated using the gas analysis software of the CPEX-1, in which the variable moving average (1–20) can be performed without any other manipulations. The eight-point moving average of data was applied to the calculation for HR and the expiration gas parameters.

The AT point was primarily determined using the V-slope method [5] in addition to the following conventional criteria [6,7]: (1)  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$  increases after registering as flat or decreasing, whereas  $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$  remains constant or decreases, and (2)  $R$  versus exercise time, which was flat or slowly increasing, begins to increase more sharply. Or, (3) FET<sub>O<sub>2</sub></sub> increases after registering as flat or decreasing, whereas FET<sub>CO<sub>2</sub></sub> remains constant or decreases. AT was expressed in  $\dot{V}_{O_2}$ , and usually divided by body weight (ml/min/kg).

The respiratory compensation point (RC) was determined by the following criteria. (1)  $\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}$  increasing after registering as flat or decreasing, and (2) FET<sub>CO<sub>2</sub></sub> decreasing after registering as flat or increasing above the AT point.

Peak  $\dot{V}_{O_2}$  was defined as the average value obtained during the last 30 s of incremental exercise. When  $R$  was less than 1.0 at peak exercise, the test was considered incomplete because of the subject's poor effort and the data at peak exercise were not used in the statistics.

#### Statistical analysis

Statistical analysis was performed with JAMP version 8 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Values are presented as mean and standard deviation (mean  $\pm$  SD) unless stated otherwise. The impact of factors (age, gender, body size, cycle or treadmill ergometer, exercise protocol) on the individual's exercise parameters were assessed through multiple linear regression analysis. Simple linear regression analysis was used to determine the effect of age by gender on the measured parameters, and the regression line and its 95% confidence interval for population mean and individual values were presented. The  $p$ -value was calculated from the  $F$ -test and a  $p$ -value of  $<0.05$  was considered statistically significant.

#### Results

The 387 healthy males and 362 healthy females ranging in age from 20 to 78 fulfilled the selection criteria. A summary of the subject demographics is shown in Table 1. The number of subjects

**Table 1**  
Age and body size of subjects. BMI, body mass index.

	Male (n = 387)	Female (n = 362)	Total (n = 749)
Age (year)	20–78	20–76	20–78
	45.2 $\pm$ 16.3	46.2 $\pm$ 16.0	45.7 $\pm$ 16.2
Weight (kg)	49.5–87.1	40.0–71.3	40–87.1
	66.2 $\pm$ 7.0	51.5 $\pm$ 5.5	59.1 $\pm$ 9.7
Height (cm)	150–186.3	140.6–171.0	140.6–186.3
	169.9 $\pm$ 6.2	156.6 $\pm$ 5.5	163.5 $\pm$ 8.9
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	18.0–28.4	17.6–26.8	17.6–28.4
	22.9 $\pm$ 2.0	21.0 $\pm$ 2.0	22.0 $\pm$ 2.2

in each age group, by gender and protocol, is summarized in Table 2.

The data recorded at the peak exercise were disposed of for 36 subjects because of poor effort (i.e. peak  $R$  was less than 1.0) or the leakage of expired gas at peak exercise. The RC was determined for 206 of 285 males and 181 of 260 females in the cycle ergometer test, and 79 of 102 males and 61 of 102 females in the treadmill ergometer test. AT was determined for all subjects.

#### Effects of age, gender, and protocol

First, the effects of age, gender, and ramp slope for each protocol were assessed for each ergometer. After reviewing the exploratory plots and results of the multiple linear regression, we reached the conclusion that the effects of exercise protocol on parameters have little impact, except in work rate (WR) and exercise time in the treadmill ergometer test. The results were consistent with those of previous reports [8,9].

Next, the effects of age, gender, and the interaction between gender and age (a difference of slope against age between males and females) were assessed through multiple linear regression. The  $p$ -value from the  $F$ -test and the estimated coefficients for each effect are summarized in Tables 3 and 4.

#### HR, SBP, and exercise intensity in cycle ergometer testing

HR at rest (HR<sub>rest</sub>) on the cycle ergometer was 77.6  $\pm$  12.2 bpm ( $n=71$ ) in males and 75.5  $\pm$  9.8 bpm ( $n=64$ ) in females in their 20s. HR at AT (HR<sub>AT</sub>) in subjects in their 20s was 116.1  $\pm$  12.6 bpm in males ( $n=71$ ) and 120.3  $\pm$  12.9 bpm ( $n=64$ ) in females. Peak HR (HR<sub>peak</sub>) was 170.1  $\pm$  17.7 bpm ( $n=64$ ) in males and 171.3  $\pm$  13.1 bpm ( $n=62$ ) in females in their 20s. These HR decreased with age but there was no difference between males and females (Table 3).

SBP at rest (SBP<sub>rest</sub>) on the cycle ergometer was 119.7  $\pm$  11.5 mmHg ( $n=57$ ) in males and 112.1  $\pm$  11.6 mmHg ( $n=44$ ) in females in their 20s. SBP at AT (SBP<sub>AT</sub>) was 150.1  $\pm$  18.3 mmHg ( $n=58$ ) in males and 131.6  $\pm$  13.7 mmHg

**Table 2**  
Number of subjects in each protocol.

Cycle ergometer	Protocol	20–29 years		30–39 years		40–49 years		50–59 years		60–69 years		70–78 years		Total	
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Male = 285	10 W/min	25	25	20	25	22	24	45	38	36	43	19	16	167	171
Female = 260	20 W/min	37	37	26	11	17	19	15	10	11	7	1	0	107	84
Total = 545	30 W/min	9	3	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	11	5

Treadmill ergometer	Protocol	20–29 years		30–39 years		40–49 years		50–59 years		60–69 years		70–78 years		Total	
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Male = 102	TR-2	0	1	0	2	0	2	1	1	1	10	2	1	4	17
Female = 102	TR-3	7	14	14	11	13	16	14	16	16	15	6	6	70	78
Total = 204	TR-4	11	4	12	1	4	0	1	2	0	0	0	0	28	7

**Table 3**  
Results of multiple linear regression for exercise parameters in cycle ergometer testing.

	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
HR (bpm)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	80.8		89.7		124.8		177.8		191.7	
Age	-0.129	<0.001	-0.0746	0.039	-0.345	<0.001	-0.699	<0.001	-0.743	<0.001
Gender (Female)	-2.42	0.383	4.19	0.161	4.35	0.191	1.90	0.694	-3.88	0.355
Gender × Age	0.0474	0.406	0.0226	0.712	0.00271	0.968	0.000903	0.993	0.0669	0.436
SBP (mmHg)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	110.2		117.7		138.7		171.0		176.0	
Age	0.321	<0.001	0.454	<0.001	0.356	<0.001	0.411	<0.001	0.583	<0.001
Gender (Female)	-11.2	0.016	-21.3	<0.001	-34.0	<0.001	-33.7	<0.001	-34.6	<0.001
Gender × Age	0.127	0.172	0.395	<0.001	0.586	<0.001	0.435	0.004	0.310	0.022
WR/wt (W)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept					1.63		3.03		3.55	
Age					-0.00764	<0.001	-0.0161	<0.001	-0.0200	<0.001
Gender (Female)					-0.0867	0.191	-0.109	0.329	-0.281	0.006
Gender × Age					0.00202	0.139	0.000753	0.748	0.00327	0.120
Protocol (10 W/min)					-0.187	<0.001	-0.376	<0.001	-0.465	<0.001
R	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	0.81		0.82		0.91		1.09		1.20	
Age	0.00114	<0.001	0.00108	<0.001	0.000301	0.156	-0.000346	<0.001	-0.000908	<0.001
Gender (Female)	0.0271	0.092	0.0108	0.526	0.00953	0.502	0.0495	0.021	0.0338	0.163
Gender × Age	-0.000505	0.128	-0.000303	0.389	-0.000188	0.520	-0.000911	0.044	-0.000592	0.234
$\dot{V}O_2$ /wt (ml/min/kg)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	4.41		8.84		21.41		35.79		42.05	
Age	-0.00936	<0.001	0.00403	0.296	-0.0994	<0.001	-0.210	<0.001	-0.268	<0.001
Gender (Female)	-0.132	0.381	0.984	0.009	-2.17	0.005	-3.58	0.005	-7.22	<0.001
Gender × Age	0.00242	0.437	0.0000242	0.998	0.0312	0.048	0.0283	0.294	0.0811	0.001
	AT/Peak									
Intercept	0.490									
Age	0.00178	<0.001								
Gender (Female)	0.0438	0.034								
Gender × Age	0.000138	0.744								

The equation of the multiple linear regression model was as follows:  $Y = b + a1 \times \text{Age} + a2 \times \text{Gender} + a3 \times (\text{Age} \times \text{Gender}) + a4 \times (\text{Protocol})$ .

$b$ , intercept;  $a1$ , coefficient of age (year);  $a2$ , coefficient of gender (if male, gender = 0, if female, gender = 1);  $a3$ , coefficient of interaction for age × gender (if male, gender = 0, if female, gender = 1);  $a4$ , coefficient of protocol (if 20 W/min, protocol = 0, if 10 W/min, protocol = 1). Data from the 30 W/min protocol were excluded from the analysis because the number of observations was small. HR, heart rate; SBP, systolic blood pressure; WR, work rate; wt, weight; R, gas exchange ratio;  $\dot{V}O_2$ , oxygen uptake; AT, anaerobic threshold; RC, respiratory compensation point.

**Table 4**  
Results of multiple linear regression for the exercise parameters in treadmill ergometer testing.

	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
HR (bpm)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	85.6		85.2		129.2		182.3		202.8	
Age	-0.125	0.002	-0.0485	0.152	-0.269	<0.001	-0.594	<0.001	-0.763	<0.001
Gender (Female)	0.272	0.953	4.35	0.410	1.37	0.645	4.48	0.487	-11.10	0.041
Gender × Age	-0.0480	0.610	-0.0571	0.595	-0.0112	0.854	-0.0165	0.905	0.209	0.060
SBP (mmHg)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	111.7		120.2		132.7		176.8		188.9	
Age	0.364	<0.001	0.409	<0.001	0.512	<0.001	0.130	0.069	0.254	<0.001
Gender (Female)	-16.3	0.034	-20.4	0.015	-28.9	0.008	-29.6	0.049	-56.3	<0.001
Gender × Age	0.183	0.235	0.250	0.139	0.326	0.135	0.332	0.304	0.584	0.035
Time (s)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept					297.7		542.6		710.9	
Age					-2.09	<0.001	-2.67	<0.001	-4.97	<0.001
Gender (Female)					-40.3	0.111	61.9	0.210	-30.7	0.537
Gender × Age					0.102	0.840	-1.85	0.075	-0.390	0.695
Protocol (TR-2)					146.5	<0.001	229.9	<0.001	240.4	<0.001
Protocol (TR-3)					51.7		74.4		88.0	
R	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	0.82		0.85		0.87		1.07		1.21	
Age	0.00121	0.030	0.0000609	0.425	0.000340	0.410	-0.0000435	0.488	-0.000955	0.006
Gender (Female)	0.0506	0.068	0.00614	0.816	-0.0183	0.457	0.0222	0.480	0.00316	0.931
Gender × Age	-0.00119	0.036	-0.000551	0.306	-0.000268	0.592	-0.000381	0.572	-0.000180	0.810
$\dot{V}O_2$ /wt (ml/min/kg)	Rest		Warming-up		AT		RC		Peak	
Intercept	5.07		6.84		29.82		50.72		61.07	
Age	-0.0182	<0.001	0.0167	0.022	-0.172	<0.001	-0.378	<0.001	-0.510	<0.001
Gender (Female)	-0.775	0.002	0.226	0.715	-7.61	<0.001	-12.6	<0.001	-20.4	<0.001
Gender × Age	0.0113	0.024	-0.00439	0.728	0.102	0.001	0.187	0.001	0.301	<0.001
	AT/Peak									
Intercept	0.440									
Age	0.00341	<0.001								
Gender (Female)	0.0843	0.007								
Gender × Age	-0.00137	0.033								

The equation of the multiple linear regression model was as follows:  $Y = b + a1 \times \text{Age} + a2 \times \text{Gender} + a3 \times (\text{Age} \times \text{Gender}) + a4 \times (\text{Protocol})$ .

$b$ , intercept;  $a1$ , coefficient of age (year);  $a2$ , coefficient of gender (if male, gender = 0, if female, gender = 1);  $a3$ , coefficient of interaction for age × gender (if male, gender = 0, if female, gender = 1);  $a4$ , coefficient of protocol (if TR-4, protocol = 0, if TR-2 or TR-3, protocol = 1); HR, heart rate; SBP, systolic blood pressure; WR, work rate; wt, weight; R, gas exchange ratio;  $\dot{V}O_2$ , oxygen uptake; AT, anaerobic threshold; RC, respiratory compensation point.

( $n=49$ ) in females in their 20s. Peak SBP ( $SBP_{peak}$ ) was  $190.6 \pm 18.4$  mmHg ( $n=52$ ) and  $162.3 \pm 14.1$  mmHg ( $n=48$ ) in males and females in their 20s. The blood pressure at rest, at AT, and at peak exercise increased with age both in males and

females (Table 3). SBP was higher in males than in females, both at rest and during exercise. Mean HR and SBP estimated through multiple regression (Table 3) for each age group are presented in Fig. 2.

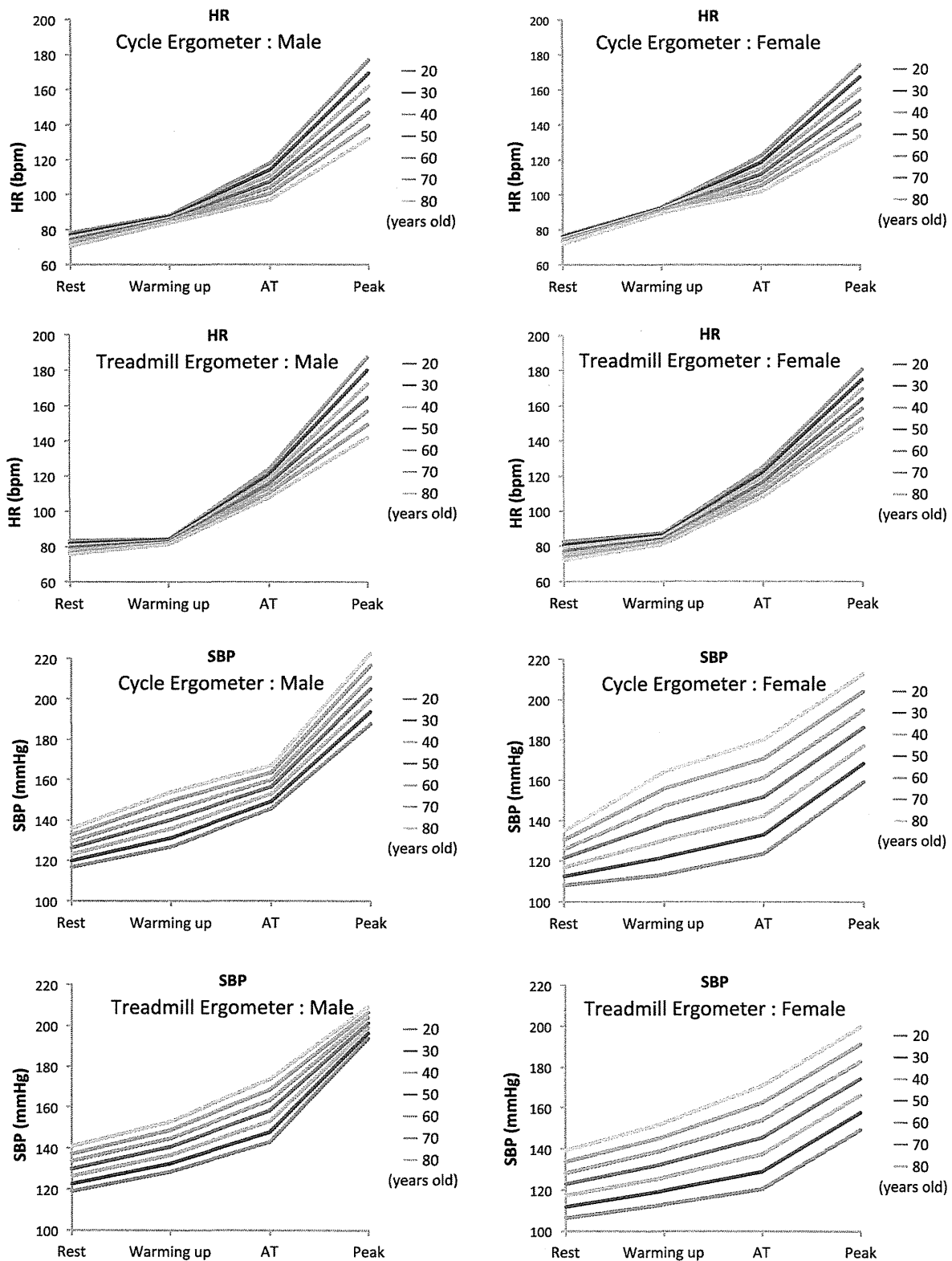


Fig. 2. Estimated changes in heart rate and systolic blood pressure during exercise. The data plotted were derived by the estimated regression line in Tables 3 and 4. HR, heart rate; SBP, systolic blood pressure; AT, anaerobic threshold.

WR divided by body weight at AT ( $WR/wt_{AT}$ ) and at peak exercise ( $WR/wt_{peak}$ ) were higher in the protocol that had a steeper ramp slope. A negative linear correlation was found between  $WR/wt_{AT}$  and age. A strong negative linear correlation was found between  $WR/wt_{peak}$  and age, again.  $WR/wt_{peak}$  increased with increased ramp slope for all ages, both in males and females. This was higher in males than in females for the same protocol (Table 3).

#### HR, SBP, and exercise time in treadmill ergometer testing

HR<sub>rest</sub> while standing on the treadmill ergometer was  $82.4 \pm 16.3$  bpm ( $n=18$ ) in males and  $80.0 \pm 8.5$  bpm ( $n=19$ ) in females in their 20s. This decreased with age. HR<sub>AT</sub> was  $119.2 \pm 14.5$  bpm ( $n=18$ ) in males and  $123.4 \pm 14.9$  bpm ( $n=19$ ) in females in their 20s. HR<sub>peak</sub> was  $179.6 \pm 9.3$  bpm ( $n=18$ ) in males and  $176.4 \pm 12.9$  bpm ( $n=17$ ) in females in their 20s. This decreased with age but there was no difference between males and females (Table 4).

SBP<sub>rest</sub> was  $124.6 \pm 12.6$  mmHg ( $n=18$ ) in males and  $109.9 \pm 10.3$  mmHg ( $n=14$ ) in females in their 20s. SBP<sub>AT</sub> was  $149.8 \pm 21.2$  mmHg ( $n=17$ ) in males and  $125.2 \pm 16.4$  mmHg ( $n=14$ ) in females in their 20s. SBP<sub>peak</sub> was  $206.8 \pm 34.4$  mmHg ( $n=16$ ) in males and  $157.2 \pm 24.0$  mmHg ( $n=13$ ) in females in their 20s. These increased with age (Table 4). SBP during treadmill exercise testing was higher in males than in females both at rest and during exercise. The mean HR and SBP estimated through multiple regression (Table 4) for each age group are presented in Fig. 2.

In the TR-3 protocol, the peak exercise time from the start of ramping was  $646.3 \pm 39.0$  seconds ( $n=7$ ) and  $622.3 \pm 152.9$  seconds ( $n=14$ ) in males and females in their 20s. AT time was  $302.1 \pm 43.2$  seconds ( $n=7$ ) in males and  $263.8 \pm 73.1$  seconds ( $n=14$ ) in TR-3 in females in their 20s. A negative linear correlation was found between AT time and age both in males and females.

#### Expired gas parameters

##### Cycle ergometer

The gas exchange ratio at rest ( $R_{rest}$ ) was  $0.84 \pm 0.06$  ( $n=71$ ) in males and  $0.85 \pm 0.06$  ( $n=65$ ) in females in their 20s. This increased with age. The  $R_{AT}$  was not affected by age and gender;  $0.93 \pm 0.05$  ( $n=285$ ) in the total number of male and  $0.93 \pm 0.06$  ( $n=259$ ) in the total number of female subjects. The  $R_{peak}$  was  $1.18 \pm 0.10$  ( $n=65$ ) in males and  $1.20 \pm 0.10$  ( $n=64$ ) in females in their 20s. In contrast to  $R_{rest}$ ,  $R_{peak}$  decreased with age. There was little difference between males and females in  $R$  at any point during exercise (Table 3).

The  $\dot{V}_{O_2}$  divided by body weight at rest ( $\dot{V}_{O_2}/wt_{rest}$ ) while on the cycle ergometer was  $3.99 \pm 0.61$  ml/min/kg ( $n=282$ ) in males and  $3.96 \pm 0.56$  ml/min/kg ( $n=260$ ) in females.  $\dot{V}_{O_2}/wt_{rest}$  showed a slight but significant decrease along with age both in males and females. AT was  $19.14 \pm 3.60$  ml/min/kg in males and  $17.46 \pm 2.64$  ml/min/kg in females in their 20s. As expected, AT was higher in males than in females and a strong negative linear correlation was found between AT and age (Table 3, Fig. 3 [upper panel]). Peak  $\dot{V}_{O_2}/wt$  was  $36.05 \pm 5.23$  ml/min/kg ( $n=65$ ) in males and  $30.04 \pm 4.22$  ml/min/kg ( $n=64$ ) in females in their 20s. As with AT, a strong negative linear correlation was found between peak  $\dot{V}_{O_2}/wt$  and age (Table 3, Fig. 3 [lower panel]). The decline in peak  $\dot{V}_{O_2}/wt$  averaged 0.64% in males and 0.55% in females for each year.

##### Treadmill ergometer

The  $R_{rest}$  was  $0.87 \pm 0.06$  ( $n=18$ ) in males and  $0.86 \pm 0.06$  ( $n=19$ ) in females in their 20s. The  $R_{peak}$  was  $1.14 \pm 0.07$  ( $n=18$ ) in males

and  $1.17 \pm 0.07$  ( $n=17$ ) in females in their 20s. There was no apparent relation to age in  $R_{rest}$  and  $R_{AT}$ , while  $R_{peak}$  decreased mildly with age. The  $R_{AT}$  of the total number of subjects was  $0.88 \pm 0.05$  ( $n=102$ ) in males and  $0.85 \pm 0.06$  ( $n=102$ ) in females. There was no statistical difference between males and females in  $R$  at any point.

$\dot{V}_{O_2}/wt_{rest}$  while standing on the treadmill ergometer was  $4.97 \pm 0.65$  ml/min/kg ( $n=18$ ) and  $4.12 \pm 0.54$  ml/min/kg ( $n=19$ ) in males and females in their 20s in all of the protocols.  $\dot{V}_{O_2}/wt_{rest}$  showed a mild decrease with age in both genders. AT was  $28.10 \pm 3.65$  ml/min/kg ( $n=18$ ) in males and  $20.41 \pm 3.36$  ( $n=19$ ) ml/min/kg in females in their 20s. This decreased with age (Table 4, Fig. 3 [upper panel]). Peak  $\dot{V}_{O_2}/wt$  was  $52.68 \pm 6.52$  ml/min/kg ( $n=18$ ) and  $35.33 \pm 4.86$  ml/min/kg ( $n=17$ ) in males and females in their 20s, and decreased with age (Table 4, Fig. 3 [lower panel]). The decline in peak  $\dot{V}_{O_2}/wt$  averaged 0.83% in males and 0.51% in females each year.

## Discussion

Exercise capacity is usually expressed as  $\dot{V}_{O_2}$ , since  $\dot{V}_{O_2}$  is a function of oxygen delivery (cardiac output, hemoglobin, etc.) and oxygen utilization (muscle volume and function, etc.), and is influenced by ventilation, cardiac function, vascular function, and muscle function; in other words, respiration, circulation, and metabolism. Therefore, exercise capacity is a most reliable and powerful prognostic index not only for cardiac patients [10,11], but also for the general population [12]. Besides peak  $\dot{V}_{O_2}$ , AT is also a strong prognostic marker for heart disease patients [13].

The appropriate knowledge of normal responses in HR, blood pressure, and  $\dot{V}_{O_2}$  during the ramp protocols that are widely used in cardiopulmonary exercise testing is necessary to understand the results of an exercise test. However, these have not been available, particularly for the Japanese population. Moreover, no data of HR and blood pressure in a ramp protocol have been available for cycle ergometer or treadmill ergometer testing since the protocols employed in the majority of the previous reports investigating this topic were Bruce's multistage protocol or another stepwise incremental protocol.

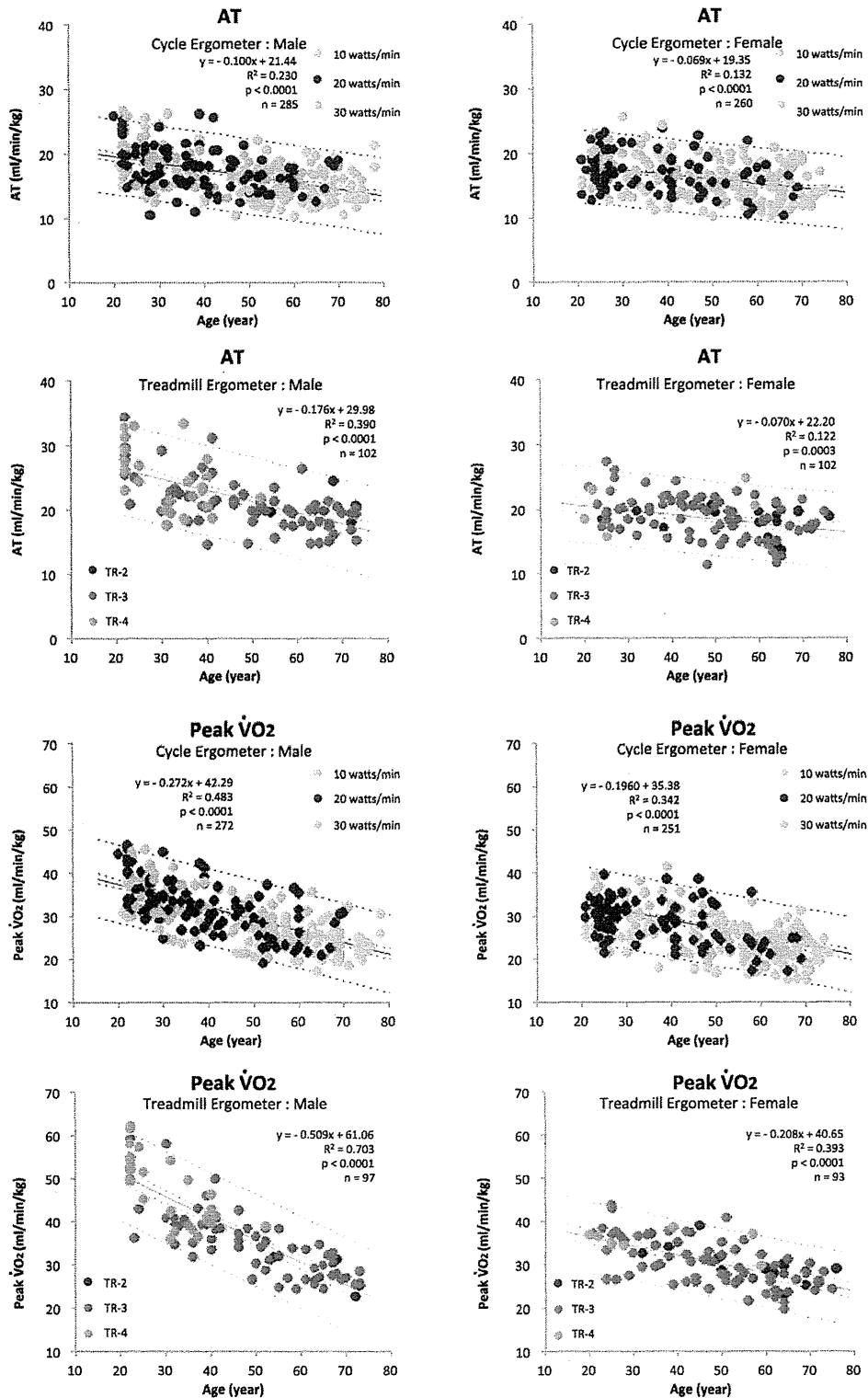
#### Heart rate and blood pressure response

It has been stated that no consistent differences in HR and SBP have been found between men and women during the types of exercise employed (i.e. cycling, stepping, inclined treadmill, walking, or running [14]). In this study, there was no statistical difference in HR at rest and during exercise between males and females during both cycle ergometer and treadmill testing; however, HR during exercise was lower during cycle ergometer testing compared to that measured during treadmill ergometer testing. The two most common formulas for predicting HR<sub>peak</sub> in adults are as follows:  $220 - \text{age (years)}$  [15,16] and  $208 - 0.7 \text{ times age (years)}$  [17]. Compared with these data, our data from this study showed a lower HR peak, especially in the younger generation.

Blood pressure demonstrated a linear increase with advancing age in testing on both of the ergometers and in both genders. These findings were consistent with the previous report of Daida et al. [18], even though they did not show the regression formula of blood pressure to age.

#### Normalization of WR and $\dot{V}_{O_2}$ by weight

Exercise capacity parameters in normal subjects during exercise vary with age, gender, body size, muscle volume, level of ordinary activity, and type of exercise. Obviously, it is well recognized that both AT and peak  $\dot{V}_{O_2}$ , major parameters representing exercise



**Fig. 3.** AT and peak  $\dot{V}O_2$  in cycle ergometer and treadmill ergometer testing. AT (upper panels) and peak  $\dot{V}O_2$  (lower panels) are shown in relation to age in males and females. Regression lines were determined using the data from all protocols. AT, anaerobic threshold;  $\dot{V}O_2$ , oxygen uptake.

capacity, are significantly influenced by these factors. We, at first, checked the contribution of gender, age, body weight, and height to the WR and  $\dot{V}O_2$  by multiple regression analysis using the generalized linear model. The results showed that gender, age, and body weight were significant determining factors for WR and  $\dot{V}O_2$ .

In treadmill ergometer exercise testing, it has been generally considered that a tall person has an advantage in the parameter of exercise capacity. Each body size variable (weight, height, BMI, BSA) strongly correlates mutually, and the contribution of body size on WR and  $\dot{V}O_2$  was considered to explain by body weight almost all.



In clinical practice, standardized WR and  $\dot{V}_{O_2}$  by body weight are commonly accepted parameters. We, therefore, showed WR and  $\dot{V}_{O_2}$  data divided by body weight, classified by gender, and then as a function of age, considering the convenience for clinical use.

#### Relationship between AT and peak $\dot{V}_{O_2}$

In males in their 20s, the ratio of AT to peak  $\dot{V}_{O_2}$  was  $0.534 \pm 0.075$  ( $n = 65$ ) in the cycle ergometer test and  $0.535 \pm 0.042$  ( $n = 18$ ) in the treadmill test. These were  $0.584 \pm 0.078$  ( $n = 64$ ) and  $0.578 \pm 0.087$  ( $n = 17$ ), respectively, in females in their 20s. There was no apparent difference in the ratios between cycle ergometer testing and treadmill ergometer testing. Since peak  $\dot{V}_{O_2}$  declines more than AT with age, and there is less gender difference in AT than in peak  $\dot{V}_{O_2}$ , the ratio of AT to peak  $\dot{V}_{O_2}$  increased with age and showed a tendency toward being higher in females than in males (Table 3). These observations were consistent with those of other reports [19].

#### Conclusions

This is the first report to show HR and blood pressure response during ramp exercise testing. We also report the normal values for major exercise capacity parameters in a large, healthy, Japanese population. These data could be an important reference in evaluating exercise capacity in clinical cardiology.

#### Disclosures

This study was supported by a research grant from the nonprofit organization Japan Heart Club.

All authors declare no conflicts of interest relevant to this article.

#### Acknowledgment

The authors would like to thank the following investigators for their technical support and for preparing the manuscript: Osamu Nagayama, Junko Nogami, PhD, Yoshie Nogami, PhD, Naohiko Osada, MD, and Kazuhiro P. Izawa, PhD.

#### Appendix A. Supplementary data

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jjcc.2012.09.010>.

#### References

- [1] Itoh H, Taniguchi K, Koike A, Doi M. Evaluation of severity of heart failure using ventilatory gas analysis. *Circulation* 1990;81(Suppl. II):II-31–7.
- [2] A report on standard values of cardiopulmonary exercise parameters in Japanese. Committee on clinical standard for exercise, Japanese Circulation Society –1990. *Jpn Cir J* 1992; 56 (Suppl V):1514–23 [in Japanese].
- [3] A report on project for developing measurements of activity and fitness for health. National Federation of Health Insurance Societies. 1994 [in Japanese].
- [4] Yamamoto M. Development of ramp protocol for use of treadmill and a formula for prediction of oxygen uptake. *Jpn J Appl Physiol* 1993;23:1–13 [in Japanese with English Abstract].
- [5] Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020–7.
- [6] Wasserman K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975;112:219–49.
- [7] Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am Rev Respir Dis* 1984;129(Suppl.):S35–40.
- [8] Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35:236–43.
- [9] Hansen JE, Casaburi R, Cooper DM, Wasserman K. Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol* 1988;57:140–5.
- [10] Kubozono T, Itoh H, Oikawa K, Tajima A, Maeda T, Aizawa T, Iimura H, Tokuda Y, Ohashi T, Fu LT. Peak  $\dot{V}_{O_2}$  is more potent than B-type natriuretic peptide as a prognostic parameter in cardiac patients. *Circ J* 2008;72:575–81.
- [11] Mancini DM, Eisen H, Kussmaul W, Mull R, Edmunds Jr LH, Wilson JR. Value of peak oxygen consumption for optimal timing of cardiac transplantation in ambulatory patients with heart failure. *Circulation* 1991;83:778–86.
- [12] Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* 2002;346:793–801.
- [13] Gitt AK, Wasserman K, Kilkowski K, Kleemann T, Kilkowski A, Bangert M, Schneider S, Schwarz A, Senges J. Exercise anaerobic threshold and ventilatory efficiency identify heart failure patients for high risk of early death. *Circulation* 2002;106:3079–84.
- [14] Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. Principles of exercise testing and interpretation. Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
- [15] Fox SM, Haskell WL. The exercise stress test: needs for standardization. In: Eliakim M, Neufeld HN, editors. *Cardiology: current topics and progress*. New York: Academic Press; 1970. p. 149–54.
- [16] Fox SM, Naughton JP, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 1971;3:404–32.
- [17] Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:153–6.
- [18] Daida H, Allison TG, Squires RW, Miller TD, Gau GT. Peak exercise blood pressure stratified by age and gender in apparently healthy subjects. *Mayo Clin Proc* 1996;71:445–52.
- [19] Neder JA, Nery LE, Castelo A, Andreoni S, Lerario MC, Sachs A, Silva AC, Whipp BJ. Prediction of metabolic and cardiopulmonary responses to maximum cycle ergometry: a randomized study. *Eur Respir J* 1999;14:1304–13.

# 経皮的肺動脈形成術を施行した慢性血栓塞栓性肺高血圧症患者 に対する心臓リハビリテーション

Cardiac rehabilitation for the patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension after balloon pulmonary angioplasty

あんどう かおり<sup>1</sup>, にしが まり<sup>1</sup>, ひうら まさのり<sup>1</sup>, まつばら ひろみ<sup>2</sup>, みこうら ひろし<sup>2</sup>  
安藤可織<sup>1</sup>, 西崎真里<sup>1</sup>, 日浦雅則<sup>1</sup>, 松原広己<sup>2</sup>, 三河内 弘<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人国立病院機構岡山医療センター リハビリテーション科, <sup>2</sup> 同 循環器科

## 抄 録

【目 的】 肺動脈形成術を実施した慢性血栓塞栓性肺高血圧症患者に対しリハビリテーションを実施し、その効果について検討すること。

【対象・方法】 2011年1月から12月までに当院で肺動脈形成術を受けた慢性血栓塞栓性肺高血圧症患者46例。リハビリテーションプログラムは術前よりリラクゼーションを中心とした呼吸理学療法を実施し、肺動脈形成術後は呼吸・循環動態が落ち着いた翌日～3日後より介入し呼吸訓練・呼吸筋トレーニング・上下肢筋力トレーニング・歩行・自転車エルゴメーターなどのリハビリテーションを退院時まで実施する。入院および退院時に血液検査・心臓超音波検査・呼吸機能検査・右心カテーテル検査・6分間歩行テスト・呼吸筋力測定・下肢筋力測定・ADL評価を実施した。

【結 果】 脳性ナトリウム利尿ペプチド、三尖弁逆流圧較差、平均肺動脈圧、心係数はいずれも有意に改善した ( $p < 0.05$ )。肺活量は軽度増加したがその他の呼吸機能の有意な変化はみられなかった。6分間歩行距離、呼吸筋力は有意に改善したが ( $p < 0.05$ )。下肢筋力の変化はなかった。また、Nagasaki University Respiratory ADL questionnaire (NRADL) の総合得点は有意に上昇した ( $p < 0.05$ )。

【結 語】 慢性血栓塞栓性肺高血圧症患者に対し肺動脈形成術治療に加え、リハビリテーションを実施することにより運動耐容能、呼吸筋力およびADLの改善を認めた。  
(心臓リハビリテーション (JJCR) 17 (2) : 261-265, 2012)

Key words : 慢性血栓塞栓性肺高血圧症, 肺動脈形成術, 心臓リハビリテーション

## 1. はじめに

慢性血栓塞栓性肺高血圧症 (chronic thromboembolic pulmonary hypertension : CTEPH) は、器質化血栓により肺動脈の閉塞や狭窄をきたし、肺高血圧症を発症する疾患である。低酸素血症を呈するため労作時息切れ、易疲労感、失神などの臨床症状をきたし、5年生存率は65.1%<sup>1)</sup>と予後不良とされていたが、近年新しい治療法の開発により、生命予後は目覚ましく改善してきている。末梢性病変に対するバルーンを用いた経皮的肺動脈形成術 (balloon pulmonary angioplasty : BPA) (図1) はその治療法の一つであり、当院ではその治療に際してリハビリテーションを積極的に実施している。今回その効果について検討したため、当院でのリハビリテーシ

ンの現状とともに報告する。

## 2. 対象および方法

2011年1月から12月までに、当院で初回BPA治療を受けた後にリハビリテーションを実施したCTEPH患者46例 (男性12名、女性34名) を対象とした。本研究は当院倫理委員会にて承認を受け、全員に対し研究参加前に説明し文書で同意を得た。患者背景を表1に示す。罹患期間 (労作時息切れなどの症状が生じてからの期間) は平均4.4年と長期間であった。

リハビリエントリー時と退院前に、呼吸循環動態と運動耐容能を評価した。評価項目は酸素投与量、血液生化学検査での脳性ナトリウム利尿ペプチド (BNP)、心臓超音波検査での三尖弁逆流圧較差 (TRPG)、右心カテ

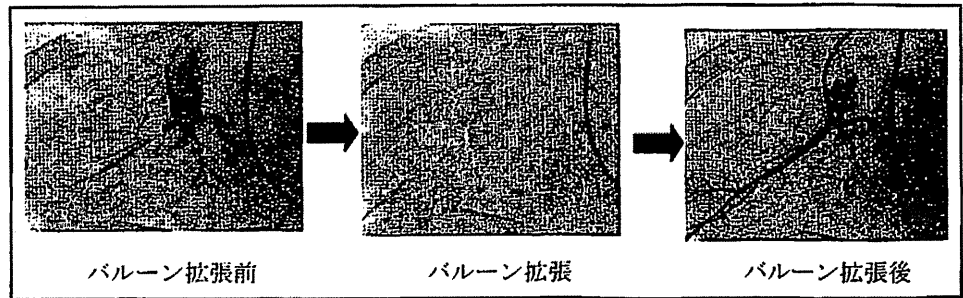


図1 肺動脈形成術 (BPA)

表1 患者背景

性別	男性 12 名 (26%) / 女性 34 名 (74%)
	平均値 ± 標準偏差
年齢 (歳)	61.2 ± 13.7
罹患期間 (年)	4.4 ± 3.9
入院時 NYHA (度)	2.6 ± 0.6
入院期間 (日)	44.7 ± 21.6
BPA 回数 (回)	2.7 ± 1.1
リハビリ実施回数 (回)	20 ± 11.8

ーテル検査での平均肺動脈圧 (mPAP), 心係数 (CI), 呼吸機能検査での肺活量 (% VC), 一秒率 (FEV<sub>10</sub>%), 拡散能 (% DL<sub>CO</sub>) である。また, 運動耐容能の指標として, 6分間歩行試験を実施し, その際の歩行距離 (6MWD) のほかに, 息切れ度 (修正 Borg 指数) および下肢疲労度 (修正 Borg 指数) を聴取した。下肢筋力はストレングスエルゴ (三菱電機エンジニアリング社製) を用い脚伸展筋力を, また呼吸筋力としては, AUTO スパイロメーター機器 (ミナト医科学社製) を用い最大吸気圧 (% P<sub>I</sub>max), 最大呼気圧 (% P<sub>E</sub>max) を測定した。また, ADL 調査には Nagasaki University Respiratory ADL questionnaire (NRADL) を用いた (図2)。

当院でのリハビリテーションプログラムを図3およびリハビリテーション内容を表2に示す。術前のリハビリテーションは, リラクゼーション目的での呼吸筋マッサージや呼吸体操, ADL 維持目的の低負荷での歩行等にとどめる。BPA 後は最低 24 時間非侵襲的陽圧換気 (NPPV) を実施するが, NPPV を離脱した翌日~3 日後よりリハビリテーションを再開する。1 回の入院で 2~3 session の BPA を行うが, 各 session は肺水腫および血行動態の改善のため 1~2 週間あける。術後のリハ

項目	動作速度	息切れ	酸素流量	合計
食事	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
排泄	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
整容	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
入浴	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
更衣	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
病室内移動	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
病棟内移動	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
院内移動	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
階段	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
外出・買い物	0・1・2・3	0・1・2・3	0・1・2・3	
合計	/30 点	/30 点	/30 点	
連続歩行距離	0:50m 以内 2:50~200m 4:200~500m 8:500~1km 10:1km 以上			
合計	/100 点			

<動作速度>	<息切れ>	<酸素流量>
0:できない, かなり休みをとらないとできない	0:非常にきつい これ以上は耐えられない	0:2L/分以上
1:途中で一休みしないとできない	1:きつい	1:1~2L/分
2:ゆっくりであれば休まずにできる	2:楽である	2:1L/分以下
3:スムーズにできる	3:全く何も感じない	3:酸素と必要としない

図2 Nagasaki University Respiratory ADL questionnaire (NRADL)

ビリ内容は, 術前のものに筋力トレーニング (上下肢・呼吸筋), 歩行・自転車エルゴメーター, ADL 動作訓練 (入浴・階段) などを追加する。そして退院前に入院時と同様の退院時評価を行った。

なお, 統計学的解析には Paired t 検定を用い, 危険率 5% 未満を有意とした。

### 3. 結果

入院平均期間 44.7 ± 21.6 日 (19~129 日) のうち, 平均 BPA 回数は 2.7 ± 1.1 回 (1~6 回), 平均リハビリテーション日数は 20 ± 11.8 回であった。入院および退院時の各項目の結果を表3に示す。mPAP は 41.3 ± 10.8 から 26.7 ± 7.1 mmHg, CI は 2.6 ± 0.8 から 3.4 ± 0.7 L/min/m<sup>2</sup>, TRPG は 71.9 ± 26.2 から 38.3 ± 10.8

図3 CTEPH患者のリハビリテーションプログラム

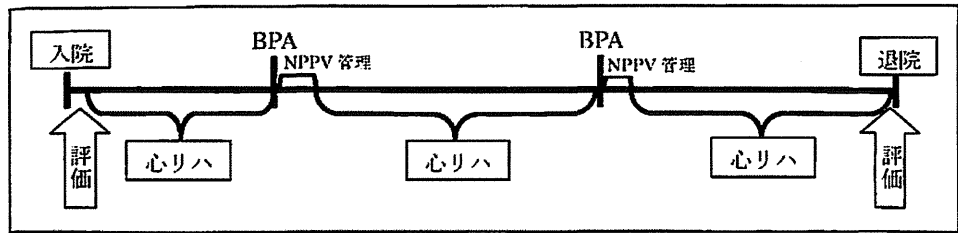


表2 リハビリテーション内容

呼吸筋マッサージ, 呼吸体操, 呼吸指導
上下肢筋力トレーニング 自重, 重錘 0.25kg~ 1セット10回×2~3セット
呼吸筋トレーニング 重錘負荷法 1.0kg~ インセンティブスパイロメトリー 1セット 吸気・呼気 各20回
歩行, 自転車エルゴメーター, ストレングスエルゴ
ADL動作訓練 (階段昇降, 入浴)

mmHg. BNPは249.8 ± 499.1から35.2 ± 31.6 pg/mLへといずれも有意に改善した。酸素投与量は2.5 ± 2.0から1.5 ± 1.2Lと有意に減少したが、呼吸機能においては%VCが軽度上昇したのみで、その他の有意な変化はみられなかった。6MWDは269.1 ± 152.2から319.2 ±

91.0mと有意に上昇した。呼吸筋力は%Plmax, %PEmaxとも有意に上昇したものの、下肢筋力の大きな改善はみられなかった。NRADLの総合得点においては、62.5 ± 20.0から74.1 ± 16.8点へと有意に上昇した。

#### 4. 考察

BPA治療により血行動態は改善し、同時に6MWDも増加することが、当院の研究で明らかになっている。その要因については、もちろんBPAによる運動時の換気血流不均衡の改善や、肺血管抵抗低下による心拍出量の増加が大きく影響していると考えられるが、息切れを軽減させ運動耐容能をさらに改善させるためには、適切なリハビリテーションの介入が大きな役割を担っていると考えられる。CTEPH患者においては一般に罹患期間が長い為、長期間のdeconditioningによる骨格筋の減少や機能異常を回復させること、および呼吸筋疲労に

表3 入院時と退院時の比較

	入院時	退院時	p-value
mPA圧 (mmHg)	41.3 ± 10.8	26.7 ± 7.1	< 0.05
CI (L/min/m <sup>2</sup> )	2.6 ± 0.8	3.4 ± 0.7	< 0.05
BNP (pg/mL)	249.8 ± 499.1	35.2 ± 31.6	< 0.05
TRPG (mmHg)	71.9 ± 26.2	38.3 ± 10.8	< 0.05
%VC (%)	97.6 ± 16.4	100.8 ± 17.3	< 0.05
FEV <sub>1.0</sub> (%)	75.8 ± 9.2	76.5 ± 8.2	n.s.
%DLco (%)	58.8 ± 13.2	55.8 ± 12.0	n.s.
酸素投与量 (L)	2.5 ± 2.0	1.5 ± 1.2	< 0.05
6MWD (m)	269.1 ± 152.2	319.2 ± 91.0	< 0.05
息切れ度: 修正 Borg 指数	2.4 ± 1.7	2.1 ± 1.8	n.s.
下肢疲労度: 修正 Borg 指数	1.1 ± 1.6	1.0 ± 1.2	n.s.
脚伸展筋力 (N·m)	55.6 ± 41.2	57.1 ± 30.6	n.s.
%Plmax (%)	63.2 ± 28.9	90.8 ± 42.3	< 0.05
%PEmax (%)	72.3 ± 21.8	86.8 ± 33.6	< 0.05
NRADL (点)	62.5 ± 20.0	74.1 ± 16.8	< 0.05

表4 当院における肺高血圧症患者のリハビリテーション中止基準

項目	内容
自覚症状	開始前の倦怠感 実施中修正 Borg scale 5 (きつい) 以上の呼吸困難感
他覚的所見	実施中ふらつきやチアノーゼ
心拍数	開始前 110 bpm 以上, 実施中 120 (~130) bpm
血圧	開始前収縮期血圧が 74 mmHg 未満, 実施中 10 mmHg 以上の低下, 開始前 160 mmHg 以上
SpO <sub>2</sub>	開始前 94%以下, 実施中 87%以下
不整脈	上室性および心室性不整脈の有意な増加
合併症	心不全悪化, 肺胞出血, 筋肉痛など

よる仕事量の増大を最小限にとどめることが重要である。そこで、当院では安静度がベッド上であっても呼吸循環動態が安定していれば、自重や重錘を用いた上下肢筋力トレーニングを実施している。一般に心不全に対する運動療法の効果として、骨格筋の筋肉量・ミトコンドリア容積の増加・骨格筋代謝および機能の改善などが知られているが<sup>4)</sup>、CTEPH 患者にも同様の効果が期待できると考える。今回、退院時に下肢筋力の有意な変化は認めなかったが、退院時 6MWD が延長していたにもかかわらず息切れ感と同様に下肢疲労感が不変であったことは、入院中の下肢筋力トレーニングにより筋力が維持できていた成果と考えている。内らは特発性肺動脈性肺高血圧症を対象にリハビリテーションを実施し、30 日以上以上の症例において筋力の改善は大きかったと報告しており<sup>5)</sup>、当院においても今後リハビリを継続し検討していく予定である。

一方、呼吸筋トレーニングは、慢性閉塞性呼吸器疾患 (COPD) だけでなく心不全患者においても運動耐容能、換気効率、QOL を改善させるとの報告があるが<sup>6)</sup>、CTEPH 患者においても有効性が期待される。しかし、BPA 治療後においても、残存狭窄を有する場合や運動時の血行動態は正常化していない場合があり、また労作時低酸素性肺血管攣縮を防ぐためにも、呼吸循環動態に十分注意しながら運動療法ならびに筋力トレーニングを実施しなくてはならない。当院では AHA, European Society of Cardiology (ESC) Working Group による心不全のリハビリテーション中止基準を参考して、肺高血圧症患者のリハビリテーション中止基準を作成し (表 4)、必ずモニター監視のもとリハビリテーションを実施している。

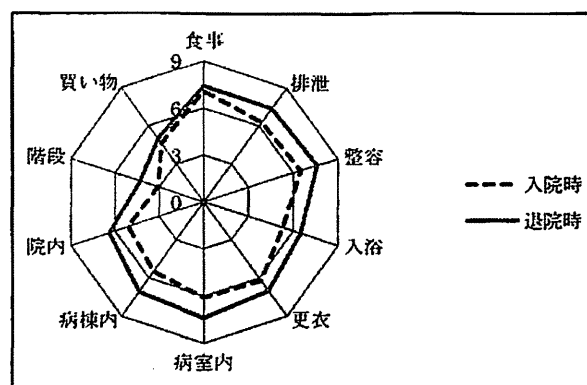


図4 NRADL 評価の詳細～全症例の入院時・退院時の変化

また、NRADL を詳細にみても、入浴・階段・買い物の項目において入院時の点数が低いことがわかる (図 4)。当院では、パルスオキシメーターで酸素飽和度を確認しながら、リハビリセンターで階段昇降時の呼吸方法や酸素ポンベの取り扱い方の指導を、また病棟で入浴時の呼吸指導を実施している。退院時における両項目の改善は、これら ADL 指導の成果が大きいと考えている。

BPA 術後の合併症として、血痰は問題となる 경우가多く、その主な原因は再灌流性肺障害によるものである。重症例では、人工呼吸器管理が必要となるが、状態が落ちついた時点より呼吸理学療法、四肢可動域訓練を中心に介入する。その中でも、気道内分泌の移動促進や下側肺障害の予防を目的とした体位ドレナージは重要であるが、体位によっては換気・血流不均衡の影響による酸素化の悪化が生じるため、注意が必要である。

従来、CTEPH を含む肺高血圧症患者に対して、積極的な運動は肺高血圧症を進行させるため禁忌とされてい

たが、治療法の進歩により生命予後が改善されつつある現在において、リハビリテーションの重要性や必要性が注目されている。しかし、その安全性や有効性についての報告はいまだ少ない。本研究はBPAおよび内科的治療と併行して行われているため、純粋にリハビリテーションのみの効果を評価しているわけではないが、少なくとも安全性を示すことはできたと考えている。本疾患におけるリハビリテーションの有効性確立のため、今後さらなる検討が必要と考える。

## 5. 結語

CTEPH患者において、BPA治療は血行動態や運動耐容能を改善させる。運動耐容能やQOLの向上のため、適切なリハビリテーションの介入は安全で有効な手段と思われる。

## 文 献

- 1) 中西宣文：肺高血圧の分類とその臨床像. Heart View 2011；15：8-12.
- 2) 皆月 隼, 溝口博喜, 松原広己, 他：慢性肺血栓塞栓性肺高血圧症に対するカテーテル治療. 呼吸と循環 2011；59：67-75.
- 3) 芹澤直人, 下河原裕人, 川上崇史, 他：慢性肺血栓塞栓性肺高血圧症に対する血管内治療. 医学のあゆみ 2012；240：117-122.
- 4) 後藤葉一：心不全治療法としての心臓リハビリテーション. 心臓リハビリテーション 2008；13：273-277.
- 5) 内 昌之, 佐地 勉, 原田 孝：原発性肺高血圧症に対するプロスタサイクリン持続静注療法中の心配リハビリテーションの可能性. J Cardiol 2005；46：183-193.
- 6) 後藤葉一：心不全の心臓リハビリテーション：最近の進歩. 心臓リハビリテーション 2010；15：59-65.

(受付日：平成24年2月17日／受理日：平成24年4月13日)

## 心臓血管外科手術後患者の肺活量の回復に関連する要因

Factors related to recovery trend of vital capacity  
in patients after cardiovascular surgery渡利 太<sup>1)</sup> 横山茂樹<sup>2)</sup> 西崎真里<sup>3)</sup> 岡田正比呂<sup>3)</sup>FUTOSHI WATARI<sup>1)</sup>, SHIGEKI YOKOYAMA<sup>2)</sup>, MARI NISHIZAKI<sup>3)</sup>, MASAHIRO OKADA<sup>3)</sup>

要旨：【目的】本研究の目的は、心臓血管外科手術後の肺活量 (Slow Vital Capacity, SVC) の回復に影響を及ぼす要因を明らかにすることである。

【方法】対象は胸骨正中切開術による心臓血管外科手術待機患者とした。方法は術前後の SVC 回復率と個別情報や手術情報、術前後の胸郭拡張差 (Chest Expansion Difference, CED) の変化率や術後の創部痛および移動能力との関連性を stepwise 法による重回帰分析にて検討した。

【結果】術前 SVC は  $2.51 \pm 0.69$  L、術後 2 週時は  $2.06 \pm 0.61$  L と有意に低下した (SVC 回復率 82.7%)。重回帰分析の結果、術後 1 週時の CED 変化率 (腋窩高) が抽出された。

【考察】術後 1 週時の CED 変化率 (腋窩高) が高いほど SVC 回復率は良い傾向が示唆された。

【結論】心臓血管外科手術後 2 週時の SVC 回復率には、術後 1 週時の CED 変化率 (腋窩高) が関連している可能性を示唆した。

キーワード：心臓血管外科手術, 肺活量, 胸郭拡張差

Abstract: Purpose: The purpose of the study is to clarify the factors affecting the recovery process of slow vital capacity (SVC) after cardiovascular surgery.

Methods: The study included patients awaiting cardiovascular surgery by median sternotomy. We examined the patients before and after surgery with regard to changes in their SVC recovery rate, specific conditions, surgical information, and chest expansion difference (CED) rate, and the relationship between operative wound pain and post-operative mobility using stepwise multiple regression analysis.

Results: The SVC significantly decreased from  $2.51 \pm 0.69$  L at pre-operation to  $2.06 \pm 0.61$  L at two weeks post-operation, (SVC recovery rate: 82.7%). As a result of multiple regression analysis, the change in CED rate one week after surgery was determined (axilla position).

Discussion: The results suggest that the higher the change in the CED rate (axilla position) one week after surgery, the better is the SVC recovery rate.

受付日：2012年7月24日、採択日：2012年9月29日

1) 独立行政法人国立病院機構東広島医療センター リハビリテーション科

〒739-0041 広島県東広島市西条町寺家513

TEL082-423-2176

Department of Rehabilitation, National Hospital Organization Higashihiroshima Medical Center: 513 Jike, Saijou-chou, Higashihiroshima-City, Hiroshima 739-0041, Japan.

TEL+81082-423-2176 E-mail: watari\_futoshi@hiro-hosp.jp

2) 京都橋大学 健康科学部理学療法学科

Faculty of Health Science, Kyoto Tachibana University

3) 独立行政法人国立病院機構岡山医療センター

National Hospital Organization Okayama Medical Center

Conclusion: The study concludes that the improvement in the SVC recovery rate two weeks after cardiovascular surgery may be attributed to the change in the CED rate (axilla position) one week after surgery.

Key words: Cardiovascular surgery, Vital capacity, Chest expansion difference

## I. はじめに

心機能障害を有する者は、1996年に約30万人、2006年では約60万人と増加している<sup>1)</sup>。これに伴い心臓血管外科の手術件数も2002年から年間5万件を超えている<sup>2)</sup>。小山らは、手術後の仕事復帰までの期間について退院後1ヶ月以内が50%、2ヶ月以内が30%、2ヶ月以上が20%を占めると述べている<sup>3)</sup>。このように心臓血管外科手術後患者における社会復帰の遅れは問題であり、術後リハビリテーションが重要となっている。

心臓血管外科手術後のリハビリテーションについて、2007年に日本循環器学会や日本心臓リハビリテーション学会、日本理学療法士協会を含む10団体で構成された合同研究班が「心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン」(ガイドライン)を提唱した<sup>4)</sup>。この中で運動療法の効果として、運動耐容能やQuality of life (QOL)の改善が紹介されている。さらに身体活動低下や胸帯などによる胸郭運動制限が、運動耐容能の回復を妨げ、合併症の発生を助長する可能性があることを示唆している。この点より手術翌日から呼吸器合併症予防を目的に呼吸理学療法を行うことが推奨されている。

心臓血管外科手術後における運動耐容能の経時的変化に関して、佐藤ら<sup>5,6)</sup>や齊藤ら<sup>7)</sup>は、手術直後に低下するが術後20日程度で手術前と同程度に回復すると述べている。また黛らは、胸骨正中切開術による術後の創部痛は術後3~4日目で最も強くなるが、その後は徐々に減少し、術後2週間ではほぼ消失すると述べている<sup>8)</sup>。一方、呼吸機能の経時的変化に関して、高橋らは肺活量(Slow Vital Capacity: SVC)が心臓外科手術後1日目に手術前の48%まで低下し、術後1週間で72%、術後2週間で80%まで回復するものの手術前の値と比べて低下した状態であると述べている<sup>9)</sup>。またBraunらは冠動脈バイパス術後患者の術後2週間での肺活量(Vital Capacity: VT)回復は手術前値の約66%と述べている<sup>10)</sup>。さらに心機能について、ガイドラインではバイパス術後、弁膜症術後において不変~改善としている<sup>4)</sup>。また手術後早期に関して千田らは、バイパス術後2週間では心機能(Left Ventricular Ejection Fraction: LVEF)は不変であると述べている<sup>11)</sup>。一方、

佐藤らは、バイパス術、弁膜症術ともに約11日後では心機能(最大酸素脈, LVEF)は低下すると述べている<sup>5,6)</sup>。このように手術後早期には、運動耐容能や創部痛、心機能は回復もしくは回復傾向である一方、肺活量は手術前と比べて低下した状態となっている。

心臓血管外科手術後の肺活量の回復について、Lockeら<sup>12)</sup>やRagnarsdottirら<sup>13)</sup>は、胸骨正中切開術による上部胸郭可動性の制限と肺活量の低下に関連があると報告している。また高橋ら<sup>9)</sup>は手術後に起立・歩行能力の回復が良い症例ほど、肺活量回復率が高いと述べている。しかしこれらの研究では、手術前後における歩行などの身体機能や胸郭可動性の変化、手術による影響などを加味して検討されておらず、術後肺活量の回復に影響を及ぼす要因は未だ明らかにされていない。

そこで本研究では、心臓血管外科手術後の肺活量の回復に関連する要因を明らかにすることを目的として、胸郭可動性の経時的変化や患者の属性、手術の情報、術後の移動能力および疼痛の程度を指標として検討した。術後の肺活量低下に関与する要因を明確にすることは、周術期の呼吸理学療法を実施するにあたって有用な基礎的データになることが期待される。

## II. 方法

### 1. 対象

平成21年3月から平成22年3月までの間、岡山医療センターの心臓血管外科において、胸骨正中切開術による心臓血管外科手術を予定している待機患者とした。取込基準は、手術前における測定・評価が可能な者、術前の移動能力が独歩自立の者、併存疾患として中枢神経疾患や慢性呼吸器疾患を有さない者とした。除外基準は、重篤な術後合併症を有した者、精神神経学的症状を発現した者、手術後に再開胸した者とした。

全ての対象者には、手術前に本研究の概要を説明した上で、書面により参加協力の同意を得た。なお、本研究は岡山医療センター臨床研究審査委員会の承認を受けて実施した(承認番号; 20090225)。



## 2. 方法

### 1) 対象者および手術に関する情報

患者の属性として、年齢、性別、身長、体重、体格指数 (Body Mass Index, BMI)、診断名、合併症、心機能 (Fractional Shortening, FS)、腎機能 (血中 Creatinine, 血中 Cr)、移動状況の10項目をカルテより調査した。

手術に関する情報として、術式、体外循環時間、大動脈遮断時間、麻酔時間、人工呼吸器管理時間 (麻酔終了から人工呼吸器離脱までの時間)、出血量の6項目を手術記録より調査した。

### 2) 手術前後の肺活量と胸郭可動性、手術後の創部痛および移動状況

手術前後の呼吸機能測定について、過度の努力性呼吸による肺活量測定は循環動態に悪影響を与える可能性があることから、術前より Slow Vital Capacity (SVC) を採用した。具体的には、まずは安静呼吸の後、ゆっくりと最大呼気位まで呼出させ、引き続きゆっくりと吸気を行った。そして最大吸気位までに達したら、再び最大呼気位まで呼出させた。測定には電子スピロメータ (ミナト医科学社製 AS-507) を用いて端坐位にて行った。特に術後の測定では痛みの出ない程度に行うように留意した。測定は2回ずつ実施し、最大値を代表値とした。測定時期は手術前日および術後2週時とした。

胸郭可動性の指標として胸郭拡張差を計測した。方法は田平ら<sup>15-17)</sup>や鈴木ら<sup>18)</sup>と同様の方法にて実施した。測定肢位は安静坐位とし、測定部位は腋窩高、剣状突起高、第10肋骨高の3部位とした。測定にはテープメジャーを使用し、最大吸気位および最大呼気位の胸郭周径を3呼吸ずつ測定した。1呼吸毎の吸気位および呼気位の周径から胸郭拡張差を算出し、最大値を代表値として採用した。測定に際してマニュアルを作成し、数回練習を実施した。測定時期は手術前日と術後1週時とした。また測定者は8年の臨床経験を有する理学療法士1名とした。尚、予備研究の結果、測定者の検者内信頼性 ICC (1,1) は0.97と信頼性が高いことを確認した。

術創部の疼痛評価は視覚アナログ尺度 (Visual Analog Scale, VAS) を用い、深呼吸時における術創部 (胸骨周囲) の疼痛を術後1週時に聴取した。VASの範囲は0から1とした。術後の移動状況として手術から立位開始までの日数および歩行開始までの日数を記録した。

### 3) 周術期リハビリテーションプログラム

周術期プログラムは、深呼吸と四肢の自動運動を術前後で自主訓練として実施するよう術前指導を行った。術後は人工呼吸器離脱後より端坐位を開始した。また心臓ドレーンを抜去後より立位を開始し、可能であれば歩行まで開始した。端坐位、立位、歩行の開始は理学療法士もしくは病棟看護師によって実施した。

疼痛コントロールは、疼痛に応じて嚥下可能であれば経口薬 (ロキソニン) を、嚥下不可であれば筋肉注射 (レバタン、タンタジン、アタラップス) を8時間間隔で投与した。また基本的に胸帯は使用しないこととした。

### 4) 分析方法および統計処理

術後2週時における SVC 回復率は、術前の値に対する術後2週時の SVC 測定値の割合で示した。また術後1週時における3部位の胸郭拡張差変化率も同様に、術前の胸郭拡張差で除して百分率で割合を算出した。統計処理は、術前と術後2週時の SVC および術前と術後1週時の胸郭拡張差を比較することを目的に、対応のある t-test を行った。

また術後2週時における SVC の回復と関連する要因を検討することを目的として、SVC 回復率を従属変数、患者の属性や術前情報、術中情報、手術前後の胸郭拡張差変化率、手術後の創部痛および移動状況を説明変数として Stepwise 法による重回帰分析を行った。

尚、事前に単変量解析によって変数選択を行い、危険率0.05を下回る変数のみを選択した。多重共線性の影響に対しては、相関行列表を作成し検討した結果、説明変数間には  $r \geq 0.8$  となるものは確認できなかった。またモデル集計表の R や  $R^2$  が極端に低くないかを確認した。さらに全ての変数の分散インフレ係数 (VIF) が10以下であり、多重共線性に問題ないことを確認した。また残差の分析ではモデル集計表の Durbin-Watson 比の確認も行った。

統計解析ソフトには Dr. SPSS II for Windows を用い、統計的有意水準は両側検定にて危険率5%未満とした。

## III. 結果

### 1. 集計対象

研究期間中において、胸骨正中切開術による心臓血管外科手術を受け、術前評価が可能であった患者は43名であった。この内、再手術や術後合併症などによっ

て11名を除外し、32名（男女比1：1）を本研究の対象として分析した。尚、対象者の疾患、合併症、術式に関する情報は表1に示すとおりであった。

表1 対象者の疾患、合併症、術式に関する情報 (n=32)

疾患 (名)		人数
疾患 (名)	冠動脈疾患	14
	弁膜疾患	22
	大動脈疾患	5
	その他	1
合併症 (名)	糖尿病	14
	脂質異常症	9
	高血圧	17
	その他	5
術式 (名)	冠動脈バイパス術	10
	弁形成術	5
	弁置換術	16
	大動脈置換術	3
	Bentall	1
	その他	2

疾患、合併症、術式は重複あり。

## 2. 心臓血管外科手術前後における SVC および胸郭拡張差の変化 (表2)

術前 SVC は  $2.51 \pm 0.69$  L であり、術後2週時では  $2.06 \pm 0.61$  L と統計的に有意に低下していた ( $p < 0.01$ )。また術後2週時の SVC 回復率は82.7%であった。

胸郭拡張差の変化に関して、腋窩高と剣状突起高、第10肋骨高の3部位で術前と比べて術後1週時において統計的に有意に低下していた (いずれも  $p < 0.01$ )。

表2 SVC および胸郭拡張差における術前、術後1週時の比較 (n=32)

	術前	術後	危険率
SVC* (L)	$2.51 \pm 0.69$	$2.06 \pm 0.61$	$< 0.01$
胸郭拡張差			
腋窩高 (cm)	$2.84 \pm 1.04$	$1.67 \pm 0.88$	$< 0.01$
剣状突起高 (cm)	$3.14 \pm 1.37$	$1.89 \pm 1.31$	$< 0.01$
第10肋骨高 (cm)	$2.95 \pm 1.74$	$2.04 \pm 1.60$	$< 0.01$

値は平均±標準偏差で示す。SVC: Slow Vital Capacity. \*: 術前と術後2週時の比較

## 3. SVC 回復率と測定項目の関連性

SVC 回復率は、対象者の属性、術前情報とは相関が認められなかった (表3)。術中・術後情報では立位開始までの時間と有意な相関が認められたが ( $p < 0.05$ )、その他の要因とは相関が認められなかった (表4)。胸郭拡張差変化率 (腋窩高、剣状突起高、第10肋骨高) とは有意な相関が認められた ( $p < 0.01$ ,  $p <$

表3 属性、術前情報と SVC 回復率の相関 (n=32)

	測定値	相関係数	危険率
年齢 (歳)	$69.7 \pm 10.2$	-0.04	0.80
身長 (m)	$1.58 \pm 0.09$	0.23	0.19
体重 (kg)	$56.9 \pm 11.8$	0.06	0.72
BMI	$22.5 \pm 3.62$	-0.10	0.57
術前 FS (%)	$35.6 \pm 9.4$	-0.16	0.38
術前 SVC (L)	$2.51 \pm 0.69$	-0.16	0.35
術前血中 Cr (mg/dl)	$1.03 \pm 0.55$	-0.31	0.07

値は平均±標準偏差で示す。SVC: Slow Vital Capacity, BMI: Body Mass Index, FS: Fractional Shortening, Cr: Creatinine.

表4 術中・術後情報と SVC 回復率の相関 (n=32)

	測定値	相関係数	危険率
出血量 (ml)	$872.3 \pm 951.3$	-0.05	0.78
体外循環時間 (分)	$145.2 \pm 57.2$	0.31	0.09
大動脈遮断時間 (分)	$99.9 \pm 40.1$	-0.16	0.41
麻酔時間 (分)	$402.1 \pm 107.1$	0.34	0.05
人工呼吸器管理時間 (分)	$1892.2 \pm 2248$	-0.30	0.09
立位開始までの時間 (日)	$4.8 \pm 2.7$	-0.35	0.04
歩行開始までの時間 (日)	$5.4 \pm 4.0$	-0.12	0.51
創部痛 (VAS)	$0.15 \pm 0.19$	-0.09	0.61

値は平均±標準偏差で示す。SVC: Slow Vital Capacity, VAS: Visual Analog Scale

表5 胸郭拡張差変化率と SVC 回復率の相関 (n=32)

	測定値	相関係数	危険率
腋窩高	$0.6 \pm 0.4$	0.64	$< 0.01$
剣状突起高	$0.6 \pm 0.3$	0.43	0.01
第10肋骨高	$0.8 \pm 0.4$	0.37	0.03

値は平均±標準偏差で示す。SVC: Slow Vital Capacity

表6 SVC の影響因子と重回帰分析 (n=32)

	非標準化係数 B	標準化 係数 ( $\beta$ )	危険率 (p)	95%信頼区間	
				下限	上限
定数	0.67	0.04	$< 0.01$	0.60	0.76
胸郭拡張差 (腋窩高) 術後1週時 の変化率	0.24	0.05	$< 0.01$	0.13	0.35

$R^2 = 0.57$ , SVC: Slow Vital Capacity

0.05,  $p < 0.05$ ) (表5)。

SVC 回復率は、胸郭拡張差 (腋窩高) 術後1週時の変化率が有意に推定に寄与した ( $\beta = 0.64$ ,  $p < 0.01$ )。一方、手術後の創部痛や移動状況は、説明変数として抽出されず、SVC 回復率との関係は認められなかった (表6)。また術後1週時の創部痛について、中程度 (VAS で0.5) 以上の疼痛の訴えがあった者は6名 (18.7%) であった。

#### Ⅳ. 考 察

本研究は、心臓血管外科手術後の SVC の回復に関連する要因を明らかにすることを目的とし、Stepwise 法による重回帰分析を実施した。その結果、術後 1 週時の胸郭拡張差変化率（腋窩高）が高いほど SVC 回復率は良い傾向が示唆された。

これまでの Locke は肺活量の低下と腋窩部の胸郭可動性の変化に相関があると報告している<sup>12)</sup>。また Ragnarsdottir も肺活量の低下と胸郭全体の動きに相関があると述べている<sup>13)</sup>。このように肺活量の回復と上部胸郭もしくは胸郭全体の可動性との関連性を示唆しており、本研究結果と一致していた。上部胸郭は胸骨正中切開術の術創部を含んでいるため、手術直後は侵襲により可動性が低下しており、胸郭可動性の回復が肺活量の回復に影響しているものと推察された。

一方、本研究では、術後の起立・歩行開始時期と肺活量との関連性については認められなかった。この点については Locke<sup>12)</sup>や Ragnarsdottir<sup>13)</sup>らの研究では明らかとなっていない。また高橋は、肺活量の回復と年齢や BMI、手術状況、術後の起立・歩行の関連性について検討し、肺活量の回復と術後の起立・歩行開始について相関があると述べている<sup>9)</sup>。本研究においても、SVC 回復率と立位開始までの時間についてやや強い相関がみられたが（表 4）、肺活量に影響を及ぼす因子について重回帰分析を用いて総合的に検討を行ったところ、肺活量の回復に術後の起立・歩行開始は影響を及ぼす可能性は低いと考えられた。先行研究と異なる結果が得られた理由として、高橋らの心臓外科手術後プログラムでは、起立までの期間が 2.6 日<sup>14)</sup>と本研究の 4.8 日（表 4）と比べて明らかに早いためであると考えられた。

術創部の疼痛に関して、本研究の結果から肺活量の回復に影響を及ぼさないと考えられた。黛らは心臓外科手術後患者の疼痛に関して Face pain rating scale を用いて検討しており、胸骨正中切開術後に中程度（辛い感じ）以上の疼痛出現率は術後 3 日に全体の 30% となり、術後 1 週では 20% 以下まで減少し、術後 2 週で 0% となると報告している<sup>8)</sup>。本研究の結果では術後 1 週時の中程度以上の疼痛を訴える者が 18.7% であり、黛らの報告よりやや改善傾向にあったことから、術創部の疼痛による影響が肺活量に反映されていなかったと推察された。

手術状況について、今回の結果では体外循環時間、大動脈遮断時間、麻酔時間、人工呼吸器管理時間、出

血量は肺活量の回復に影響を及ぼさないと考えられた。Mcguire ら<sup>19)</sup>や Nicholson<sup>20)</sup>らは心臓血管外科手術後の人工呼吸器管理時間は術後の肺活量に関連しないとしており、また高橋<sup>9)</sup>や Ragnarsdottir<sup>13)</sup>は手術状況の体外循環時間、大動脈遮断時間、麻酔時間、人工呼吸器管理時間、出血量、深部体温について術後の肺活量の回復に関連しないとしており本研究もこれらの先行研究の結果を支持するものとなった。

本研究の研究方法に関して、胸郭可動性をみる指標としてテープメジャー法による胸郭拡張差を採用した。これは一般的に用いられている方法<sup>15-18)</sup>であり、Bockenbauer らはテープメジャー法による胸郭可動域の測定は信頼性が高いと報告している<sup>21)</sup>。一方、メジャーの扱れや引っ張り力の違いで測定値に誤差を生じることから注意が必要とされている<sup>22)</sup>。

本研究の限界は、下部胸郭の可動性と横隔膜の動きは関連しているといわれているが<sup>15)</sup>、横隔膜の動きを評価していないため上部胸郭と下部胸郭の可動性の変化の違いを考察できていないことである。

#### Ⅴ. 結 論

本研究では、心臓血管外科手術後の SVC 回復に関連する要因を明らかにするため、患者の属性や手術情報、術後の疼痛や移動能力、術前後の胸郭可動性の変化との関連性を検討した。その結果、術後 2 週時の SVC 回復率には、胸郭拡張差（腋窩高）術後 1 週時の変化率が関連している可能性を示唆した。

本研究の結果から、心臓血管外科手術後における呼吸理学療法を実施するにあたり、肺活量低下の要因を探る上で胸郭可動性は有用な指標になると考えられた。

#### 文献

- 1) 厚生労働省：身体障害者数。身体障害児・者実態調査。2006：3-4。
- 2) [http://www.jpats.org/modules/about/index.php?content\\_id=16](http://www.jpats.org/modules/about/index.php?content_id=16) (参照 2009. 2. 22)
- 3) 小山照幸, 宮野佐年, 鈴木和彦・他：心臓術後患者の意識調査と退院後の QOL。一第 1 報一。心臓リハビリテーション, 2002, 7: 178-182。
- 4) [http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2007\\_nobara\\_h.pdf](http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2007_nobara_h.pdf) (参照 2009- 2 - 22)
- 5) 佐藤滋, 鎌田潤也, 上嶋健治・他：僧帽弁閉鎖不全症の開心術前後の運動耐容能の変化。理学療法学, 1999, 26: 43-46。
- 6) 佐藤滋, 鎌田潤也, 上嶋健治・他：冠動脈バイパス術前後の運動耐容能の変化に関する検討。理学療法学, 1999, 26: 249-253。

- 7) 齊藤花織, 荒川直志, 上嶋健治・他: 高齢者における心臓外科手術前後の運動耐容の変化. 理学療法学, 2001, 28: 320-324.
- 8) 黛江里子, 石井典子, 伊達利恵・他: 胸骨正中切開後の痛みに関する実態調査 - 第2報 -. 心臓リハビリテーション, 2004, 10: 75-78.
- 9) 高橋哲也, 奈良勲, 有田信一・他: 心臓外科手術後の肺活量の回復について - 経時的变化とインセンティブスパイロメータの効果 -. 理学療法学, 2003, 30: 335-342.
- 10) Braun SR, Birnbaum ML, Chopra PS: Pre-and postoperative pulmonary function abnormalities in coronary artery revascularization surgery. Chest, 1978, 73 (3): 316-320.
- 11) 千田佳史, 山本文雄, 山本浩史・他: 高齢者冠状動脈バイパス術の検討 - 術後重要臓器障害における加齢の関連性 -. 秋田医学, 2004, 31: 131-139.
- 12) Locke TJ, Griffiths TL, Mould H, et al.: Rib cage mechanics after median sternotomy. Thorax, 1990, 45: 465-468.
- 13) Ragnarsdottir M, Kristjansdottir A, Ingvarsdottir I, et al.: Short-term changes in pulmonary function and respiratory movements after cardiac surgery via median sternotomy. Scand Cardiovasc J, 2004, 38: 46-52.
- 14) 高橋哲也, Jenkins S, 安達仁・他: 冠動脈バイパス術後に呼吸理学療法は必要か? - 早期呼吸理学療法導入の効果 -. 理学療法学, 2001, 28(2): 31-37.
- 15) 田平一行, 関川則子, 神津玲・他: 慢性呼吸不全患者における胸郭拡張差が肺機能および呼吸困難感に及ぼす影響. 理学療法学, 1998, 25: 376-380.
- 16) 田平一行, 神津玲, 千住秀明: 中高年者における胸郭拡張差を加味した肺機能予測式の検討. 理学療法学, 1996, 23: 66-71.
- 17) 田平一行, 関川則子, 岩城基・他: 慢性閉塞性肺疾患患者における胸郭モビライゼーションの即時効果. 理学療法学, 2007, 34: 59-64.
- 18) 鈴木克昌, 高橋仁美, 菅原慶勇・他: 肺機能予測としての胸郭拡張差測定の有用性の検討. 日本ケア・リハビリテーション学会誌, 2007, 17: 148-152.
- 19) Mcquire B, Royse C, Royse A・et al.: Lung function following cardiac surgery is not affected by postoperative ventilation time. Ann thorac cardiovasc surg, 2000, 6 (1): 13-18.
- 20) Nicholson DJ, Kowalski SE, Hamilton GA・et al.: Postoperative pulmonary function in coronary artery bypass graft surgery patients undergoing early tracheal extubation: a comparison between short-term mechanical ventilation and early extubation. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2002, 16 (1): 27-31.
- 21) Bockenbauer SE, Chen H, Julliard KN・et al.: Measuring thoracic excursion: Reliability of cloth tape measure technique. J Am Osteopath Assoc, 2007, 107 (5): 191-6.
- 22) 岩倉博光, 松澤正: 理学療法評価学, 金原出版, 東京, 2003, pp18-25.