

ORIGINAL ARTICLE

# Relationships of muscle strength and power with leisure-time physical activity and adolescent exercise in middle-aged and elderly Japanese women

Rumi Kozakai,<sup>1</sup> Wataru Doyo,<sup>1</sup> Shigeki Tsuzuku,<sup>2</sup> Kyonosuke Yabe,<sup>3</sup> Miharu Miyamura,<sup>4</sup> Yasuo Ikegami,<sup>5</sup> Naoakira Niino,<sup>6</sup> Fujiko Ando<sup>1</sup> and Hiroshi Shimokata<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences: NILS, <sup>2</sup>Body Design Medical Institute Japan, <sup>3</sup>Graduate School of Health Sport Sciences, Osaka University of Health and Sport Sciences, <sup>4</sup>Department of Human Wellness, Tokai-Gakuen University, <sup>5</sup>Research Center of Health, Physical Fitness & Sports, Nagoya University, <sup>6</sup>Graduate School of Gerontology, Obirin University, Japan

**Aim:** The purpose of the present study is to assess the relationships of muscle strength and power with recent leisure-time physical activity and exercise during adolescence in middle-aged and elderly Japanese women.

**Methods:** The subjects consisted of 1128 community-dwelling women aged 40–79 years. They were interviewed about their physical activity habits during leisure time in the past 12 months and exercise they engaged in during adolescence. Muscle function was measured as grip strength, knee extension strength and leg extension power. Subjects were grouped into three intensity levels for leisure-time physical activity and as to whether or not they engaged in adolescent exercise. The relationships of muscle strength and power with leisure-time physical activity and adolescent exercise were assessed using analysis of covariance controlled for age, smoking status, annual income and education level.

**Results:** The proportion of subjects that participated in leisure-time physical activity was 67.1% (light, 33.7%; moderate or heavy, 33.4%). The subjects that engaged in adolescent exercise represented 41.9% of the total. There was a significant relationship between leisure-time physical activity and adolescent exercise. In the analysis of covariance controlled for age, smoking status, annual income and education level, leisure-time physical activity and adolescent exercise had significant main effects on all muscle strength and power measurements. However, there was no interaction effect between leisure-time physical activity and adolescent exercise.

**Conclusion:** The results suggest that current leisure-time physical activity and adolescent exercise benefit muscle function in middle-aged and elderly women.

**Keywords:** adolescent exercise, leisure-time physical activity, middle-aged and elderly, muscle power, muscle strength.

## Introduction

Regular physical activity and exercise are closely associated with muscle function. Previous cross-sectional studies suggest that regular physical activity, such as leisure-time physical activity or playing sports, is positively

Accepted for publication 14 January 2005.

Correspondence: Dr Rumi Kozakai, Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences, 36-3 Gengo, Morioka-cho, Obu city, Aichi 474-8522, Japan. Email: kozakai@nils.go.jp

associated with muscle strength and power,<sup>1,2</sup> and some longitudinal studies showed that elderly women who were very physically active maintained their knee extensor strength at a higher level.<sup>3,4</sup> Intervention studies also documented the effects of strength training on the improvement of muscle strength.<sup>5-11</sup> The stimuli of physical activity or exercise on skeletal muscle may help maintain or improve muscle function.

On the other hand, since muscle function develops rapidly during childhood and adolescence, reaching a peak during adulthood, the beneficial effects of exercise on muscle development seem to be greater during this period. Moreover, Malina noted that tracking of physical activity in youth was associated with physical performance in later life.<sup>12</sup> Therefore, it is important to pay attention not only to current physical activity but also to adolescent physical activity to prevent a decline of muscle strength and power in the elderly. However, little is known about the contribution of both current and adolescent physical activity on muscle function in middle-aged and elderly people.

The purpose of the present study was to assess the relationships of muscle strength and power with current leisure-time physical activity (LTPA) and past adolescent exercise (AEX) in middle-aged and elderly Japanese women. Although the age-associated changes in muscle strength and power were similar by gender, women are generally weaker than men across the adult life span.<sup>13-18</sup> Since women have a longer period of dependency than men, in spite of women's longer life expectancy,<sup>19,20</sup> poor muscle strength and power may be a more serious physical problem for elderly women, resulting in disability or difficulty in performing basic daily tasks. For these reasons, we focused on women in this study.

## Methods

### Subjects

The data for the present study were derived from baseline data collected as part of the initial survey of the National Institute for Longevity Sciences-Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA). In this project, the normal aging process has been assessed using detailed questionnaires and examinations including clinical evaluations, blood chemistries, anthropometrical measurements, physical fitness tests, nutritional analysis, and psychological tests. Details of the study are reported elsewhere.<sup>21</sup> The initial survey of NILS-LSA involved 2267 men and women aged 40-79 years. They were gender- and decade age-stratified random samples living in Obu city and Higashiura-cho Aichi Prefecture, Japan. Written informed consent was obtained from all the participants. Out of these 2267 participants, 1128 women were used as subjects in this study.

### Muscle function

Grip strength (GS): a handgrip dynamometer (Takei Co., Japan) was used to assess grip strength in kilograms. The subjects stood holding a handgrip dynamometer with their hands by their sides while squeezing with maximum force alternating the left and right hands. The average of two readings from each hand was used as the measurement result.

Knee extension strength (KES): the subjects were seated in an adjustable straight-back chair (Takei Co., Japan) with the pelvis, knee and ankle fixed at 90°. A strain gauge was attached to the distal leg by a strap just above the ankle. The subjects tried to extend their legs using maximum isometric force with the knee flexed at 90° while the amplified output from the strain gauge was recorded. The average of the maximum force that each leg attained after three attempts was used as the measurement result in kilograms.

Leg extension power (LEP): leg extension power was measured with the help of a sledge ergometer in a sitting position (Takei Co., Japan). The acceleration of the sledge was 0.73 m/s and the sledge stroke was 0.79 m. The subjects were fastened by a seat belt to the chair. In the starting position, the feet were placed on a footplate attached perpendicularly to a rail, and the knee angle was adjusted to 90°. The subjects were asked to extend their legs as quickly and powerfully as possible, so that the footplate started sliding horizontally on the rail. The highest result of eight attempts was taken as the measurement result in watts.

A medical doctor asked the subjects about their health condition before the muscle function tests. Subjects with serious pains, physical injuries or illness of the orthopedic or cardiovascular systems were excluded. All muscle function tests were performed on the same day.

### Physical activity

Leisure-time physical activity (LTPA): trained interviewers using a questionnaire developed by the Japanese Lifestyle Monitoring Study Group asked subjects about the frequency and duration of their physical activity habits during leisure time for the past 12 months.<sup>22</sup> This questionnaire was modified from the Minnesota Leisure-time Physical Activity Questionnaire, one of the most widely used physical activity questionnaires.<sup>23</sup> Activities that were performed at least once a week and for 10 min were defined as LTPA, and classified into three levels: light (approximate physical intensity; 2.5 METs [metabolic equivalents]); moderate (4.5 METs); heavy (> 6.5 METs) (Table 1). Sedentary activities in LTPA, for example, bonsai, were excluded.

Adolescent exercise (AEX): subjects were also interviewed in the same questionnaire about the frequency and duration of their participation in physical exercise

**Table 1** The classification of leisure-time physical activity

Level	Approximate intensity (METs)	Description	Examples
Light	2.5	Activity such as walking	Walking, gymnastic exercise, gardening, etc.
Moderate	4.5	Sweating activity that one can do comfortably	Brisk walking, dancing, swimming for pleasure, etc.
Heavy	≥ 6.5	Vigorous exercise with heavy breathing	Several sports activities (swimming, tennis, badminton etc.)

METs, metabolic equivalents.

**Table 2** Characteristics of the subjects

	<i>n</i>	Mean ± SD
Age (years)	1128	59.3 ± 10.9
Height (cm)	1128	151.3 ± 6.1
Weight (kg)	1128	52.4 ± 8.2
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	1128	22.9 ± 3.3
Body fat (%)	1120	31.5 ± 5.2
Grip strength (kg)	1106	23.8 ± 5.1
Knee extension strength (kg)	780	25.2 ± 6.8
Leg extension power (w)	1048	301.4 ± 107.1
Smoking status (%; currently)	1126	7.3
Annual income (%; ≥ ¥6 500 000)	1055	54.7
Education level (%; > high school)	1123	23.1

or sports, such as club activities, in addition to compulsory physical exercise at school from 12 to 20 years of age. Activities that were engaged in at least once a week over 1 year were defined as AEX.

#### Other parameters

Height and weight were measured using a digital scale. Body mass index was calculated by weight divided by height squared (BMI; kg/m<sup>2</sup>). Body fat mass was assessed by dual X-ray absorptiometry (DXA; QDR-4500A, Hologic, USA). Lifestyle factors including smoking status, annual income and education level were also determined by questionnaire.

#### Statistical analysis

The participation rate in physical activity was calculated as the percentage of subjects who reported such activities in a multiple response format. The subjects were divided into three groups according to the intensity of LTPA: no LTPA, LTPA (N); participation in only light activities, LTPA (L); participation in moderate or heavy activities, LTPA (H). Because there were only a few

**Table 3** The participation rates in leisure-time physical activity (LTPA) and adolescent exercise (AEX)

	Levels	<i>n</i> (%)
LTPA	None	371 (32.9)
	Light	380 (33.7)
	Moderate or heavy	377 (33.4)
AEX		473 (41.9) <sup>†</sup>

<sup>†</sup>Total number of the subjects who participated in AEX.

subjects who participated in heavy LTPA, we combined the subjects who engaged in moderate LTPA and heavy LTPA together as LTPA (H). They were also divided into those who engaged in adolescent exercise, AEX (+), and those that did not, AEX (-). The Cochran-Mantel-Haenszel method was used to examine the relationship between LTPA and AEX. The relationship of muscle function with LTPA and AEX was analyzed using the analysis of covariance controlled for age, smoking status, annual income and education level. Statistical testing was performed using the Statistical Analysis System release.8.2 (SAS Institute Inc. NC, USA).<sup>24</sup> Significant probability levels were considered to be less than 0.05.

## Results

The characteristics of the subjects are summarized in Table 2. The mean and standard deviation (SD) of age was 59.3 ± 10.9 years. The averages of the anthropometric parameters, height, weight, BMI and percent body fat, were 151.3 ± 6.1 cm, 52.4 ± 8.2 kg, 22.9 ± 3.3 kg/m<sup>2</sup> and 31.5 ± 5.2%, respectively. The averages for muscle strength and power, GS, KES and LEP, were 23.8 ± 5.1 kg, 25.2 ± 6.8 kg and 301.4 ± 107.1 w, respectively. The proportions of people who currently smoked, had an annual income of over 6 500 000 yen, and had an education beyond high school were 7.3, 54.7 and 23.1%, respectively.

Table 3 shows the participation rates in LTPA and AEX. Subjects who did not participated in leisure-time

**Table 4** The relationship between leisure-time physical activity (LTPA) and adolescent exercise (AEX)

	LTPA (N)	LTPA (L)	LTPA (H)	P-value
AEX (-)	228 (34.8)	242 (37.0)	185 (28.2)	< 0.001
AEX (+)	143 (30.2)	138 (29.2)	192 (40.6)	

Numbers (%) are shown for those who participated in LTPA or AEX.  
Cochran-Mantel-Haenszel test,  $df = 1$ .

**Table 5** Covariance models for muscle functions

	Grip strength		Knee extension strength		Leg extension power	
	df	F-value	df	F-value	df	F-value
LTPA	2	5.6*	2	11.8*	2	13.8*
AEX	1	28.8*	1	17.3*	1	8.6*
LTPA $\times$ AEX	2	0.2	2	0.1	2	0.9
Error	1023		718		972	
$r^2$		0.32		0.23		0.26

\* $P < 0.05$ .

Covariance models were controlled for age, smoking status, annual income and education level.  
LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise.

physical activity in the past 12 months accounted for 32.9%. Subjects who participated in light activities and in moderate or heavy activities were 33.7% and 33.4%, respectively. About 42% reported that they had participated in AEX. The most popular sports in adolescence were volleyball, table tennis and softball.

There is a significant difference in the participation rates of LTPA relative to the level of AEX (Table 4). The AEX (+) subjects were more likely to participate in higher levels of LTPA than the AEX (-) subjects ( $P < 0.001$ ).

The relationships of muscle strength and power to both LTPA and AEX are shown in Table 5. As a result of analysis of covariance controlled for age, smoking status, annual income and education level, LTPA and AEX had significant main effects on GS, KES and LEP ( $P < 0.05$ ). However, there was no interaction effect between LTPA and AEX, which indicated the subjects who participated in higher levels of LTPA or the subjects who participated in AEX independently have stronger muscle strength and power than those who did not participate (see Fig. 1).

## Discussion

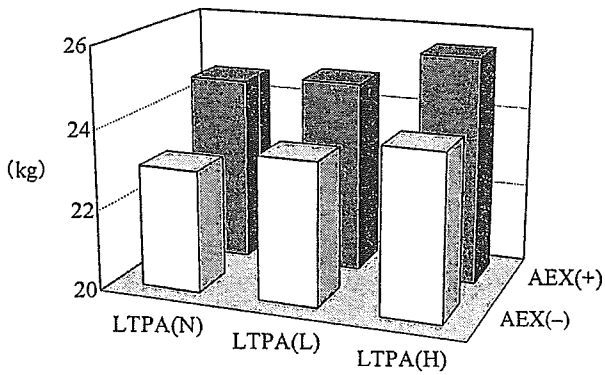
The aim of the present study was to examine the relationships of muscle strength and power with current leisure-time physical activity and past adolescent exercise in middle-aged and elderly women. We found that people who participated in higher levels of current leisure-time physical activity or adolescent exercise had stronger grip strength, knee extension

strength and leg extension power than those who did not participate.

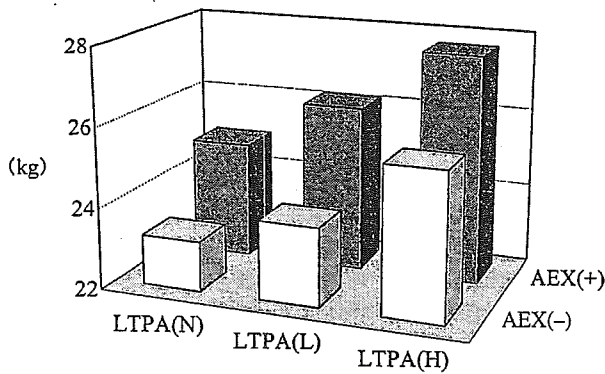
Our result that current leisure-time physical activity was associated with positive muscle functions is supported by previous studies. In a cross-sectional study, Hunter *et al.* reported that women who participated in recreational activity or exercise had stronger hand-grips and greater knee extensor strength across age groups (from the 20s through 80s) than those who did not participate in those activities.<sup>25</sup> Van Heuvelen *et al.* also reported that leisure-time physical activity is positively and age-independently associated with grip strength among a community-based sample aged 57 years and older.<sup>1</sup> As for muscle power, it was shown that current physical and sporting activities could contribute to muscular strength and power improvement among healthy subjects over 60 years old.<sup>26</sup> Current leisure-time physical activity may help preserve muscle strength and power. Improvements in muscle function due to training adaptation have been observed in several intervention studies.<sup>7-11</sup> Although strength training may increase muscle function, the results of our study suggest that stimuli from leisure-time physical activity, which does not necessarily include strength training, may also affect the development of muscle function.

Furthermore, although the data were not shown, we also analyzed the data excepted for the subjects who participated in heavy leisure-time physical activity from LTPA (H), and attained results similar to those we have presented here. Accordingly, the physical activity required to maintain or develop muscle function seems to be only moderate activity.

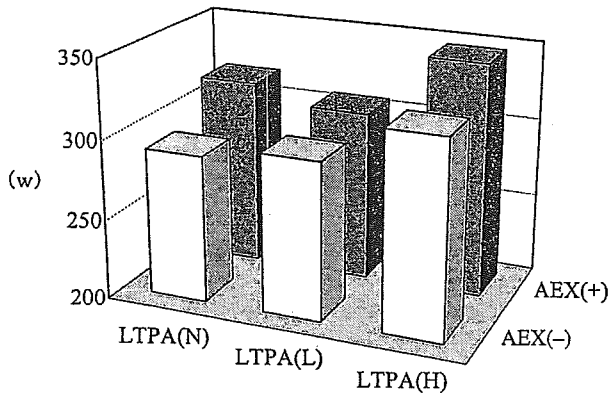
Grip strength



Knee extension strength



Leg extension power



**Figure 1** The relationships of leisure-time physical activity and adolescent exercise with grip strength, knee extension strength and leg extension power controlled for age, smoking status, annual income and education level. (AEX(-), without adolescent exercise; AEX(+), with adolescent exercise; LTPA(N), no leisure-time physical activity; LTPA(L), light leisure-time physical activity; LTPA(H), moderate and heavy leisure-time physical activity.)

The most interesting finding in our investigation was that adolescent exercise related positively to muscle function in middle-aged and elderly women.

It seems to contribute to strong muscle strength and power partly because the beneficial training effect of adolescent exercise remains in later life and partly because the continuation of physical activity from adolescence affects muscle function.

It is well known that resistance training increases muscle strength and power.<sup>7-11</sup> Therefore, training during adolescence may influence the build-up of muscle strength and power during the same period, although the positive benefit of training on muscle function decreases during a detraining period.<sup>27-29</sup> Moreover, Connelly *et al.* suggested that long-term detraining effects on muscle function increased in elderly women because of aging and illness,<sup>30</sup> which makes it difficult to conclude that the adolescent training effect on muscle strength or power persisted for more than 20 years. It is unclear whether the effects of exercise or sport participation for longer than one year during adolescence are actually retained until middle and old age. Further studies are needed.

Since it has been suggested that past participation in regular exercise is highly predictive of exercise participation in current exercise in later life,<sup>31,32</sup> which means that people who have participated in regular exercise tend to continue exercising, the continuation of physical activity may be the factor associated with positive muscle function. Hiraoka *et al.* reported that individuals examined at centers for health promotion who maintained the habit of regular exercise from school days to the present had a higher level of physical fitness than those who did not.<sup>33</sup> Although there were only 40 samples, Gauchard *et al.* also showed, that among the elderly aged over 60 years, individuals who participated in regular exercise for more than 40 years had stronger muscle strength and power compared to those who stopped physical activity at least 30 years before.<sup>26</sup> Frändin *et al.* reported that there was no association between activity level during the teenage years and muscle strength at age 76, but they also reported that the activity level throughout life was associated with walking speed among elderly women.<sup>34</sup> These results suggest that the continuation of exercise from early in life is associated with the prevention of declining muscle function in later life. Actually, our data indicated a relationship between current leisure-time physical activity and adolescent exercise as regards participation rates. It is possible that adolescent exercise is a predictor of participation in leisure-time physical activity later in life and the subjects who engaged in adolescent exercise continued exercising afterward.

It may be presumed that physical exercise or sports in youth are essential for the establishment of an exercise habit and the preference for an active lifestyle.

Participation in adolescent exercise may have not only direct effect on muscle functions but also indirect effect through increment of participation in leisure-time physical activity in later life.

There are some limitations in our study. First, because it was a cross-sectional study, cause and effect cannot be distinguished. For example, leisure-time physical activity can increase muscle function, but the level of muscle function may also contribute to participation in leisure-time physical activity. Secondly, the objective reliability of the results may be somewhat limited because the physical activity was based on self-rating, although previous study has already confirmed the reliability of the method,<sup>22</sup> and trained interviewers conducted the questioning in order to maintain the validity of our data.

Finally, the criterion for acceptance of physical activity in the study was lower than the recommended criterion of exercise for improving physical fitness (i.e. two or more times per week). In addition, we assessed only the intensity of physical activity so that the effect of physical activity duration on muscle function could not be identified. Furthermore, it should be remembered that the habit of engaging in physical activity often includes a motivation to participate in a healthy and active lifestyle, which, in itself, might affect muscle function. Nevertheless, the results of this study afford some perspective for preventing the decline of muscle strength and power, and thus, maintaining the quality of life in the elderly.

In conclusion, women who participated in a higher level of leisure-time physical activity or those who participated in adolescent exercise have significantly stronger muscle strength and power than those who did not. These results suggest that current leisure-time physical activity and adolescent exercise are beneficial for maintaining muscle strength and power in middle-aged and elderly women.

## Acknowledgments

The authors would like to thank the participants and colleagues in the NILS-LSA. This study was supported by a Grant-in-Aid for Comprehensive Research on Aging and Health from the Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan

## References

- 1 Van Heuvelen MJ, Kempen GI, Ormel J, Rispens P. Physical fitness related to age and physical activity in older persons. *Med Sci Sports Exec* 1998; 30: 434-441.
- 2 Kostka T, Rahmani A, Berthouze SE, Lacour JR, Bonnefoy M. Quadriceps muscle function in relation to habitual physical activity and VO<sub>2</sub>max in men and women aged more than 65 years. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55: B481-B488.
- 3 Rantanen T, Era P, Heikkinen E. Physical activity and the changes in maximal isometric strength in men and women from the age of 75-80 years. *JAGS* 1997; 45: 1439-1445.
- 4 Rantanen T, Heikkinen E. The role of habitual physical activity in preserving muscle strength from age 80-85 years. *JAPA* 1998; 6: 121-132.
- 5 Miszko TA, Cress ME, Slade JM, Covey CJ, Agrawal SK, Doerr CE. Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003; 58: 171-175.
- 6 Fiantarone MA, O'Neill EF, Ryan ND *et al.* Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly. *N Eng J Med* 1994; 23: 1769-1775.
- 7 Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 886-891.
- 8 Jozsi AC, Campbell WW, Joseph L, Davey SL, Evans WJ. Changes in power with resistance training in older and younger men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1999; 54: M591-M596.
- 9 Humphries B, Newton RU, Bronks R *et al.* Effect of exercise intensity on bone density, strength, and calcium turnover in older women. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 1043-1050.
- 10 Bemben DA, Feters NL, Bemben MG, Nabavi N, Koh ET. Musculoskeletal responses to high- and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 1949-1957.
- 11 Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose-response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 456-464.
- 12 Malina RM. Tracking of physical activity and physical fitness across the lifespan. *RQES* 1996; 67: S48-S57.
- 13 Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozard JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997; 52: B267-B276.
- 14 Samson MM, Meeuwssen IB, Crowe A, Dessens JA, Duursma SA, Verhaar HJ. Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age Ageing* 2000; 29: 235-242.
- 15 Demura S, Minami M, Nagasawa Y, Tada N, Matsuzawa J, Sato S. Physical-fitness declines in older Japanese adults. *JAPA* 2003; 11: 112-122.
- 16 Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA *et al.* Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 year. *J Appl Physiol* 1997; 83: 1581-1587.
- 17 Lynch NA, Metter EJ, Lindle RS *et al.* Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 1999; 86: 188-194.
- 18 Akima H, Kano Y, Enomoto Y *et al.* Muscle function in 164 men and women aged 20-84 year. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 220-226.
- 19 Katz S, Branch LG, Branson MH, Papsidero JA, Beck JC, Greer DS. Active life expectancy. *N Eng J Med* 1983; 309: 1218-1224.
- 20 Ministry of Health, Labour and Welfare. (*Annual Reports on Health and Welfare.*) Tokyo: Gyosei, 2000. [In Japanese.]
- 21 Shimokata H, Ando F, Niino N. A new comprehensive study on aging - the National Institute for Longevity Science, Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA). *J Epidemiol* 2000; 10: S1-S9.
- 22 Iwai N, Yoshiike N, Saitoh S *et al.* Leisure-time physical activity and related lifestyle characteristics among middle-aged Japanese. *J Epidemiol* 2000; 10: 226-233.

- 23 Taylor HL, Jacobs DR Jr, Schucker B, Knudsen J, Leon AS, Debacker G. A questionnaire for the assessment of leisure time physical activities. *J Chron Dis* 1978; 31: 741–755.
- 24 *SAS Procedures Guide*. Release 8.2 Edition. NC, USA: SAS Institute Inc, 2001.
- 25 Hunter SK, Thompson MW, Adams RD. Relationships among age-associated strength changes and physical activity level, limb dominance, and muscle group in women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55: B264–B273.
- 26 Gauchard GC, Tessier A, Jeandel C, Perrin PP. Improved muscle strength and power in elderly exercising regularly. *Int J Sports Med* 2003; 24: 71–74.
- 27 Mujika I, Padilla S. Muscular characteristics of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 1297–1303.
- 28 Winters KM, Snow CM. Detraining reverses positive effects of exercise on the musculoskeletal system in premenopausal women. *J Bone Miner Res* 2000; 15: 2495–2503.
- 29 Ivey FM, Tracy BL, Lemmer JT *et al.* Effects of strength training and detraining on muscle quality: age and gender comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55: B152–B157.
- 30 Connelly DM, Vandervoort AA. Effects of detraining on knee extensor strength and functional mobility in a group of elderly women. *J Orthop Sports Phys Ther* 1997; 26: 340–346.
- 31 Evenson KR, Wilcox S, Pettinger M, Brunner R, King AC, McTiernan A. Vigorous leisure activity through women's adult life: the Women's Health Initiative Observational Cohort Study. *Am J Epidemiol* 2002; 156: 945–953.
- 32 Hürvensalo M, Lintunen T, Rantanen T. The continuity of physical activity – a retrospective and prospective study among older people. *Scand J Med Sci Sports* 2000; 10: 37–41.
- 33 Hiraoka J, Ojima T, Nakamura Y, Yanagawa H. A comparative epidemiological study of the effects of regular exercise on health level. *J Epidemiol* 1998; 8: 15–23.
- 34 Frändin K, Mellström D, Sundh V, Grimby G. A life span perspective on patterns of physical activity and functional performance at the age of 76. *Gerontology* 1995; 41: 109–120.

## 中高年者における余暇身体活動および青年期の運動経験と骨密度との関連

Relationship of bone mineral density with leisure-time physical activity and adolescent exercise in the middle-aged and elderly

小坂井 留美\*      道用 亘\*      安藤 富士子\*  
下方 浩史\*      池上 康男\*\*

Rumi KOZAKAI\*      Wataru DOYO\*      Fujiko ANDO\*  
Hiroshi SHIMOKATA\*      Yasuo IKEGAMI\*\*

**Purpose:** The aim of this study was to assess the relationships of bone mineral density (BMD) with current leisure-time physical activity (LTPA) and adolescent exercise (AEX) among the middle-aged and elderly in Japan.

**Methods:** The data for the present study were derived from the baseline data of the National Institute for Longevity Sciences-Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA). Subjects consisted of 1017 male ( $58.5 \pm 10.8$  years) and 577 postmenopausal female ( $62.6 \pm 8.4$  years). Those who had osteoporosis, rheumatoid arthritis or cancer were excluded from the subjects. Those who used thyroid hormone or parathyroid hormone were also excluded. Subjects were interviewed about their physical activity habits during leisure time throughout the past twelve months and about exercise they engaged in during adolescence (12 to 20 years). Subjects were divided into 3 groups according to the intensity of LTPA, 'no LTPA', 'light LTPA' and 'moderate or heavy LTPA'. They were also divided into 2 groups, with or without AEX. BMD was measured with a dual energy X-ray absorptiometry (DXA; Hologic QDR-4500A), in  $g/cm^2$ . Measurement sites were the whole body (WB), L2-L4 lumbar spine (L24), femur neck (FN), Ward's triangle (WT), and trochanter (TR). Relationships of BMD with LTPA and AEX were analyzed using analysis of covariance controlled for age, height and weight. Significant probability levels were less than 0.05.

**Results:** Average BMD (SD) at WB, L24, FN, WT, TR were 1.09(0.10), 0.99(0.16), 0.76(0.11), 0.56(0.13), 0.67(0.11) in male and 0.93(0.11), 0.82(0.16), 0.66(0.10), 0.47(0.14), 0.55(0.10) in female, respectively. The proportion of subjects with LTPA was 75.5% in male and 67.7% in female. The subjects that engaged in AEX represented 65.7% in male and 39.5% in female. The result of analysis of covariance controlled for age, height and weight was as follows; in male, LTPA showed significant main effect on BMD at FN, WT and TR. AEX showed significant main effect on BMD at all sites. However, there was no interaction effect on BMD at all sites. As for female, LTPA showed significant main effect on BMD at FN and TR. AEX showed significant main effect on BMD at TR. There was a significant interaction effect on BMD at WB and FN.

**Conclusion:** The results suggested that not only current leisure-time physical activity but also adolescent exercise benefits bone mineral density among middle-aged and elderly people in Japan.

### 1. 緒言

我が国の高齢者における寝たきりの原因の第2位は転倒による骨折であり<sup>1)</sup>、骨折は高齢者の自立を妨

げ、生活の質 (Quality of life; QOL) を脅かす要因の一つと考えられている。また、高齢者に多くみられる骨密度の低下による骨折は脆弱性骨折と呼ばれ、World Health Organization (WHO) では、骨密度 (Bone Mineral

\* 国立長寿医療センター 疫学研究部  
\*\* 名古屋大学総合保健体育科学センター  
\* Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences  
\*\* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University



Density; BMD) が若年成人平均値 (Young Adult Mean; YAM) の  $-2.5SD$  以下であると脆弱性骨折が急増することを報告している<sup>22)</sup>。従って、中高年期における骨密度低下の要因を明らかにし、その予防法を確立することは高齢社会における急務の課題と考えられる。

骨密度の低下には、年齢や性あるいは遺伝的因子など制御できない要因の影響が大きいとされる一方、運動、栄養、嗜好などの生活習慣や日照時間などの環境因子など制御可能な要因も影響するといわれる<sup>7)</sup>。運動については、運動不足など身体活動量の減少が骨密度低下の危険因子とされており、骨粗鬆症の予防には運動が推奨されている<sup>7)</sup>。しかし、骨密度増加に対する運動介入の効果は多く確認されているものの<sup>10), 12), 13)</sup>、日常生活における運動習慣と骨密度との関連については、運動により骨密度が増加したという報告<sup>3), 6), 27)</sup> に対し、骨密度は変化しなかったという報告もみられ<sup>4), 5)</sup>、一致した結論に至っていない。

一方、中高年期の骨量には若年期の骨密度 (peak bone mass) も影響を与える。骨は成長期に著しく発達して骨量のピークに達することから、この時期にピークをいかに高めるかは、それ以降の骨密度を予測する上で重要な因子と考えられている<sup>26)</sup>。運動は成長期においても骨密度増加と関連することが報告されており<sup>15), 16), 20)</sup>、現在の運動習慣だけでなく、青年期の運動習慣も併せて検討することは、中高年期の骨密度低下の予防を考える上で重要なことと思われる。

そこで、本研究では地域在住中高年期者の日常生活における余暇身体活動状況および青年期の運動と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連について横断的に検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 対象

本研究は、国立長寿医療センター疫学研究部が行う「老化に関する長期縦断疫学調査 (National Institute for Longevity-Longitudinal Study of Aging; NILS-LSA)」の一環として行われた。NILS-LSA は、老化および老年病の予防法の確立や機序の解明を目的に、医学、形態学、栄養学、心理学、運動生理学などの分野から調査、検討を行う学際的な研究である。詳細は他論文を参照にされたい<sup>25)</sup>。NILS-LSA の参加者は、国立長寿医療センター周辺の愛知県大府市、東浦町に在住する地域住民より性・年代別に層化無作為抽出された人の中で、調査・検査内容とその継続の意義を十分に理解し、文書による了承 (インフォームドコンセント) の得られた40~79歳までの男女2267名である。本研究では、調

査参加者の中から骨密度に影響すると考えられる疾患 (骨粗鬆症、リュウマチ・関節炎、がん) や服薬 (甲状腺・副甲状腺ホルモン剤) のない男性1017名 (平均年齢  $58.5 \pm 10.8$  歳)、閉経後の女性577名 (平均年齢  $62.6 \pm 8.4$  歳) について検討した。尚、NILS-LSA は、「疫学調査に関する倫理指針」を遵守し、国立長寿医療センター倫理委員会の承諾を受けた上で実施されている。

### 測定項目

骨密度 (Bone mineral density; BMD,  $g/cm^3$ ) は、Dual energy X-ray absorptiometry (DXA; Hologic 社製、QDR-4500A) を用いて測定した。測定部位は、全身 (Whole Body; WB)、腰椎 L2-4 (Lumber2-4; L24)、右下肢の大腿骨頸部 (Femoral Neck; FN)、ワード三角 (Word Triangle; WT)、大転子部 (Trochanter Region; TR) とした。骨密度測定において、別に行った再現性の検討では、10名の被験者 (男性6名、女性4名、平均年齢  $38.3 \pm 6.8$  歳) に対し、測定を3回繰り返した際の各測定項目の変動係数 (coefficient of variation; CV) は、WB = 0.9%、L24 = 0.9%、FN = 1.3%、WT = 2.5%、TR = 1.0%であった。

身体活動量は、余暇身体活動 (Leisure-time physical activity; LTPA) と青年期の運動経験 (Adolescent exercise; AEX) について質問票を用いた聞き取り調査を行った<sup>11)</sup>。余暇身体活動は、過去1年間に余暇時間に定期的な身体活動 (週1回、1回10分以上) を行ったかを聞き取り、その活動内容を「低強度 = 2.5METs (metabolic equivalents) 程度」、「中強度 = 4.5METs 程度」、「高強度 = 6.5METs 以上程度」に分類した。青年期の運動経験は、12-20歳の間にクラブ活動などで定期的な運動 (週1回、1年以上) を行ったか否かを調べた。

対象者の基礎的身体特性として、身長、体重を測定し、体重を身長の二乗で除した Body Mass Index (BMI;  $kg/m^2$ ) を算出した。体脂肪率および除脂肪量は、骨密度と同じく DXA にて測定した。

### 統計解析

骨密度は性別に平均値を算出した。現在の余暇身体活動および青年期の運動と骨密度の関連を検討するために、余暇身体活動のレベルを、「活動を行っていなかったもの = LTPA (N)」、「低強度の活動のみを行っていたもの = LTPA (L)」、「中強度以上の活動を行っていたもの = LTPA (H)」の3段階、青年期の運動経験を、「なし = AEX (-)」、「あり = AEX (+)」の2段階に分け、各骨密度への余暇身体活動および青年期の運動の影響について年齢、身長、体重を調整変数とした共分散分析を行った。尚、余暇身体活動レベルについては、高

強度の活動に従事した人の数が少なかったため、中強度の活動に従事した人と合わせてLTPA (H) とした。解析には SAS (Statistical Analysis System, release.8.2) を用い<sup>24)</sup>、有意水準はすべて 5%未満とした。

3. 結果

対象者の身体特性は Table 1 に、DXA で測定した部位別の骨密度は Table 2 に示した。本研究の対象者の骨密度は、日本骨粗鬆学会の提示する骨密度の各性・年代別標準値と大きな差は認めなかった<sup>19)</sup>。

強度別の余暇身体活動および青年期の運動に従事した者の割合は、Table 3 に示した。過去 1 年間に余暇身体活動に従事したものは男性で75.5%、女性で67.7%であった。強度別の余暇身体活動従事者の割合をみると、低強度のみの活動に従事していた人は男性30.5%、女性33.8%、中強度以上の活動に従事していた人は男性45.0%、女性33.9%であった。男性は女性に比べ強度の高い余暇身体活動に参加する人の割合が高かった。一方、青年期の運動経験のある者は、男性65.7%、女性39.5%であり、女性は男性に比べ青年期の運動経験のある人の割合が低かった。

余暇身体活動および青年期の運動と各部位の骨密度との関連を検討するために、余暇身体活動レベルをLTPA (N)、LTPA (L)、LTPA (H) の3段階、青年期の運動をAEX (-)、AEX (+) の2段階に分け、年齢、身長、体重を調整変数とした共分散分析を行った。その結果、男性では、余暇身体活動の主効果はFN、WT、TR の大腿骨近位部において有意であり、青年期の運動の主効果は全ての部位において有意であった。余暇身体活動と青年期の運動との交互作用は、いずれの部位にもみとめられなかった (Table 4)。男性において、余暇身体活動のレベルの高い人は大腿骨近位部の骨密度の高いこと、青年期の運動経験のある人は測定した全ての部位において骨密度の高いことが示された。女性では、余暇身体活動の主効果はFNとTRにおいて有意であり、青年期の運動の主効果はTRにおいて有意であった。余暇身体活動と青年期の運動の交互作用は、WBとFNにおいて有意であった (Table 5)。女性において、余暇身体活動レベルの高い人は大腿骨頸部と大転子部の骨密度が高く、青年期の運動経験のある人は大転子部の骨密度の高いことが示された。女性ではさらに、全身と大腿骨頸部において青年期の運動経験の有無により余暇身体活動レベルと骨密度との関連に差のあることが示され、青年期の運動経験のないものは余暇身体活動レベルの高いもので骨密度の高い傾向が認められたが、運動経験のあるものではその傾向は認

められなかった。

余暇身体活動および青年期の運動と骨密度との関連は、性や部位により異なったものの、大腿骨近位部、特に大転子部においては男女に共通して各々の身体活動の高いもので骨密度の高いことが認められた (Fig. 1)。

Table 1. Characteristics of the subjects

		Male	Postmenopausal female
Height	(cm)	164.8±6.3	150.7±6.0
Weight	(kg)	62.4±9.1	52.0±8.4
BMI	(kg/m <sup>2</sup> )	22.9±2.8	22.9±3.3
% Body fat	-	21.3±4.3	32.1±5.0
Fat free mass	(kg)	49.2±5.9	35.4±4.3

Mean±S.D.

Table 2. The average of bone mineral density (BMD) at each site in both genders

site	BMD (g/cm <sup>2</sup> )	
	Male	Postmenopausal female
Whole Body	1.09±0.10	0.93±0.11
Lumber 2-4	0.99±0.16	0.82±0.15
Femoral neck	0.76±0.11	0.66±0.10
Ward Triangle	0.56±0.13	0.47±0.14
Trochanter Region	0.67±0.11	0.55±0.10

Mean ± S.D.

Table 3. The participation rates of LTPA and AEX

	Levels	Male	Postmenopausal female
LTPA	Total <sup>†</sup>	75.5	67.7
	Light	30.5	33.8
	Moderate and Heavy	45.0	33.9
AEX	Total <sup>†</sup>	65.7	39.5

Note. <sup>†</sup>total number of the subjects who participated in LTPA or AEX. LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise. Values are expressed in percentage.

Table 4. The analysis of covariance controlled for age, height and weight in male

Male	WB		L24		FN		WT		TR	
	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value
LTPA	2	1.66	2	0.27	2	5.65*	2	5.15*	2	4.96*
AEX	1	6.21*	1	12.90*	1	4.42*	1	5.93*	1	15.59*
LTPA×AEX	2	1.11	2	0.55	2	1.79	2	1.86	2	0.80
Age	1	8.09*	1	11.07*	1	26.22*	1	122.31*	1	0.45
Height	1	0.44	1	5.13*	1	0.76	1	1.77	1	12.71*
Weight	1	73.03*	1	141.54*	1	184.34*	1	91.91*	1	217.78*
error	1008		1007		1007		1007		1007	
r <sup>2</sup>	0.15		0.15		0.29		0.30		0.24	

Note. LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise; WB, Whole body; L24, Lumber2-4; FN, Femoral Neck; WT, Ward Triangle; TR, Trochanter region. \*  $p < 0.05$

Table 5. The analysis of covariance controlled for age, height and weight in postmenopausal female

Female	WB		L24		FN		WT		TR	
	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value	df	F value
LTPA	2	0.70	2	0.70	2	3.14*	2	1.98	2	3.98*
AEX	1	1.02	1	1.42	1	2.81	1	2.10	1	6.40*
LTPA·AEX	2	3.50*	2	0.71	2	4.55*	2	2.13	2	2.31
Age	1	232.89*	1	89.64*	1	162.37*	1	245.02*	1	149.47*
Height	1	2.23	1	0.01	1	1.11	1	2.85	1	7.42*
Weight	1	19.57*	1	86.31*	1	92.60*	1	42.12*	1	120.05*
error	566		566		564		564		564	
r <sup>2</sup>	0.43		0.34		0.42		0.42		0.42	

Note. LTPA, leisure-time physical activity; AEX, adolescence exercise; WB, Whole body; L24, Lumber2-4; FN, Femoral Neck; WT, Ward Triangle; TR, Trochanter region. \*  $p < 0.05$

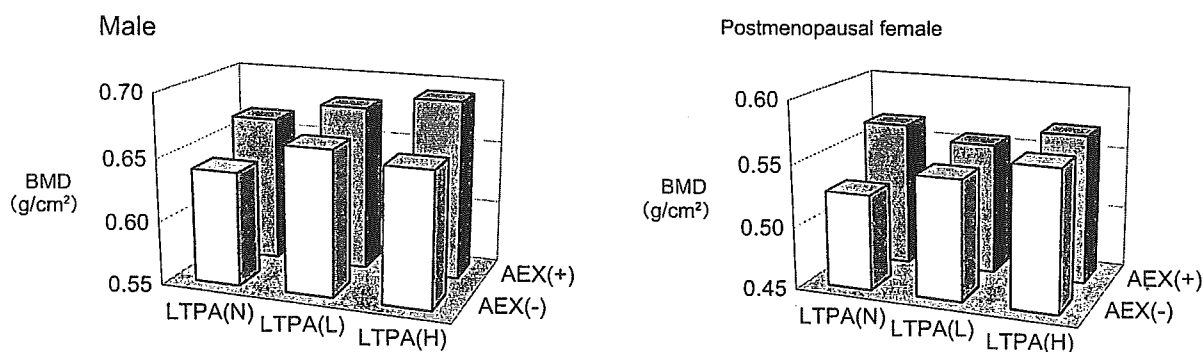


Fig. 1. The relationships of LTPA and AEX with BMD at TR controlled for age, height and weight deviding by gender. LTPA(N), no leisure-time physical activity; LTPA(L), light leisure-time physical activity; LTPA(H), moderate and heavy leisure-time physical activity; AEX(-), without adolescent exercise; AEX(+), with adolescent exercise; BMD, bone mineral density, TR, trochanter region.

## 4. 考察

本研究では、地域在住中高年者における現在の余暇身体活動状況および青年期の運動経験と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連について、年齢や体格を調整した検討を行った。その結果、男女ともに余暇身体活動のレベルの高いもので大腿骨近位部の骨密度の高いこと、青年期の運動経験のあるもので男性における全ての部位の骨密度、および女性における大転子部の骨密度の高いことが示された。

余暇身体活動と大腿骨の骨密度との関連が認められたことは、Vuillemin らの健康な高齢男女を対象とした報告<sup>27)</sup> や閉経女性を対象とした Blanchet らの報告を支持する結果である<sup>3)</sup>。身体活動は大腿骨への力学的あるいは筋肉の収縮による負荷により、この部位の骨密度の維持向上に関連したと考えられた。

これまで、運動習慣と骨密度との関連が先行研究<sup>4), 5)</sup> において明確でなかった理由の一つには、身体活動の定量や分類方法が異なることがあげられる。Coupland らは、閉経女性における歩行と骨密度との関連の検討から、骨密度は歩行量よりも歩行速度との関連の強いことを示し<sup>5)</sup>、骨密度は活動の量よりも強度に依存することを示唆した。また Kerr らは、12ヶ月の運動介入の研究において低負荷・高頻度のトレーニングに比べ、高負荷・低頻度の活動でより骨密度の高まることを報告し、骨密度に対する強度の高いトレーニングの有効性を示した<sup>13)</sup>。本研究では余暇身体活動の分類に、metabolic equivalents (METs) を指標として用いた。METs は、酸素摂取量を基準とした強度設定であるため<sup>2)</sup>、加重負荷の程度は明確ではないが、METs により分類された活動内容をみると、低強度では散歩や庭仕事などが含まれたのに対し、中強度以上の活動ではスポーツ活動などが含まれた。従って、本研究の活動分類は加重負荷の強弱をある程度反映しており、余暇身体活動レベルによる骨密度の違いに結びついたと考えられた。

余暇身体活動と骨密度との関係が部位により異なった点、すなわち全身や腰椎、女性におけるワード三角部の骨密度と余暇身体活動との関連が認められなかった点については、次のような理由があげられる。大腿骨近位部は運動の影響を受けやすく<sup>10), 13)</sup>、特に最近の身体活動が反映しやすい部位であることが指摘されている<sup>27)</sup>。本研究では女性において特に骨量低下の危険性の高い閉経女性に関して検討を行ったが、NLS-LSA の未閉経女性においても大腿骨近位部でのみ余暇身体活動との関連が認められた(データ未発表)。そのため、大腿骨近位部では全身や腰椎に比べ現在の余暇身

体活動の効果が表れやすかったと考えられた。一方、腰椎は加齢に伴い骨や血管の石灰化を起こしやすい部位とされており<sup>18)</sup>、70歳以上の人も多く含む本研究の対象者においては、このような見かけ上の骨密度の高さが腰椎において、また全身において身体活動の影響を捉えにくくしたことが考えられた。女性のワード三角部については、骨の構成要素による説明が考えられる。ワード三角部は皮質骨に比べ海面骨の割合が高く、海面骨を含む部位は加齢の影響を受けやすいとされている<sup>1), 18), 23)</sup>。従って、女性において加齢による顕著な海面骨の減少が身体活動の影響を上回ったことが考えられた。ただし、先行研究ではこれらの部位において運動の影響を認める報告もあるため<sup>8), 17)</sup>、身体活動の影響が部位により異なる点については、今後さらなる研究が必要である。

青年期の活動と骨密度との関連については、男性では全ての部位において、女性では大転子部において、青年期の運動経験のあるもので骨密度の高いという結果が認められた。先行研究において、Florindo らは50歳以上のブラジル人男性を対象に行った研究から、10歳から20歳までの運動は最近1年間の活動と同様に全身、腰椎、大腿部近位部の骨密度を高めるための独立した因子となることを報告した<sup>6)</sup>。女性については、Puntilla らが閉経前後の女性の骨密度と11—17歳の運動との関連の検討から、青年期のスポーツ活動は腰椎骨密度の維持に関連すること<sup>21)</sup>、また Ward らは高齢女性において大腿骨頸部の骨密度と発育期の身体活動との関連を報告した<sup>28)</sup>。本研究はこれらの結果を支持するものであり、青年期の運動経験が中高年期の骨密度の維持向上に影響する可能性を示した。

健常者において、腰椎や股関節部の骨塩量は思春期後期に最大になるとされ、骨塩量増加のピークは女子で13歳前後、男子で16歳前後といわれている<sup>26)</sup>。従って、この骨形成時期の環境因子の影響は非常に重要であると考えられている<sup>26)</sup>。成長期の運動はこの時期の骨密度を高める<sup>15), 16), 20)</sup>。また、高められた骨密度は一定期間維持されることが縦断研究により報告されている<sup>9), 15)</sup>。本研究では、男性において青年期の運動経験のあるものでは有意に骨密度が高いという結果が得られたが、骨の成長の著しい12—20歳の間に積極的に運動を行い、骨量のピークを高めたことが中高年期の骨密度の維持に結びついた可能性がある。

一方、女性における青年期の運動と骨密度との関連は大腿骨近位部内でも部位により異なり、その関係性は明らかではなかった。これは、女性においては青年期に行った運動の強度が男性ほど強くない可能性のあることや、骨密度に対する年齢の影響の大きいこと、

さらには出産や閉経などダイナミックな性ホルモンの変動のあることなどが影響したのではないかと考えられる。その中で、大転子部において影響が認められたことは、この部位が筋肉との接合部であり、特に運動の影響を受けやすい部位であるという指摘のあることから<sup>5),13)</sup>、他の大腿骨近位部に比べ大転子部で青年期の運動の影響が強く表れたことが考えられた。

女性においては、さらに全身と大腿骨頸部の骨密度において青年期の運動経験の有無により余暇身体活動と骨密度との関連の異なることが示された。各身体活動レベルの骨密度の平均値を確認すると、青年期の運動経験のない群では余暇身体活動レベルが上がるにつれ骨密度も高まるが、運動経験のあるものは余暇身体活動のレベルによらず比較的骨密度が高値に維持されることが推察された。しかし、本研究のみでこの結果を解釈することは難しく、さらに検討を重ねる必要がある。

以上のように、余暇身体活動および青年期の運動は、性や部位により異なるものの骨密度との有意な関連が認められた。特に大腿骨近位部では、男女共に各々の活動レベルの高いもので骨密度は高値を示した。大腿骨近位部は転倒による骨折を起こしやすい部位であるため、この部位の骨密度の維持向上は高齢になるに従い非常に重要となる。また、転倒は筋力や平衡機能の低下と密接に結びついており<sup>17)</sup>、転倒予防の観点からも現在および青年期における積極的な身体活動はこれらの運動機能の維持向上に有効である。

本研究には、いくつかの問題点も考えられた。一つは、身体活動量の測定方法に関する点である。本研究では身体活動量は聞き取り法による測定を行ったため、信頼性や再現性を考慮する必要があった。対象者の記憶の曖昧さや回答に対して何らかのバイアスの入ることなどは、聞き取り法に共通した対象者側の問題点である。一方、聞き取る側の問題点となる部分に関して、本研究では信頼性の確認された質問紙を用い、トレーニングされた面接者が面接を行うことで対応した。また、二つ目として身体活動のレベルの分類では強度による検討のみを行ったため、運動を行う上で重要な頻度や時間などは考慮されていない。骨密度低下の予防に対する至適運動を提唱していくためには、今後この点についても検討していくことも必要である。三つ目は、骨密度への他の因子の関与に関する点である。骨密度には様々な関連因子があるとされ、性ホルモンや成長ホルモンといった内分泌や遺伝子などの内的要因、嗜好品やカルシウム補助食品の摂取といった栄養摂取量、あるいは仕事活動量などの生活環境要因などがあげられている。骨粗鬆症の予防策を確立していくため

には、今後これらを含めた総合的な検討をしていく必要がある。

本研究は多数の一般地域住民を対象に、余暇身体活動および青年期の運動経験と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連を検討した。その結果、現在および青年期の積極的な身体活動は、中高年期における大腿骨近位部の骨密度の維持向上に関連することが示された。本研究の結果は、高齢者における骨折の予防法を確立するための一助となることが示唆された。

## 5. 要約

本研究では、地域在住中高年者を対象に、余暇身体活動および青年期の運動と骨密度を調べ、各々の身体活動と骨密度との関連について検討した。骨密度の測定はDXAを用い、全身、腰椎L2-4、大腿骨頸部、ワード三角、大転子部を測定した。余暇身体活動状況と青年期の運動経験は聞き取り調査により調べた。余暇身体活動および青年期の運動と骨密度との関連について、余暇身体活動を「活動なし」、「低強度の活動のみ」、「中強度以上の活動」の3段階、青年期の運動経験を「なし」、「あり」の2段階に分け、年齢、身長、体重を調整した共分散分析を用いて検討した。以下に結果を示す。

- 1) 余暇身体活動に従事していた人の割合は男性75.5%、女性67.7%であり、強度別では低強度、中強度以上の順に男性30.5%、45.0%、女性33.8%、33.9%であった。青年期の運動経験のある人の割合は、男性65.7%、女性39.5%であった。
- 2) 余暇身体活動と骨密度との関連では、男性において余暇身体活動のレベルの高いもので大腿骨近位部の骨密度の高いこと、同じく女性でもワード三角部を除く大腿骨近位部の骨密度の高いことが示された。
- 3) 青年期の運動と骨密度との関連では、男性において青年期の運動経験のあるもので全ての部位における骨密度の高いこと、女性では大転子部の骨密度の高いことが示された。女性ではさらに全身と大腿骨頸部において、青年期の運動経験の有無により余暇身体活動と骨密度との関連の異なることが示された。

以上の結果より、余暇身体活動と青年期の運動経験は骨密度の維持向上に関連し、加齢に伴う骨密度の低下や骨折の予防に繋がることを示唆された。

## 文 献

- 1) Adami, S., D. Gatti, V. Braga, D. Bianchini, and M. Rossini:

- Site-specific effects of strength training on bone structure and geometry of ultradistal radius in postmenopausal women. *J. Bone Miner. Res.* 14(1): 120-124, 1999.
- 2) アメリカスポーツ医学会編 日本体力医学会体力科学編集委員会監訳 運動処方指針 運動負荷試験と運動プログラム 原著第6版 南江堂 p143-151, 2001.
  - 3) Blanchet, C., Y. Giguère, D. Prud'homme, L. Turcot-Lemay, M. Dumont, G. Leduc, S. Côte, N. Laflamme, F. Rousseau, and S. Dodin: Leisure physical activity is associated with quantitative ultrasound measurements independently of bone mineral density in postmenopausal women. *Calcif. Tissue Int.* 73(4): 339-349, 2003.
  - 4) Brahm, H., H. Mallmin, K. Michaëlsson, H. Ström, and S. Ljunghall: Relationships between bone mass measurements and lifetime physical activity in a Swedish population. *Calcif. Tissue Int.* 62: 400-412, 1998.
  - 5) Coupland, C.A.C., S.J. Cliffe, E.J. Bassey, M.J. Grainge, D.J. Hosking, and C.E.D. Chilvers: Habitual physical activity and bone mineral density in postmenopausal women in England. *Int. J. Epidemiol.* 28: 241-246, 1999.
  - 6) Florindo, A.A., Mdo.R. Latorre, P.C. Jaime, T. Tanaka, M.G. Pippa, and C.A. Zerbini: Past and present habitual physical activity and its relationship with bone mineral density in men aged 50 years and older in Brazil. *J. Gerontol.* 57A(10): M654-657, 2002.
  - 7) 藤原佐枝子 骨粗鬆症 危険因子と予防対策 日本臨床 56(6): 211-215, 1998.
  - 8) Greendale, G.A., M.H. Huang, Y. Wang, J.S. Finkelstein, M.E. Danielson, and B. Sternfeld: Sport and home physical activity are independently associated with bone density. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 35(3): 506-512, 2003.
  - 9) Gustavsson, A., K. Thorsen, and P. Nordström: A 3-year longitudinal study of the effect of physical activity on the accrual of bone mineral density in healthy adolescent males. *Calcif. Tissue Int.* 73: 108-114, 2003.
  - 10) Heinonen, A., P. Kannus, H. Sievänen, M. Pasanen, P. Oja, and I. Vuori: Good maintenance of high-impact activity-induced bone gain by voluntary, unsupervised exercises: An 8-month follow-up of a randomized controlled trial. *J. Bone Miner. Res.* 14(1): 125-128, 1999.
  - 11) Iwai, N., N. Yoshiike, S. Saitoh, T. Nose, T. Kushiro, H. Tanaka, and the Japan Lifestyle Monitoring Study Group: Leisure-time physical activity and related lifestyle characteristics among middle-aged Japanese. *J. Epidemiol.* 10: 226-233, 2000.
  - 12) Kelley, G.A., K.S. Kelley, and Z.V. Tran: Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J. Appl. Physiol.* 88: 1730-1736, 2000.
  - 13) Kerr, D., A. Morton, I. Dick, and R. Prince: Exercise effects on bone mass in postmenopausal women are site-specific and load-dependent. *J. Bone Miner. Res.* 11(2): 218-225, 1996.
  - 14) 厚生省 監修 厚生労働白書 (平成12年度版) ぎょうせい p71-74, 2000.
  - 15) Lloyd, T., V.M. Chinchilli, N. Johnson-Rollings, K. Kieselhorst, D.F. Egli, and R. Marcus: Adult female hip bone density reflects teenage sports-exercise patterns but not teenage calcium intake. *Pediatrics* 106(1): 40-44, 2000.
  - 16) MacKellvie, K.J., K.M. Khan, and H.A. McKay: Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br. J. Sports Med.* 36: 250-257, 2002.
  - 17) 真野行生 編 高齢者の転倒とその対策 医歯薬出版株式会社 p2-7, 1999.
  - 18) 森田陸司 監修 骨粗鬆症と骨塩定量—DXAによる骨塩定量—メディカルレビュー社 p48-62, 1994.
  - 19) 折茂肇 原発性骨粗鬆症診断基準—2000年度改訂版(概要)— *Osteoporosis Japan* 9(1): 9-14, 2001.
  - 20) Pettersson, U., P. Nordström, H. Alfredson, K. Henriksson-Larsén, and R. Lorentzon: Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females: A comparative study between two different types of sports. *Calcif. Tissue Int.* 67(3): 207-214, 2000.
  - 21) Puntilla, E., H. Kröger, T. Lakka, R. Honkanen, and M. Tuppurainen: Physical activity in adolescence and bone density in peri- and postmenopausal women: A population-based study. *Bone* 21(4): 363-367, 1997.
  - 22) Report of WHO Study Group: Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. p2-7, 1994.
  - 23) Riggs, B.L., H.W. Wahner, E. Seeman, K.P. Offord, and W.L. Dunn: Changes in bone mineral density of the proximal femur and spine with ageing. *J. Clin. Invest.* 70: 716-723, 1982.
  - 24) SAS Procedures Guide, Release 8.2 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 2001.
  - 25) Shimokata, H., F. Ando, and N. Niino: A new comprehensive study on aging – the National Institute for Longevity Science, Longitudinal Study of Aging (NILS-LSA). *J. Epidemiol.* 10: S1-S9, 2000.
  - 26) 田中弘之 青壮年期の最大骨量の調節機構 *Medical Practice* 19(10): 1645-1649, 2002.
  - 27) Vuillemin, A., F. Guillemin, P. Jouanny, G. Denis, and C. Jeandel: Differential influence of physical activity on lumbar spine and femoral neck bone mineral density in the elderly population. *J. Gerontol.* 56A(6): B248-253, 2001.
  - 28) Ward, J.A., S.R. Load, P. Williams, K. Anstey, and E. Zivanovic: Physiologic, health and lifestyle factors associated with femoral neck bone density in older women. *Bone* 16(4): s373-s378, 1995.

(2004年9月21日受付)

## 中高年者における歩行動作の特徴

### Gait characteristics in middle-aged and elderly adults

道 用 亘\*                      小坂井 留美\*                      安 藤 富士子\*  
下 方 浩 史\*                      布 目 寛 幸\*\*                      池 上 康 男\*\*

Wataru DOYO\*                      Rumi KOZAKAI\*                      Fujiko ANDO\*  
Hiroshi SHIMOKATA\*                      Hiroyuki NUNOME\*\*                      Yasuo IKEGAMI\*\*

**PURPOSE:** This research was to describe the kinematic and kinetic characteristics of walking in community-dwelling middle-aged and elderly Japanese. Sex differences and relationships between walking variables and age were estimated. **METHODS:** Subjects were community-dwelling males and females (n=2075) aged 40—82yrs who participated in the 2<sup>nd</sup> wave examination of the NILS-LSA (National Institute for Longevity Sciences — Longitudinal Study of Aging). The subjects were asked to walk over force platforms (at 1200Hz) while being videotaped at 60Hz. They were asked to walk with two paces; comfortable and brisk walking. Direct linear transformation method was used to obtain 3-dimensional coordinates of feet, shanks, thighs and torso. Walking velocity, step length, step frequency, temporal components (support time, swing time, cycle duration, single support time, double support time) and motions at lower extremities (total ranges of flexions and peak torques at hip, knee and ankle joints in sagittal plane) during 1 cycle of walking were calculated. Student t-test and Pearson's correlation coefficients were utilized to assess the sex differences and relationship between walking variables and age. Statistical analyses were performed on SAS (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) version 8.2. **RESULTS:** Student t-test showed that sex differences were observed in almost all the variables ( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ ) except walking velocity and peak torque at knee extensor in late stance during comfortable walking and double support time at late stance and total range of flexion at knee during brisk walking. Pearson's correlation coefficients showed that walking velocity, step length, step frequency, total ranges of flexions at hip and ankle, peak torques at hip extensor, knee flexors and ankle plantar flexor in both sexes during both walking were negatively correlated with age ( $p<0.01$ ,  $<0.001$ ). Also it showed that stance time, double support time, peak torques at hip flexor and knee extensors were positively correlated with age. **CONCLUSION:** Walking patterns in middle-aged and elderly adults were showed in this study. Sex differences and relationships between walking variables and age were observed in this population. Further research should center the association among the walking variables, the effect of other characteristics of samples on the walking pattern and age related-changes in elderly adults.

### 緒 言

歩行動作はヒトのADL評価やQOL維持・向上に有用で最も基本的な移動運動である。特に中高年者において、歩行能力の維持、向上は自立した生活を営む上で究めて重要であり、不可欠な日常動作である。中高

年者の歩行動作を運動学的・運動力学的に記述・評価することは、歩行能力に関する基礎的資料を得ることができると考えられ、今日まで様々な先行研究が報告されている。

Murray MP, et al.<sup>8)</sup> は20—87歳の成人男性64名における歩行の速度、歩幅、1サイクルの時間成分、下肢関

\* 国立長寿医療センター・疫学研究部  
\*\* 名古屋大学総合保健体育科学センター  
\* Department of Epidemiology, National Institute for Longevity Sciences  
\*\* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

節角度変位等を記述し、それら歩行変量と年齢との関係について報告している。Winter DA, et al.<sup>15)</sup> は15名の高年者の歩行を記録し、若年群の歩行データベースと比較検討したところ、高年者は歩幅の減少、両脚支持時間の増加、推進期におけるパワーの減少を行っており、そのような歩行中の適応は dynamic balance が低下していることに関連があると示唆している。DeVita P, and Hortobagyi T.<sup>1)</sup> は同速度で歩行した若年群と高年群を比較し、高年男女は歩行中の膝関節伸展トルクおよび仕事量ならびに足関節トルクおよび仕事量は減少するが、股関節伸展トルクおよび仕事量は増加したことを示した。

このように歩行動作と年齢との関係は力学的情報の記述から検討されているが、必ずしも一致した知見が得られていない。例えば歩行中の股関節角度範囲に関して、Murray MP, et al.<sup>8)</sup> は高年群ほど低値を示したことを報告しているが、Oberger T, et al.<sup>9)</sup> は若年群と高年群に差がないことを報告している。このような知見の相違は、若年者と高年者の少数の対象による比較、被検者の高年群は体力レベルに優れている、測定精度に相違があるなど、対象の特性や測定環境に偏りがあることが原因と考えられる。また歩行動作の先行研究では性別ごとに分類して評価するなど、男性と女性の歩行動作を比較した研究は少ない。性別に歩行動作の特徴を記述し、性差を検討することにより、中高年者の歩行能力の制限因子を評価できるかもしれない。

以上のように中高年者の歩行動作の特徴や制限因子を明らかにするためには、無作為抽出した大規模サンプルに対してその歩行動作を高い精度により記述し、性差や年齢との関連を記述することが必要であると考えた。したがって本研究の目的は1) 地域在住中高年者の歩行動作を3次元映像解析法により記述し、2) 性差および年齢との関連を検討することである。

## 方 法

### 1. 対象者

対象は国立長寿医療センター・疫学研究部が行なう「老化に関する長期縦断疫学調査 (NILS-LSA)」の第2回調査に参加した40—82歳の地域住民男女2075名であった。身体的特性を表1に示す。

### 2. 課題

対象は左右の第5中足骨頭、足関節外顆、膝関節中心、大転子中央と上前腸骨棘とを結ぶ線上で大転子から1/3の点、肩峰点の計10個のマーカーを貼付された。その後中央にフォースプレート2台を設置した10mの

木製歩行路上を通常歩行および速歩行を行なった。検者が通常歩行は「普段通りに」、速歩行は「走らない程度にできるだけ速く」歩行するよう対象に指示した。

### 3. 測定方法

歩行における1サイクルの動作を4台のカメラにより60Hzで (Vicon140, Oxford Metrics)、2台のフォースプレートより1200Hzで (9286, Kistler) 記録し、3次元映像解析法 (DLT法) により体幹、大腿、下腿、足部の3次元空間座標データおよび反力データを算出した。得られた3次元空間座標データおよび反力データはDIFF変換を行ない (臨床歩行分析研究会)、2次のバターワース型ローパスフィルターにより遮断周波数5Hz および10Hz で平滑化した。

### 4. 分析項目

データ分析は、歩行中における右脚の踵接地から爪先離地までの支持期、爪先離地から再度踵接地する直前までの遊脚期、両期間を合わせた1サイクルの区間において行なった (図1)。歩行速度 (m/秒) は体幹および左右下肢の質量中心における並進速度の1サイクルの平均値を算出した。歩幅 (m) は進行方向における左右の足部の3次元空間座標値から求めた。歩調 (Hz) は歩行速度を歩幅で除して算出した。歩行の時間成分 (秒) は支持期、遊脚期、1サイクル時間、単脚支持時間、両脚支持時間である。支持時間は右足がフォースプレートに接地している時間を算出した。遊脚時間は爪先離地から踵接地直前までの時間を足部の3次元空間座標および反力データより算出した。単脚支持時間は支持時間から支持期後半の両脚支持時間を2倍した値を減した値により推定した。両脚支持時間は左右の足が同時に接地した支持期後半の値のみ反力データより算出した。下肢関節角度範囲 (度) は1サイクルにおける股・膝・足関節角度運動の最大値から最小値を減することにより算出した (図2)。下肢関節ピークトルク (Nm) は支持期における股・膝・足関節トルクのピーク値を求めた。股関節は伸展/屈曲ピークトルク、膝関節は支持期前半の屈曲/伸展ピークトルク、支持期後半の屈曲/伸展ピークトルク、足関節は底屈ピークトルクである (図3)。尚、下肢関節角度範囲および下肢関節ピークトルクは矢上面の運動を算出した。

### 5. データ分析および統計処理

性差を Student-t 検定、年齢との関連をピアソンの相関係数により算出した。すべての検定は SAS 統計パッケージ ver.8.2 を用いて行なった。



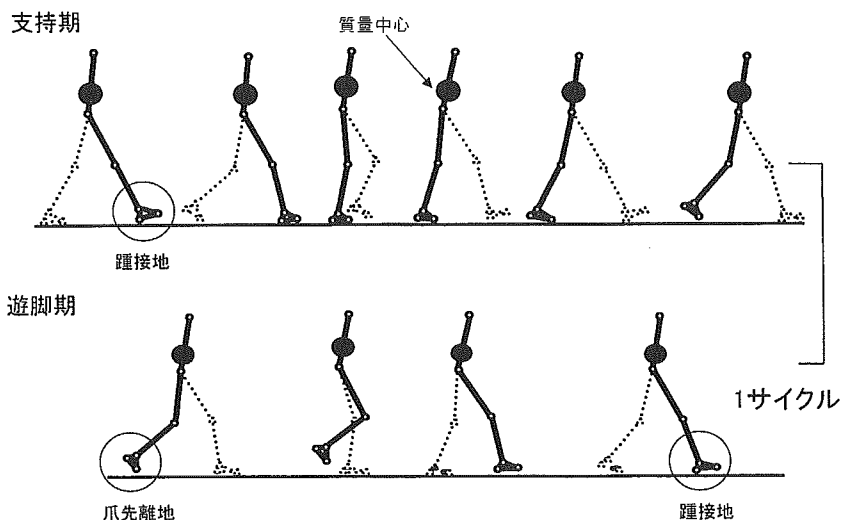


図1 データ分析区間 (歩行のサイクル)

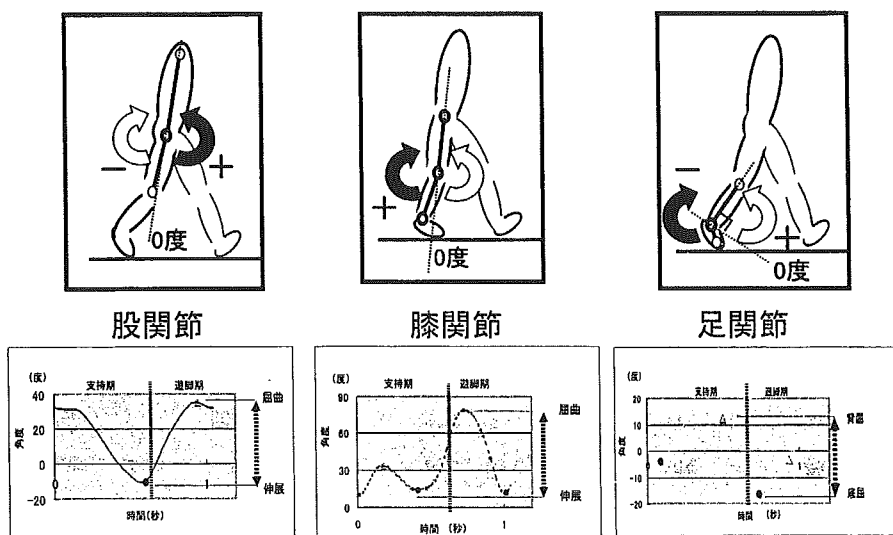


図2 下肢関節角度範囲

股関節

hex : 伸展ピークトルク  
hfx : 屈曲ピークトルク

膝関節

kfx1 : 屈曲ピークトルク(前半)  
kex1 : 伸展ピークトルク(前半)  
kfx2 : 屈曲ピークトルク(後半)  
kex2 : 伸展ピークトルク(後半)

足関節

apx : 底屈ピークトルク

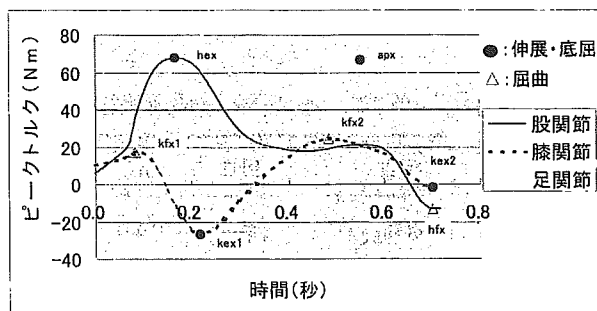


図3 下肢関節ピークトルク (支持期)

結 果

対象者の特性

対象者の身長、体重ともに有意な性差が認められた ( $p<0.001$ )。また男女とも身長、体重とも年齢との間に有意な負の相関が認められた ( $p<0.001$ )。結果を表 1、2 に示す。

速度・歩幅・歩調

通常歩行時の速度は男性  $1.43 \pm 0.18\text{m/秒}$ 、女性  $1.42 \pm 0.18\text{m/秒}$ 、速歩行時の速度は男性  $1.86 \pm 0.25\text{m/秒}$ 、女性  $1.75 \pm 0.24\text{m/秒}$  であり、通常歩行時に有意な性差は認められなかったが、速歩行時に有意な性差が認められた ( $p<0.001$ )。通常歩行時および速歩行時の歩幅、歩調においても有意な性差が認められた。結果を表 3、4 に示す。また通常歩行時における速度と年齢との間の相関係数は男性  $-0.27$ 、女性  $-0.44$ 、速歩行時における速度と年齢との間の相関係数は男性  $-0.44$ 、女性  $-0.56$  であり、男女とも有意な負の相関が認められた ( $p<0.001$ )。通常歩行時および速歩行時の歩幅、歩調においても、男女とも年齢との間に有意な負の相関が認められた。結果を表 5、6 に示す。

時間成分

通常歩行時の両脚支持時間は男性  $0.144 \pm 0.020\text{秒}$ 、女性  $0.138 \pm 0.020\text{秒}$ 、速歩行時の両脚支持時間は男性  $0.116 \pm 0.018\text{秒}$ 、女性  $0.114 \pm 0.018\text{秒}$  であり、速歩行時に有意な性差は認められなかったが、通常歩行時に有意な性差が認められた ( $p<0.001$ )。通常歩行時および速歩行時の支持時間、遊脚時間、1 サイクル時間、単脚時間においても有意な性差が認められた。結果を表 3、4 に示す。また通常歩行時における両脚支持時間と年齢との間の相関係数は、男性  $0.15$ 、女性  $0.26$ 、速歩行時の両脚支持時間と年齢との間の相関係数は、男性  $0.30$ 、女性  $0.38$  であり、男女とも有意な正の相関が認められた ( $p<0.001$ )。通常歩行時の支持時間、速歩行時の支持時間、両脚支持時間、1 サイクル時間、単脚支持時間においても、男女とも年齢との間に有意な正の相関が認められた。結果を表 5、6 に示す。

下肢関節角度範囲

通常歩行時の股関節角度範囲は男性  $45.6 \pm 4.6\text{度}$ 、女性  $44.5 \pm 4.7\text{度}$ 、速歩行時の股関節角度範囲は男性  $50.3 \pm 5.6\text{度}$ 、女性  $47.3 \pm 5.1\text{度}$  であり、通常歩行時および速歩行時ともに有意な性差が認められた ( $p<0.001$ )。

表 1 対象の特性 (Student t 検定)

	男性		女性		p<
	n	(人)	n	(人)	
年齢 (歳)	59.3	± 11.4	59.3	± 11.2	n.s.
身長 (cm)	165.1	± 6.5	152.1	± 5.9	0.001
体重 (kg)	63.1	± 9.4	52.7	± 8.1	0.001

平均値±標準偏差

表 2 男女別にみた身体的特性と年齢との関係 (ピアソンの相関係数)

年齢	男性	p<	女性	p<
身長	-0.52	0.001	-0.51	0.001
体重	-0.36	0.001	-0.22	0.001

通常歩行時の膝・足関節角度範囲、速歩行時の足関節角度範囲においても、有意な性差が認められた。結果を表3、4に示す。また通常歩行時における股関節角度範囲と年齢との間の相関係数は男性-0.10、女性-0.13、速歩行時における股関節角度範囲と年齢との間の相関係数は男性-0.12、女性-0.15であり、通常歩行時および速歩行時ともに、男女とも有意な負の相関が認められた ( $p<0.05$ ,  $p<0.01$ ,  $p<0.001$ )。通常歩行時および速歩行時の足関節角度範囲においても、男女とも年齢との間に有意な負の相関が認められた。結果を表5、6に示す。

下肢関節ピークトルク

通常歩行時の足関節底屈ピークトルクは男性  $86.6 \pm 18.0\text{Nm}$ 、女性  $66.8 \pm 13.1\text{Nm}$ 、速歩行時の足関節底屈ピークトルクは男性  $87.3 \pm 20.3\text{Nm}$ 、女性  $64.4 \pm 13.4\text{Nm}$  であり、通常歩行時および速歩行時ともに有意な性差が認められた ( $p<0.001$ )。通常歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲(後半)ピークトルク、速歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(後半)ピークトルクにおいても、有意な性差が認められた。

表3 男女別にみた通常歩行時の歩行変量 (Student t 検定)

		男性		女性		p<
歩行速度	(m/秒)	1.43	± 0.18	1.42	± 0.18	n.s.
歩幅	(m)	0.72	± 0.07	0.67	± 0.06	0.001
歩調	(Hz)	1.99	± 0.16	2.14	± 0.16	0.001 *
時間成分 (秒)						
支持時間		0.654	± 0.050	0.621	± 0.049	0.001
遊脚時間		0.377	± 0.034	0.357	± 0.045	0.001
1サイクル時間		1.034	± 0.068	0.979	± 0.077	0.001
単脚支持時間		0.365	± 0.032	0.345	± 0.031	0.001
両脚支持間(支持期後半)		0.144	± 0.020	0.138	± 0.020	0.001
下肢関節角度範囲 (度)						
股関節		45.6	± 4.6	44.5	± 4.7	0.001
膝関節		65.2	± 4.8	64.3	± 5.2	0.01
足関節		32.4	± 7.4	34.7	± 7.7	0.001 *
下肢関節ピークトルク (Nm)						
股関節	伸展	88.1	± 23.1	74.1	± 22.5	0.001
	屈曲	- 28.5	± 8.6	- 24.9	± 7.5	0.001
膝関節	屈曲(前半)	29.7	± 9.8	23.1	± 8.3	0.001
	伸展(前半)	- 25.6	± 22.3	- 19.6	± 17.3	0.001
	屈曲(後半)	26.4	± 14.1	22.0	± 11.8	0.001
	伸展(後半)	- 4.6	± 5.2	- 4.1	± 5.8	n.s.
足関節	底屈	86.6	± 18.0	66.8	± 13.1	0.001

1) 平均値±標準偏差

2) 下肢関節ピークトルクの股関節屈曲、膝関節伸展は負の値ほど大きいことを示す

3) n.s.は有意でないことを示す

4) \* は男性より女性が有意に大きいことを示す

結果を表3、4に示す。また通常歩行時における足関節底屈ピークトルクと年齢との間の相関係数は、男性-0.36、女性-0.32、速歩行時における足関節底屈ピークトルクと年齢との間の相関係数は、男性-0.36、女性-0.32であり、通常歩行時および速歩行時ともに、男女とも有意な負の相関が認められた ( $p < 0.001$ )。通常歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節屈曲/伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲(後半)ピークトルク、速歩行時の股関節伸展/屈曲ピークトルク、膝関節伸展(前半)ピークトルク、膝関節屈曲/伸展

(後半)ピークトルクにおいても、男女とも年齢との間に有意な正の相関が認められた。結果を表5、6に示す。

### 考 察

#### 速度、歩幅、歩調

本研究において、男性より女性の方が速歩行時の速度、通常歩行時および速歩行時の歩幅は小さかった。小坂井ら<sup>7)</sup>は、速度、歩幅ともに女性の方が早期に加

表4 男女別にみた速歩行時の歩行変量 (Student t 検定)

		男性		女性		p<
歩行速度	(m/秒)	1.86 ± 0.25	1.75 ± 0.24	0.001		
歩幅	(m)	0.80 ± 0.07	0.71 ± 0.07	0.001		
歩調	(Hz)	2.33 ± 0.24	2.48 ± 0.24	0.001 *		
時間成分	(秒)					
支持時間		0.553 ± 0.056	0.537 ± 0.050	0.001		
遊脚時間		0.345 ± 0.039	0.323 ± 0.043	0.001		
1サイクル時間		0.901 ± 0.082	0.862 ± 0.082	0.001		
単脚支持時間		0.323 ± 0.039	0.309 ± 0.033	0.001		
両脚支持間(支持期後半)		0.116 ± 0.018	0.114 ± 0.018	n.s.		
下肢関節角度範囲	(度)					
股関節		50.3 ± 5.6	47.3 ± 5.1	0.001		
膝関節		63.6 ± 5.4	63.0 ± 5.5	n.s.		
足関節		33.7 ± 6.7	36.1 ± 7.1	0.001 *		
下肢関節ピークトルク	(Nm)					
股関節 伸展		109.7 ± 25.0	93.8 ± 25.6	0.001		
股関節 屈曲	-	39.3 ± 13.4	32.5 ± 10.6	0.001		
膝関節 屈曲(前半)		36.3 ± 12.7	28.3 ± 9.7	0.001		
膝関節 伸展(前半)	-	29.0 ± 29.8	24.7 ± 19.6	0.001		
膝関節 屈曲(後半)		30.0 ± 16.1	22.5 ± 12.6	0.001		
膝関節 伸展(後半)	-	6.4 ± 7.9	5.2 ± 7.1	0.01		
足関節 低屈		87.3 ± 20.3	64.4 ± 13.4	0.001		

1) 平均値±標準偏差

2) 下肢関節ピークトルクの股関節屈曲、膝関節伸展は負の値ほど大きいことを示す

3) n.s.は有意でないことを示す