

—Review—

## Exercise epidemiology on mortality and morbidity with an emphasis on the effects of physical fitness

Hajnalka NÉMETH<sup>1)</sup>, Shuzo KUMAGAI<sup>2)\*</sup>

### Abstract

Metabolic syndrome, a cluster of metabolic and cardiovascular disorders has risen worldwide. The issue gets increasing attention because its progressive form lead to type 2 diabetes mellitus, cardiovascular diseases and premature mortality. Intervention tools are required to prevent them. Physical fitness is recognized to be a first step intervention tool. There are two purposes of this review: to give a summary of the metabolic syndrome and physical fitness; to examine two relationships, namely, the relationship between metabolic syndrome and physical fitness and the relationship between all-cause mortality and handgrip strength.

*Key Words:* lifestyle-related disorders, metabolic syndrome, mortality, physical fitness, muscle strength

(Journal of Health Science, Kyushu University, 32: 21-29, 2010)

---

1) Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University, Kasuga, Japan,

2) Institute of Health Science, Kyushu University, Kasuga, Japan

\*Corresponding author. Institute of Health Science, Kyushu University, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga City, 816-8580, Japan.  
Tel. & fax: +81 92 583 7853. Email address: shuzo@ihs.kyushu-u.ac.jp (S. Kumagai)

## Introduction

Decreased level of physical fitness has been associated with the metabolic syndrome. The syndrome leads to morbidities like type 2 diabetes mellitus (type 2 DM) and cardiovascular disease (CVD). The global number of people with diabetes is set to rise from the current estimate of 150 million to 220 million in 2010, and 300 million in 2025<sup>1)</sup>. Regarding the mortalities, the prevalence of global deaths in CVD is 29.2% and by 2010, CVD will be the leading cause of death in developing countries according to World Health Report 2003<sup>2)</sup>. Population approach and political commitment is needed to prevent these lifestyle-related diseases. The development of type 2 DM and CVDs like stroke and myocardial infarction is not settled. There are several risk factors that are linked with type 2 DM and CVDs, including hyperglycemia, insulin resistance, obesity, elevated blood pressure and dyslipidaemia. Worthy of note, all of these risk factors individually predict future type 2 DM and CVDs, when grouping them together, they convey greater risk.

Monitoring prospectively physical fitness of populations like muscle strength and cardiovascular fitness may help restraining the lifestyle-related threats. Blair *et al.*<sup>3)</sup> showed prospectively that the greatest public health benefit may arise when the most sedentary individuals become somewhat fitter. Physical fitness decreases with aging that is a physiological process. However, recently, worldwide-prevalent sedentary lifestyle has been often associated with lower level of physical fitness than the assigned level. Effects of decline in physical fitness on multiple risk factors, such as biological, sociodemographic and lifestyle are of research interest. Many of the researches have been analysing the multiple risk factors simultaneously.

In this review lifestyle-related disorders and evidences for using physical fitness to predict important health outcomes are summarised.

## 1.1. Metabolic Syndrome as a progressive disorder

Co-occurrence of various mild metabolic and cardiovascular abnormalities is now collectively known as metabolic syndrome (MS), including essential components like glucose intolerance, insulin resistance, obesity, dyslipidaemias and hypertension. MS is a result of complex genetic and environmental interactions. Obesity and physical inactivity are the primary environmental contributors. Genetic background is found to be the major contributor in most of the studies (about 50%), and adiposity and physical inactivity share about the same importance to MS. However, measures of procoagulant and proinflammatory states (low-grade inflammation) have not been elevated to the status of diagnostic criteria of the MS, their relation with the cluster of abnormalities have been often commented. MS estimates in a population may reflect the diversity of the population and the diversity of the environment.

MS is a progressive disorder. The ultimate importance of the MS is that it helps identify individuals at high risk of both type 2 DM and CVD. Predominantly, the risk assessment of CVDs with MS diagnosis is emphasised for long-term. Furthermore, risk assessment of these life threatening diseases promotes the selection of the therapeutic method (lifestyle modification and/or pharmacological intervention). However, risk factors individually predict future type 2 DM and CVDs like stroke and myocardial infarction, grouping them together, i.e. two clustered risk factors or more (MS) convey greater risk of type 2 DM or CVD (Nippon Data 80)<sup>4)</sup>.

The MS has become one of the major public-health challenges worldwide, both in industrialized and developing countries. Over the last century, drastic environmental changes occurred, and the trends are continuing toward a less need of human labour work and an easy access to a wide variety of foods, primarily of high-calorie content.

Despite MS definitions by several health organizations have been worked out, unified universally recognised MS definition has to be still settled. Some of the definitions, the European Group for the Study of Insulin Resistance (EGIR)<sup>5)</sup>, American Association of Clinical Endocrinologists (AACE)<sup>6)</sup>, (World Health Organization

(WHO)<sup>7)</sup> concentrate on either type 2 DM or CVD and the National Cholesterol Education Program-Adult Treatment Panel III (NCEP-ATP III)<sup>8)</sup> mainly focus on CVD only.

Defect in insulin action plays a fundamental role in the development of the CVD risk factors. This is the oldest syndrome concept proposed in 1988 by the WHO<sup>9)</sup>. Other predominant underlying mechanism for the MS appears to be abdominal obesity (concept of International Diabetes Federation<sup>10)</sup> and the Japanese Metabolic Syndrome Criteria<sup>11)</sup>) and inflammation. Inflammatory markers have not been embedded yet among main components in either of the MS definitions. In the literature, the main controversies

arise around the visible obesity markers such as overall obesity expressed by the body mass index (BMI) and upper body obesity, expressed by the waist circumference (WC) and whether the syndrome is uni- or multicausal. Recently, the American Heart Association (AHA) and National Heart, Lung and Blood Institute (NHLBI)<sup>12)</sup> jointly has proposed to lower the impaired fasting plasma glucose level from 110 mg/dL (that is included in the NCEP-ATP III criteria) to 100 mg/dL and emphasised WC to be race specific, just like being proposed in the criteria of the IDF.

Some of the most frequently used MS definitions in the literature are summarized in Table 1-4.

Table 1

World Health Organization (WHO): 1999
IFG: FPG 110-125 mg/dL (6.1-6.9 mmol/L) or IGT (2h PG 140-199 mg/dL (7.8-11.0 mmol/L) or Type 2 DM: FPG $\geq$ 126 mg/dL (7.0 mmol/L) or 2h PG $\geq$ 200 mg/dL (11.1 mmol/L), or insulin resistance (hyperinsulinaemic, euglycemic clamp-glucose uptake in lowest 25%)
Plus 2 or more of the 4 following risk factors:
• Obesity: BMI $>$ 30 kg/m <sup>2</sup> or waist to hip ratio $>$ 0.9 in male or $>$ 0.85 in female
• Dyslipidemia: TG $\geq$ 150 mg/dL (1.7 mmol/L) or HDL-c $<$ 35 mg/dL (0.9 mmol/L) in male or $<$ 39 mg/dL (1.0 mmol/L) in female
• Hypertension: BP $\geq$ 140/90 mmHg
• Microalbuminuria: albumin excretion $>$ 20 $\mu$ g/min or albumin : creatinin ratio $\geq$ 30 mg/g

Table 2

National Cholesterol Education Program-Adult Treatment Panel III (NCEP-ATP III): 2001
3 or more of the 5 following risk factors:
• Central obesity: WC $>$ 102 cm in male, $>$ 88 cm in female
• High TG: TG $\geq$ 150 mg/dL (1.69 mmol/L)
• Low HDL-c: HDL-c $<$ 40 mg/dL (1.04 mmol/L) in male, $<$ 50 mg/dL (1.29 mmol/L) in female
• Hypertension: BP $\geq$ 130/85 mmHg
• High FPG: FPG $\geq$ 110 mg/dL (6.1 mmol/L)

Table 3

International Diabetes Federation (IDF): 2005
<p>Central obesity: ethnic specific waist circumference</p> <p>Plus 2 or more of the 4 following risk factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High TG: TG<math>\geq</math>150 mg/dL (1.7 mmol/L), or specific treatment for this abnormality</li> <li>• Low HDL-c: HDL-c:<math>&lt;</math>40 mg/dL (1.03 mmol/L) in male, <math>&lt;</math>50 mg/dL (1.29 mmol/L) in female or specific treatment for this abnormality</li> <li>• Hypertension: BP<math>\geq</math>130/85 mmHg or treatment of previously diagnosed hypertension</li> <li>• High FPG: FPG <math>\geq</math>100 mg/dL (5.6 mmol/L) or previously diagnosed type 2 DM. If FPG is above the values stated above, OGTT is strongly recommended, but it is not necessary to define presence of the syndrome</li> </ul>

Table 4

Japanese diagnostic criteria for metabolic syndrome 2005
<p>Central obesity: WC <math>\geq</math>85 cm in male, <math>\geq</math>90 cm in female (The values for both males and females correspond to visceral fat areas of <math>\geq</math>100 cm<sup>2</sup>)</p> <p>Plus 2 or more of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• High TG: TG<math>\geq</math>150 mg/dL and /or Low HDL-c: HDL-c <math>&lt;</math>40 mg/dL for both males and females</li> <li>• Hypertension: BP<math>\geq</math>130/85 mmHg</li> <li>• High FPG: FPG <math>\geq</math>110 mg/dL (OGTT is recommended, but it is not essential for the diagnosis)</li> </ul>

The point of view of the various expert groups about the cause of MS is at least partially reflected in the construction of their definitions (the manner in which the various criteria are organized and the role of excess adiposity).

However, sedentary lifestyle contributes to the syndrome, and physical fitness (and physical activity) is recognized as a first step intervention tool, physical fitness and physical activity marker have not been yet elevated to the status of official MS risk factors. Physical fitness modulates insulin action, yet it has not always been readily measured. Physical fitness that is a surrogate measure of skeletal muscle function may appropriately reflect whether a person is sufficiently insulin resistant to develop the MS, type 2 DM and CVD. Furthermore, fitness may also appropriately reflect whether a person is sufficiently visceraally obese to develop the MS, type 2 DM and CVD.

In Japan, according to the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare<sup>13)</sup>, among the 40- to 74-year olds, one of two men and one of five women were either strongly suspected to have MS or prodromal MS. In the Hisayama study, Ninomiya *et al.*<sup>14)</sup> showed that MS is a significant risk factor for the development of CVD in Japanese

middle-aged population.

## 1.2. Physical fitness

Physical fitness is an ability of the body that can be associated with lifestyle-related disorders. It may even predict health-outcomes. There are various markers of physical fitness, like cardiorespiratory fitness (CRF), skeletal muscle strength and vital capacity. At least partially, all of them reflect skeletal muscle function.

### 1.2.1. Cardiorespiratory fitness (CRF)

The CRF has surrogate names like aerobic capacity, endurance fitness, maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max) and peakVO<sub>2</sub>. CRF reflects the function of the lung, cardiovascular system and skeletal muscle, thus CRF is a -systemic function- measure. The CRF is determined by the oxygen uptake (VO<sub>2</sub>) (ml/kg/min) during dynamic work with a cycle ergometer or treadmill. The VO<sub>2</sub>max is considered the international reference standard to examine the maximal endurance performance<sup>15)</sup>.

Depending on the used ergometer, skeletal muscles of all body (treadmill), upper limb (rowing) or lower limb (bicycle) is involved in the dynamic work. CRF is highly dependent on fibres with oxidative capacity (type I fibres). Endurance type of work, like, cross-country skiing, marathon running, and swimming require the highest muscle oxidative capacity. It is well known that athletes with predominantly endurance-type of sport history have higher CRF compared to healthy sedentary subjects<sup>16)</sup>. However, CRF refers to the  $\dot{V}O_2$ max, it cannot be always measured. Exercise capacity may be limited in patients. Patients with certain health risk factors undergo submaximal CRF test. In that case, CRF is estimated from heart rate (70% of the individual's maximal heart rate or above) during submaximal work by nomogram<sup>17)</sup>. One of the most accepted nomogram for estimation of CRF is the Åstrand and Rhyming nomogram<sup>18)</sup>. In the literature, some of the studies related CRF to threshold of lactate (LT)<sup>19)</sup>, threshold of blood plasma catecholamin concentration<sup>20)</sup>, threshold of ventilation (VT)<sup>21)</sup> or threshold of double product (DPBP)<sup>22)</sup>. In the determination of VT and LT, some methodological problems arose in cardiac patients<sup>19)</sup>.

### 1.2.2. Muscle strength

Muscle strength indicates our "vigour" and it is a "strength fitness" indicator. Muscle strength refers to the ability of the working muscle to develop active tension that produces force. Muscle strength is a local function-measure. Maximal muscle strength is the force produced by a single maximum voluntary muscle contraction.

Maximal isometric muscle strength (kg) can be measured on upper limb muscles by handgrip (HG). Strength of other muscle groups, such as of quadriceps muscle and hamstring muscle require isokinetic dynamometers that are less available in population researches. HG strength has significant correlations with other muscle strength measures, thus it can be considered as a good whole body muscle strength indicator<sup>23)</sup>.

HG strength is required in many activities of daily living<sup>24)</sup> and it is a preferred muscle strength test during health check-ups. Alvares and Rcvrbcl<sup>25)</sup> reported HG strength to be the only technique that predicted health outcome in cirrhotic outpatients. People with HG strength deficits have limitation of functional ability to perform their activities of daily living<sup>26)</sup>, such as decreased mobility (decreased walking speed or disability of rising from a chair), decreased self-care ability (lifting something heavy, dressing, bathing, toileting and eating).

Important factors for consideration when testing HG strength are selection of type of dynamometer ①, sex ②, height, and weight ③, age ④, muscle force on dominant and non-dominant sides ⑤, muscle quality ⑥, muscle mass ⑦, trial ⑧, trial number and which HG strength result to use ⑨, encouragement ⑩, and warm-up ⑪.

- ① In general, HG dynamometer is popular in epidemiologic studies because it is simple, cost-effective and easily portable. HG strength dynamometers can be hydraulic (e.g. Jamar), pneumatic (e.g. Tekdyne), mechanical (Smedley, used in used in Baltimore Longitudinal Study of Aging (BLSA) and Honolulu Heart Program/Honolulu Asia Aging Study (HHP/HAAS)) or strain-gauge types (e.g. Lafayette).
- ② Sex differences in strength may emerge partially due to androgen hormones, and males have a stronger grip than females.
- ③ Regarding height and body weight, the larger the body size, the stronger the grip.
- ④ In younger men aged <60 years, rate of loss of strength is more important than actual strength levels, while in older men, aged  $\geq 60$  years, functional performance becomes more directly dependent on strength<sup>27)</sup>.
- ⑤ Difference in hand dominance (usually a 10% difference between sides), and level of subject HG effort may also exist<sup>28)</sup>.
- ⑥ HG strength is highly dependent on muscle fibres with glycolytic capacity (type 2 fibres).
- ⑦ HIG strength is closely related to the absolute quantity of muscle mass, which is reduced with aging<sup>29)</sup>. This decrease in muscle mass might explain

part of the association between strength and mortality. Muscle mass can be estimated by muscle weight, creatinin excretion, or derived anthropometric measures.

- ⑧ Generally, the duration of a single HG strength trial ranges from 3–5s.
- ⑨ A decision must be made on the number of HG trials (preferably three) and whether the best (used in BLSA and HHP/HAAS), the average or the sum of the HG strength of both hands is used.
- ⑩ The examiner must decide if encouragement is provided during the HG measurement and if so, ensure that the encouragement is consistent across all testing periods.
- ⑪ Finally, warm-up trials decrease the variability of the strength measurements.

### 1.3. Muscle strength and its relationship with metabolic syndrome (MS)

Among the reviewed studies, all studies examining the relationship of grip strength with MS were cross-sectional studies<sup>30-31)</sup> carried out in Japanese. Okayama prefecture, British regionally representative and Australian population-based samples. In the Japanese study, MS was defined by the Japanese criteria. The other two studies used both the IDF and NCEP-ATP III definitions. HG strength was measured using different grip dynamometers (Japanese study: THP-10, Sakai; British Study: Jamar; Australian study: Smedley). Used hand, trial number and grip measure varied among the studies. While the Japanese study outlined the importance of muscle strength per body weight, the British study used the force itself in the data analysis, the Australian study related the forearm force (kg) to lean arm mass (kg). All these studies demonstrated that low grip strength was accompanied by a greater likelihood of MS in men<sup>30-32)</sup> and in women<sup>31)</sup> including both younger and older subjects aged 20-79 years<sup>30)</sup> and aged 35-81 years<sup>32)</sup> or only older subjects aged 59-73 years<sup>31)</sup>. In men, similar findings were observed between CRF and MS. Kumagai *et al.*<sup>17)</sup> showed that high degree of CRF positively contributed to the low prevalence of MS in Japanese male patients with IGT and type 2 DM, aged 51.6±12.5 years.

HG strength has been associated with the individual features of the MS. However, because of the cross-sectional study design, the authors suggested that the potential for HG strength to be used in the clinical settings needs to be explored<sup>31)</sup>.

### 1.4. Muscle strength and its relationship with all-cause mortality

Low grip strength was a consistent predictor of death and high grip strength was a consistent predictor of survival in studies with diverse samples of subjects. A Japanese study reported HG strength to be predictive for men but not for women<sup>33)</sup>.

The time between the measurement of grip strength and the determination of outcome ranged from few years (about 5 years of follow-up)<sup>33-39)</sup> to more years (about 20 years of follow-up or more<sup>27): 40-45)</sup>. In a study of Honolulu Heart Program on ethnic Japanese men living in America suggests that midlife HG strength is important for healthy survival, without physical disability, cognitive disability and chronic disease (coronary heart disease, stroke, chronic obstructive pulmonary disease, cancer, Parkinson disease and diabetes)<sup>45)</sup>. HG strength is a predictor of mortality in Caucasians<sup>44)</sup>, in Japanese<sup>40)</sup> and Mexican-Americans<sup>34)</sup>. In the study of Sasaki *et al.*<sup>40)</sup>, mortality was followed prospectively over more than 25 years, and HG strength predicted all-cause mortality in Japanese people. However, the major limitation of their study was that ischemic heart disease, stroke and diabetes were not included in the analysis and half of the subjects were exposed to A-bomb radiation. Rantanen *et al.*<sup>44)</sup> found that in healthy middle-aged men, long-term mortality risk was associated with grip strength at baseline, independent of BMI. Fujita *et al.*<sup>33)</sup> found, in a Japanese health promotion program, that strength independently predicts mortality for 6 years in men, but not in women. In 75 years old Finnish men and women, poor strength tested in multiple muscle groups predicted increased mortality over a follow-up of 5 years<sup>39)</sup>. Metter *et al.*<sup>27)</sup> found that strength predicts mortality for 40 years in men, independent of physical activity and body mass. In their study, in older men, the protective effect of muscle strength was greater than the effect of rate of change in

muscle, whereas in younger men, the rate of change in strength was far more important than the actual strength levels. Further evidences are required that HG strength can predict mortality in adults.

### 1.5. Feature research

In our laboratory, 2 prospective studies are going on.

Title 1: Exercise epidemiology on mortality with an emphasis on the effects of handgrip (HG) strength  
In Japan, no study exists with long follow-up period in general adult population that examines the relationship between HG strength and all-cause mortality. Study that shows that HG strength predicts all-cause mortality in Japanese general adult population is needed. Target sample would include 2630 people of Hisayama town (Kyushu Island; population: 7500) who are older than 40 years. Subjects with missing data or who dropped-out or died between July 8, 1988 and December 1988 would be excluded. Baseline sample size would be approximately 2500 subjects. Baseline includes HG strength (average of maximal HG strength (kg) of both hands), biological (anthropometric, physiologic, haematological and biochemical factors), sociodemographic (education, income) and lifestyle (smoking, alcohol drinking, physical activity) data. The subjects were followed prospectively from December 1988 to November 2007 by repeated health-checks. Age- and multivariate- (BMI current smoking, current drinking, physical activity) adjusted Cox proportional hazard model (hazard ratio with 95% confidence interval) is used for the statistical analysis (SAS program). HG strength: division in quintile. Outcome: all-cause mortality.

Title 2: Exercise epidemiology on metabolic syndrome with an emphasis on the effects of handgrip (HG) strength  
No prospective study exists that examines the relationship between HG strength and the metabolic syndrome. The purpose of a new study would be to show that HG strength predicts metabolic syndrome. Target sample, follow-up period, statistics used: same would be as in the study that would investigate the relationship between all-cause mortality and HG strength. Baseline sample would include

about 1000 subjects. Exclusion: same as in all-cause mortality - HG strength study and metabolic syndrome. Outcome: metabolic syndrome.

### Conclusion

This review is conducted to summarize the lifestyle-related disorders and summarize the evidence for using physical fitness to predict important health outcomes.

### Acknowledgements

This study is performed by scientific research grant from Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan to Shuzo Kumagai.

### Reference

- 1) King H, Aubert R, Herman W (1998): Global burden of diabetes, 1999-2025. Prevalence, numerical estimates and projections. *Diabetes Care*, 21: 1414-1431.
- 2) World Health Organization (2003): *The World Health Report: 2003: Shaping the future*. World Health Organization. ISBN 92 4 156243 9, ISSN 1020-3311.
- 3) Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS Jr, Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW (1989): Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA*, 262: 2395-2401.
- 4) Nakamura Y, Yamamoto T, Okamura T, Kadowaki T, Hayakawa T, Kita Y, Saitoh S, Okayama A, Uchima H (2006): The NIPPON DATA80 Research Group: Combined Cardiovascular Risk Factors and Outcome-NIPPON DATA80, 1980-1994. *Circ J*, 70: 960-964.
- 5) Balkau B, Charles MA (1999): Comment on the provisional report from the WHO consultation. European Group for the Study of Insulin Resistance (EGIR). *Diabet Med*, 16: 442-443.
- 6) Einhorn D, Reaven GM, Cobin RH (2002): American College of Endocrinology position statement on the insulin resistance syndrome. *Endocr Pract*, 9: 236-252.
- 7) World Health Organization (1999): Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications: report of a WHO Consultation. Part 1:

- diagnosis and classification of diabetes mellitus. Geneva, Switzerland: World Health Organization; Available at: [http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/WHO\\_NCD\\_NCS\\_9\\_9.2.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/WHO_NCD_NCS_9_9.2.pdf). Accessed December 12, 2009
- 8) The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel (2001): Executive Summary of The Third Report of The National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA*, 285: 2486-2497.
  - 9) Reaven GM (1988): Banting lecture. Role of insulin resistance in human disease. *Diabetes*, 37: 1595-607.
  - 10) International Diabetes Federation (2005): The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome. Available at: [http://www.idf.org/webdata/docs/Metac\\_syndrome\\_def.pdf](http://www.idf.org/webdata/docs/Metac_syndrome_def.pdf). Accessed November 30, 2009
  - 11) The Examination Committee of Criteria for Metabolic Syndrome (2005): The definition and criteria of metabolic syndrome. *J Jpn Soc Intern Med*, 94: 794-809, (in Japanese).
  - 12) Grundy SM, Cleeman JI, Daniels SR, Donato KA, Eckel RH, Franklin BA, Gordon DJ, Krauss RM, Savage PJ, Smith SC Jr, Spertus JA, Costa F (2005): Diagnosis and management of the metabolic syndrome: an American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute Scientific Statement. *Circulation*, 112: 2735-2752.
  - 13) Office for Life-style Related Diseases Control Health Service Bureau Ministry of Health, Labour and Welfare (2006): Outline for the Results of the National Health and Nutrition Survey Japan, 2006 (extracts). Available at: [http://www.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/nhs2006\\_outline.pdf](http://www.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/nhs2006_outline.pdf). Accessed November 30, 2009
  - 14) Ninomiya T, Kubo M, Doi Y, Yonemoto K, Tanizaki Y, Rahman M, Arima H, Tsuruyama K, Iiida M, Kiyohara Y (2007): Impact of metabolic syndrome on the development of cardiovascular disease in a general Japanese population: the Hisayama study. *Stroke*, 38: 2063-2069.
  - 15) Shephard RJ, Allen C, Benade AJ, Davies CT, Di Pranperro PE, Hedman R, Merriman JE, Myhre K, Simmons R (1968): The maximum oxygen intake. An international reference standard of cardiorespiratory fitness. *Bull World Health Organ*, 38: 757-764.
  - 16) Saltin B, Åstrand PO (1967): Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*, 23: 353-358.
  - 17) Kumagai S, Kai Y, Nagano M, Zou B, Kishimoto H, Sasaki H (2005): Relative contributions of cardiorespiratory fitness and visceral fat to metabolic syndrome in patients with diabetes mellitus. *Metab Syndr Relat Disord*, 3: 213-220.
  - 18) Åstrand PO, Rhyming I (1954): A nomogram for calculation of aerob capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol*, 7: 218-221.
  - 19) Meyer K, Hajric R, Westbrook S, Samek L, Lehmann M, Schwaibold M, Betz P, Roskamm H (1996): Ventilatory and lactate threshold determinations in healthy normals and cardiac patients: methodological problems. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72: 387-393.
  - 20) Mazzeo RS, Marshall P (1989): Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol*, 67: 1319-1322.
  - 21) Bensimhon DR, Leifer ES, Ellis SJ, Fleg JL, Keteyian SJ, Pina IL, Kitzman DW, McKelvie RS, Kraus WE, Forman DE, Kao AJ, Whellan DJ, O'Connor CM, Russell SD; HF-ACTION Trial Investigators (2008): Reproducibility of peak oxygen uptake and other cardiopulmonary exercise testing parameters in patients with heart failure (from the Heart Failure and A Controlled Trial Investigating Outcomes of Exercise Training). *Am J Cardiol*, 102: 712-717.
  - 22) Tanaka H, Kiyonaga A, Terao Y, Ide K, Yamauchi M, Tanaka M, Shindo M. (1997): Double product response is accelerated above the blood lactate threshold. *Med Sci Sports Exerc*, 29: 503-508.
  - 23) Rantanen T, Era P, Kauppinen M, Heikkinen E (1994): Maximal isometric muscle strength and socio-economic status, health and physical activity in 75-year-old persons. *J Aging Phys Activity*, 2: 206-220.
  - 24) Jette AM, Branch LG, Berlin J (1990): Musculoskeletal impairments and physical disablement among the aged. *J Gerontol*, 45: 203-208.
  - 25) Alvares-da-Silva MR, Reverbel da Silveira T (2005):



- Comparison between handgrip strength, subjective global assessment, and prognostic nutritional index in assessing malnutrition and predicting clinical outcome in cirrhotic outpatients. *Nutrition*, 21: 113-117.
- 26) Rantanen T, Guralnik JM, Foley D, Masaki K, Leveille S, Curb JD, White L (1999): Midlife hand grip strength as a predictor of old age disability. *JAMA*, 281: 558-60.
- 27) Metter EJ, Talbot LA, Schraeger M, Conwit RA (2002): Skeletal muscle as a predictor of all cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 57: 359-365.
- 28) Innes E (1999): Handgrip strength testing: A review of the literature. *Aust Occup Ther*, 46: 120-140.
- 29) Metter EJ, Lynch N, Conwit R, Lindle R, Tobin J, Hurley B (1999): Muscle quality and age: cross sectional and longitudinal comparisons. *J Gerontol Biol Sci Med Sci*, 54: 207-218.
- 30) Miyatake N, Wada J, Saito T, Nishikawa H, Matsumoto S, Miyachi M, Makino H, Numata T (2007): Comparison of muscle strength between Japanese men with and without metabolic syndrome. *Acta Med Okayama*, 61: 99-102.
- 31) Sayer AA, Syddall HE, Dennison EM, Martin HJ, Phillips DI, Cooper C, Byrne CD (2007): Grip strength and the metabolic syndrome: findings from the Hertfordshire Cohort Study. *Q J Med*, 100: 707-713.
- 32) Atlantis E, Martin SA, Haren MT, Taylor AW, Wittert GA, Members of the Florey Adelaide Male Ageing Study (2009): Inverse associations between muscle mass, strength, and the metabolic syndrome. *Metabolism*, 58: 1013-1022.
- 33) Fujita Y, Nakamura Y, Hiraoka J, Kobayashi K, Sakata K, Nagai M, Yanagawa H (1995): Physical-strength tests and mortality among visitors to health-promotion centers in Japan. *J Clin Epidemiol*, 48: 1349-1359.
- 34) Ah Snih S, Markides KS, Ray L, Ostir GV, Goodwin JS (2002): Handgrip strength and mortality in older Mexican Americans. *J Am Geriatr Soc*, 50: 1250-1256.
- 35) Hülsmann M, Quittan M, Berger R, Crevenna R, Springer C, Nuhr M, Mörtl D, Moser P, Pacher R (2004): Muscle strength as a predictor of long-term survival in severe congestive heart failure. *Eur J Heart Fail*, 6: 101-107.
- 36) Laukkanen P, Heikkinen E, Kauppinen M (1995): Muscle strength and mobility as predictors of survival in 75-84-year-old people. *Age Ageing*, 24: 468-473.
- 37) Rantanen T, Volpato S, Ferrucci L, Heikkinen E, Fried LP, Guralnik JM (2003): Handgrip strength and cause-specific and total mortality in older disabled women: exploring the mechanism. *J Am Geriatr Soc*, 51: 636-641.
- 38) Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick EM, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Tyllavsky FA, Rubin SM, Harris TB (2006): Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 61: 72-77.
- 39) Rantanen T, Era P, Heikkinen E (1997): Physical activity and the changes in maximal isometric strength in men and women from the age of 75 to 80 years. *J Am Geriatr Soc*, 45: 1439-1445.
- 40) Sasaki H, Kasagi F, Yamada M, Fujita S (2007): Grip strength predicts cause-specific mortality in middle-aged and elderly persons. *Am J Med*, 120: 337-42.
- 41) Gale CR, Martyn CN, Cooper C, Sayer AA (2007): Grip strength, body composition, and mortality. *Int J Epidemiol*, 36: 228-235.
- 42) Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, Morrow JR Jr, Jackson AW, Sjöstöm M, Blair SN (2008): Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*, 337: a439.
- 43) Metter EJ, Talbot LA, Schraeger M, Conwit RA (2004): Arm-cranking muscle power and arm isometric muscle strength are independent predictors of all-cause mortality in men. *J Appl Physiol*, 96: 814-821.
- 44) Rantanen T, Harris T, Leveille SG, Visser M, Foley D, Masaki K, Guralnik JM (2000): Muscle strength and body mass index as long-term predictors of mortality in initially healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55: 168-173.
- 45) Willcox BJ, HE Q, Chen R, Yano K, Masaki KH, Grove JS, Donlon TA, Willcox DC, Curb JD (2006): Midlife risk factors and healthy survival in men. *JAMA*, 296: 2343-2350.

— 原 著 —

日本人地域一般住民における身体活動量の実態：  
久山町研究

岸本裕代<sup>1,4)</sup>, 大島秀武<sup>2)</sup>, 野藤 悠<sup>3)</sup>, 上園慶子<sup>1)</sup>,  
佐々木 悠<sup>1)</sup>, 清原 裕<sup>4)</sup>, 熊谷秋三<sup>1)\*</sup>

Free-living physical activity in a general Japanese population:  
the Hisayama Study

Hiroyo KISHIMOTO<sup>1,4)</sup>, Yoshitake OHSHIMA<sup>2)</sup>, Yu NOFUJI<sup>3)</sup>, Keiko UEZONO<sup>1)</sup>,  
Haruka SASAKI<sup>1)</sup>, Yutaka KIYOHARA<sup>4)</sup>, and Shuzo KUMAGAI<sup>1)</sup>

ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the free-living physical activities using accelerometer in a general Japanese population. **Methods:** The 2066 participants attached accelerometer for more than 7 days. We analyzed the data from 767 men and 1111 women  $\geq 20$  yr (mean age =  $64 \pm 12$  yr) whose physical activity data were available. The mean walking steps, metabolic equivalent tasks (METs) · hours express as Exercise (Ex), and the energy expenditure of free-living physical activity were calculated. **Results:** The mean daily walking steps and energy expenditure were  $6499.4 \pm 3476.5$  steps and  $2186.7 \pm 347.2$  kcal in men and  $6061.1 \pm 2936.7$  steps and  $1770.8 \pm 292.4$  kcal in women ( $p < 0.01$ , respectively). The daily Ex for walking in men ( $201.7 \pm 121.2$  Ex) was significantly higher than that in women ( $115.5 \pm 69.4$  Ex,  $p < 0.01$ ). On the other hand, the daily Ex for other physical activity in men ( $433.8 \pm 137.0$  Ex) was significantly lower than that in women ( $461.2 \pm 127.4$  Ex,  $p < 0.01$ ). All measurements were significantly decreased with aging, especially in 70 and 80 age groups ( $p < 0.05$ ). **Conclusions:** Free-living physical activities significantly differ among sex or age groups. Additional studies using accelerometer are needed to demonstrate the relationship between physical activities and several lifestyle-related diseases in a general Japanese population.

(Journal of Health Science, Kyushu University, 32: 97-102, 2010)

1)九州大学健康科学センター Institute of Health Science, Kyushu University, Kasuga, Japan

2)オムロンヘルスケア株式会社新規事業開発センター OMRON HEALTHCARE Co., Ltd., Kyoto, Japan

3)九州大学大学院人間環境学府 Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University, Kasuga, Japan,

4)九州大学大学院医学研究院社会環境医学 Department of Environmental Medicine, Graduate school of Medical Science, Kyushu University, Fukuoka, Japan

\*Corresponding author. Institute of Health Science, Kyushu University, 6-1 Kasuga-koen, Kasuga City, 816-8580, Japan.  
Tel. & fax: +81 92 583 7853. Email address: shuzo@ihs.kyushu-u.ac.jp (S. Kumagai)

## 1. はじめに

日常生活における身体活動・運動は、生活習慣病の発症や改善に影響することが知られている<sup>1)</sup>。これにより、厚生労働省は健康づくりのための運動基準 2006<sup>2)</sup> および健康づくりのための運動指針 2006(エクササイズガイド 2006)<sup>3)</sup>を策定し、身体活動・運動の増加を生活習慣病予防対策の一つとして提唱した。エクササイズガイド 2006 がこれまでの指針と異なる点は、日常生活における身体活動・運動量および体力の具体的な目標値を設定したことにある。しかし、目標値設定のために使用された先行研究の多くが欧米諸国による成績であり、わが国の成績はわずかに数編にすぎない。そのため、設定された目標値が日本人の生活習慣病予防にとって有用であるのか否かは不明のままである。また、日本人一般地域住民を対象に、運動・スポーツ活動以外の身体活動量およびそれらの消費カロリー量を実測した大規模疫学研究は未だ報告されていない。

身体活動量の実測値に基づく評価指標には、歩行計や加速度計など身体装着型の器具を用いた日常歩行数が主に用いられている。歩行計による一般成人の1日当たりの平均歩行数は、加速度計による評価に比べ、1800歩以上少ないことが報告されている<sup>4)</sup>。このような測定誤差の原因には、歩行計の測定精度が速歩のような加速度の高い身体活動に対して高く、加速度の低い身体活動(ゆっくり歩行や断続的な歩行)に対して低いことが考えられている。しかしながら、加速度計を用いて日常生活における身体活動量を大規模に調査された本邦の研究成績は得られていない。そこで本研究は、加速度計を用いて日本人地域一般住民の身体活動量を実測した。

## 2. 方法

### (1) 対象者

平成21年度久山町生活習慣病予防健診(以下、健診と略す)を受診した久山町地域一般住民2,322名のうち、研究参加への同意が得られた2,066名(男性983名、女性1,339名、健診受診者の89%)が本研究の調査対象者であった。健診は平成21年6月25日～8月10日のうちの23日間で行われた。参加者は、調査参加前に本研究の概要や調査の意義についての説明を受けた。なお、不参加者の内訳は、健診時に身体活動調査ブースを訪れなかった者73名、および研究参加拒否者183名

であった。全対象者のうち、測定期間中に1日8時間以上の装着日(3日以上得られた1,878名(男性767名、女性1,111名、対象者の91%))を解析対象者と定義した。この定義は、1日1時間以上の装着がある対象者の計測値を装着時間毎に分布した結果、抽出基準を8時間以上とすることが妥当であったこと、先行研究において信頼性のある習慣的な身体活動の推定に必要な日数は3～5日程度であること<sup>5)</sup>に基づいた。

### (2) 測定方法

#### 1) 身体活動量計

身体活動量計は、臨床用3軸加速度センサー活動量計(Active Style Pro HJA-350IT, オムロン社製、以下加速度計と略す)を用いた。加速度計の特徴は、身体の動きと姿勢の変化を捉え様々な活動を識別することで、歩行時の活動量だけでなく、従来の加速度計では捉えることが出来なかった生活活動時の活動量についても精度良く計測できる点にある。加速度計の信頼性および妥当性については、加速度計を用いて推定された1日の総消費エネルギー量と二重標識水(DLW)法により計測された総消費エネルギー量との間には有意な正の相関関係( $r=0.859, p<0.05$ )が確認されている。

#### 2) 加速度計の配布および回収方法

加速度計は、健診終了直後に研究参加の同意が得られた対象者へ配布した。測定期間は健診当日から7日間とした。測定期間がお盆休み(8月12日～15日)が含まれる対象者については、健診当日から10日間を測定期間とした。回収は測定期間最終日の翌日に実施した。回収方法は健診会場への持ち込み、あるいは自宅回収とした。対象者には、加速度計と共に1週間の装着記録用紙を配布することで動機づけを促した。

#### 3) 加速度計の装着方法

加速度計の装着は、入浴および入水時以外の起床から就寝までとした。装着部位は身体の前面・腰位置とし、ベルトまたはズボンの裾をクリップで挟み装着した。仕事等の理由によって身体の前面に装着できない参加者については、加速度計が立位時に水平位置が保持できる身体背面・腰位置に装着してもらった。なお、測定期間中、参加者が計測値を閲覧しないように画面は日時のみを表示した。測定期間終了後、対象者には

計測結果(計測期間中の平均歩行数および生活活動・歩行別の消費カロリー量)と身体活動に関する個人毎のアドバイスを返却した。

#### 4) 評価項目

身長は、身長計(DC-250, TANITA 社製)を用いて計測した。体重および体脂肪率は、体脂肪計(MC-190, TANITA 社製)を用いて生体電気インピーダンス法により計測した。体格指数(body mass index : BMI)は体重÷(身長)<sup>2</sup>の式より算出した。歩行数、活動強度(Metabolic Equivalent Tasks : METs), エクササイズ(Ex), および身体活動による消費カロリー量(活動カロリー)は加速度計により計測した。

#### 5) 加速度計から得られる変数の定義

歩数は、加速度計で得られた3軸の加速度データが一定の間隔で閾値を超えた場合に「1歩」としてカウントした。加速度データより歩行時と生活活動時とを識別するため、上肢の姿勢変化が伴わない動作を「歩行」、姿勢変化が伴うその他の動作を「生活活動」として定義した。Ex, 総身体活動カロリー, および総消費カロリー量は以下の式より算出した。

$$Ex = \text{活動強度(METs)} \times \text{時間(時)}$$

$$\text{総身体活動カロリー} = \text{METs} \times \text{安静時代謝}$$

$$\text{総消費カロリー量} = \text{総身体活動カロリー} + \text{基礎代謝} + \text{食事誘発性熱産生}$$

Exについては、3METs以上の歩行・生活活動を評価した。安静時代謝は、基礎代謝×1.1より算出し、基礎代謝はGanpuleら(2007)<sup>6)</sup>の式を用いた。また、食事誘発性熱産生は総消費カロリー量の10%とした。

#### 6) 解析方法

解析結果は平均値±標準偏差で示した。20代(男性2名, 女性2名)および90代(男性1名, 女性1名)は、対象者数が極端に少ないため、統計解析は40代~80代の対象者で行った。男女および年代別の測定項目における性差の比較は対応のないt検定を用いて解析した。年代別の身体的特性および身体活動量の比較は一元配置分散分析を用いて検定し、事後検定はtukey posthoc検定を用いた。有意水準はすべて5%未満とし、解析にはSPSS(バージョン15.0)を使用した。

#### (3) 倫理的配慮

本研究は、ヘルシンキ宣言の方針に基づき実施され、九州大学健康科学センターの倫理委員会の承認を得て行われた。対象者はインフォームド・コンセントが十分に行われ、何らかの不利益が生じた場合には協力の中止を求めることができる旨の同意をとった上で研究に参加してもらった。

### 3. 結果

#### (1) 対象者数の性年代別内訳

図1に対象者の性・年代別分布を示した。男女ともに60代が最も多く、男性361名, 女性268名であった。

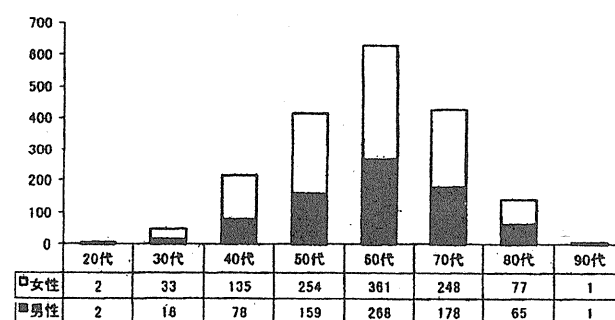


図1. 性・年代別の対象者の分布

図中の数値は人数を示す

#### (2) 対象者の特性

男女別の身体的特性を表1に示した。年齢, 身長, 体重, BMI, 歩行数, 身体活動などの全項目に有意な性差が認められた。

表1. 対象者の男女別特性

	男性	女性
人数(%)	767 (40.8)	1111 (59.2)
年齢(歳)	63.7 ± 11.7	62.4 ± 12.0 <sup>a</sup>
身長(cm)	164.2 ± 7.1	152.4 ± 7.0 <sup>**</sup>
体重(kg)	62.9 ± 9.9	53.0 ± 9.5 <sup>**</sup>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.3 ± 3.0	22.8 ± 9.7 <sup>**</sup>
歩行数(歩)	6499.4 ± 3476.5	6061.1 ± 2936.7 <sup>**</sup>
歩行(kcal/日)	201.7 ± 121.2	115.5 ± 69.4 <sup>**</sup>
生活活動(kcal/日)	433.8 ± 137.0	461.2 ± 127.4 <sup>**</sup>
歩行+生活活動(kcal/日)	635.5 ± 212.0	576.7 ± 161.6 <sup>**</sup>
総消費カロリー量(kcal/日) <sup>a</sup>	2186.7 ± 347.2	1770.8 ± 292.4 <sup>**</sup>
歩行Ex(Ex/日)	2.1 ± 1.8	1.6 ± 1.4 <sup>**</sup>
生活活動Ex(Ex/日)	1.4 ± 1.4	2.1 ± 1.5 <sup>**</sup>
Ex合計(Ex/日) <sup>b</sup>	3.4 ± 2.6	3.7 ± 2.4 <sup>**</sup>

平均値±標準偏差 \*p<0.05 \*\*p<0.01 vs. 男性

<sup>a</sup> 歩行, 生活活動, 基礎代謝, 食事誘発性熱産生の合計を示す

<sup>b</sup> 歩行および生活活動によるExの合計を示す

(3) 性・年齢階級別の平均歩行数

図2は、性・年齢別の1日当たりの平均歩行数を示した。男女別の平均歩数は男性で6499.4±3476.5歩、女性で6061.1±2936.7歩であった(表1)。40代、70代、および80代の平均歩数には、それぞれ男女間に有意な性差を認めた。男性の平均歩数は、40代で最も多く、60代から高齢群ほど有意に少なかった。一方、女性の平均歩数は、50代が最も多く、70代および80代では他の年代よりも有意に少なかった(図2)。

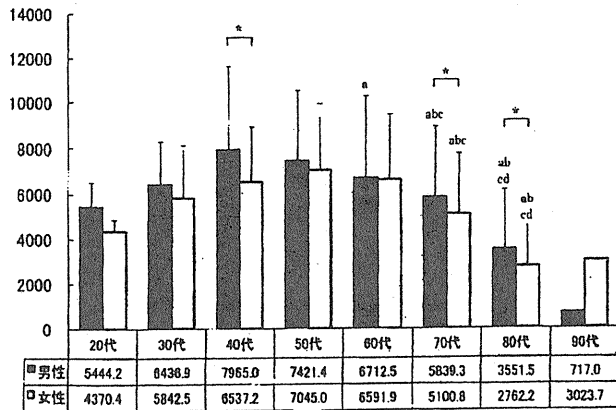


図2. 性・年代別の平均歩行数(歩/日)

平均値±標準偏差 \*p<0.05, \*\*p<0.01 vs. 同年代の男性  
 a p<0.05 vs. 同姓の40代 b p<0.05 vs. 同姓の50代  
 c p<0.05 vs. 同姓の60代 d p<0.05 vs. 同姓の70代

(4) 性・年齢階級別の平均消費カロリー量

図3には、1日当たりの総消費カロリー量を示した。40代から80代の各年代において有意な性差が認められた。また、総消費カロリー量は男女とも高齢群であるほど有意に低値であった。

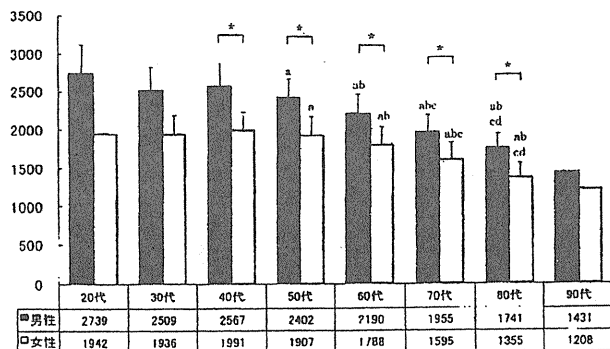


図3. 性・年代別の総消費カロリー量(kcal/日)

平均値±標準偏差 記号は図2と同様

総消費カロリー量を詳細に検討するため、図4に総身体活動、歩行、および生活活動別の平均値を性・年代別に示した。総身体活動カロリーは、40代から80代の群で男性が女性よりも有意に多く、男女とも高齢群ほど有意に少なかった。歩行カロリーも同様に、男性の方が有意に多く、男性では50代から、女性では60代から高齢群であるほど有意に少なかった。一方、生活活動カロリー量では、60代および70代の男性が女性よりも有意に少なく、男女ともに60代以降の高齢群ほど有意に低値であった。

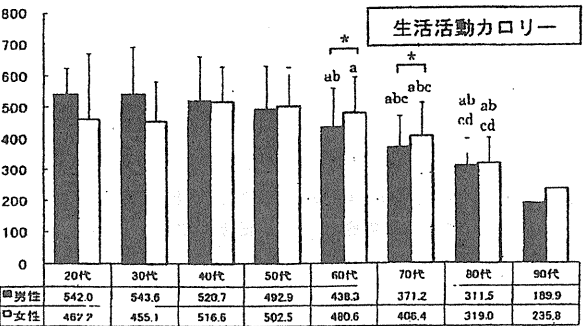
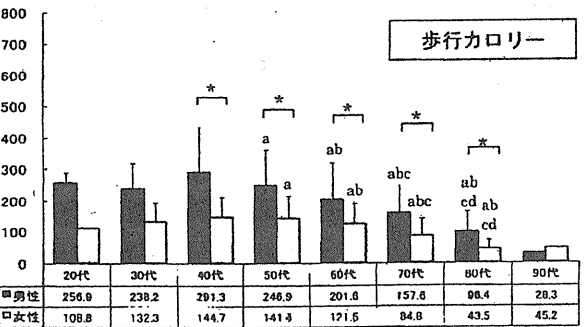
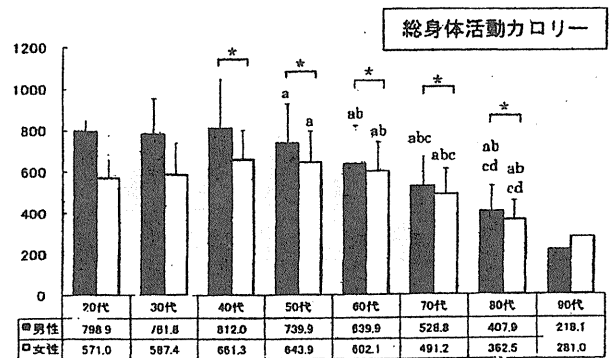


図4. 各身体活動カロリー量の性・年代別比較

図中の数値は平均値を示す(kcal/日)  
 記号は図2と同様

(5) 性・年齢階級別の平均Ex

図5には、性・年代別の総身体活動、歩行、および生活活動による平均Exを示した。40代から80代にお

ける総身体活動 Ex には性差を認めなかったが、60 代および 70 代女性は男性よりも高い傾向を示した。男性では 50 代から、女性では 60 代から高齢群ほど有意に低かった。歩行 Ex では、男性が女性よりも有意に多く、男女ともに 60 代から高齢群ほど有意に低値であった。一方、生活活動 Ex においては、40 代から 80 代の全ての群に有意な性差が認められ、歩行の結果に反し、女性よりも男性の方が有意に低値であった。また、70 代および 80 代の男女において、他の年代よりも有意な低値が観察された。

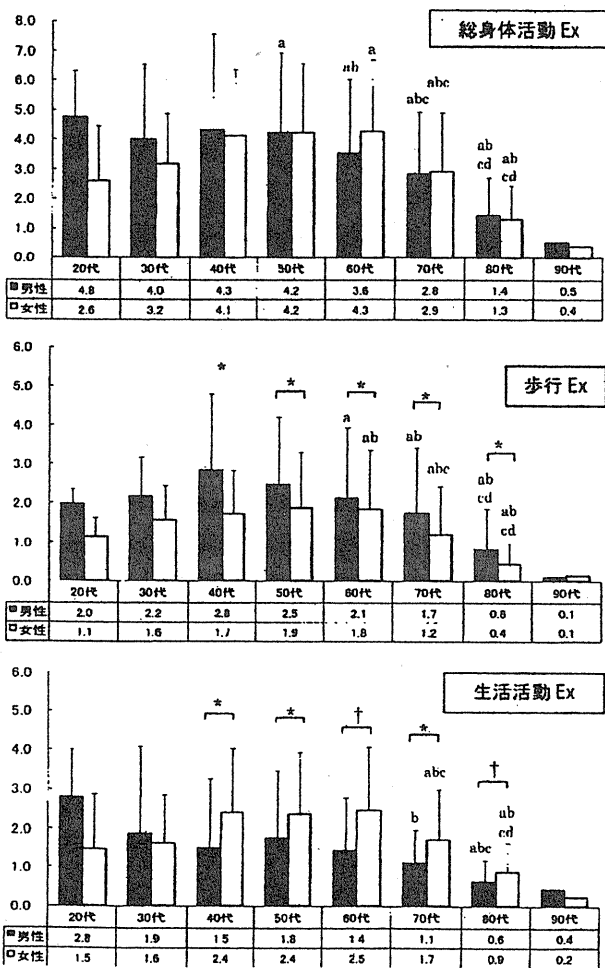


図 5. 各身体活動 Ex の性・年代別比較 (Ex/日)  
 図中の数値は平均値を示す 記号は図 2 と同様

4. 考察

本研究では、日本人地域一般住民の日常生活における身体活動量を調査した初の大規模調査研究である。加速度計により約 1 週間の歩行数、身体活動での消費カロリー量、さらには個人の年齢・体重、および性別の影響を受けない Ex を実測した結果、一般成人男女の 1 日当たりの歩行数は平均 6061~6499 歩、身体活動に

よる消費カロリー量は 576~635kcal、Ex は 3.4~3.7Ex であった。エネルギー消費量または Ex で評価された身体活動は 40 代または 50 代で最も多く、高齢であるほど有意に少なかった。さらに、これらの減少程度は、70 代および 80 代において顕著であった。

健康日本 21 における 1 日当たりの歩行数の日標値は、20~69 歳男性で 9200 歩、女性で 8300 歩、70 歳以上の男性で 6700 歩、女性で 5900 歩となっている<sup>5)</sup>。これらの日標値は、平成 9 年の日本人の 1 日平均歩行数が男性 8202 歩、女性 7282 歩であったことから、今後の目標として男女とも 1 日当たり約 1000 歩の増加(歩行で約 10 分、距離にして 600~700m に相当)が設定されたことに起因する。本研究の平均歩行数を健康日本 21 の目標値と比較すると 1000~2000 歩程度少なく、また、平成 18 年の健康日本 21 中間報告<sup>6)</sup>における実績値、20~69 歳(男性 7532 歩、女性 6446 歩)および 70 歳以上(男性 5386 歩、女性 3917 歩)の平均歩行数と比較すると同程度であった。平成 18 年以降、わが国では「健康づくりのための運動基準 2006」や「エクササイズガイド 2006」を策定し、健康づくりに必要な身体活動・運動に関する情報発信やこれらを実践しやすい環境づくりの取り組みが行われてきたが、本研究の結果から日本人の歩行数を増加させるためには、さらに具体的に詳細な知識提供および環境整備の必要性が示唆された。

歩行数増加の本来の目的は、日常生活における消費カロリー量を増加させ、肥満に起因する様々な生活習慣病を予防・改善することにある。しかし、脳卒中を例に挙げても、身体活動量と脳卒中発症との量-反応関係は未だ見解が一致しておらず、邦人による報告が少ないことも現状にある<sup>7)</sup>。したがって、今後も身体活動量と様々な疾病発症との関連性を検討した科学的根拠の蓄積が必要である。また、わが国の高齢者における身体活動量の調査報告は非常に少なく、介護予防の手立てを講じるうえでも、まずその実態を明らかにすることが急務と考えられる。本研究において、身体活動量は 70 代以降で顕著であったことから、高齢期に身体活動量を低下させる要因の検討が必要であろう。

エクササイズガイド 2006 において、身体活動の基準値を 3Mets 以上の活発な身体活動を週に 23 Ex(1 日当たり約 3.3 Ex)以上とした根拠には、1)基準値を歩数に換算すると 8000~10000 歩に相当し、目標値としては妥当であること、2)3Mets 未満での身体活動・運動と生活

習慣病との関連に関する科学的根拠がなかったことが報告されている<sup>8)</sup>。本研究では、3METs以上の歩行・生活活動によるExが平均3.4~3.7Exの場合、歩行数は平均6061~6499歩であったことから、邦人による週23Exの身体活動では歩行数が8000~10000歩に到達しない可能性が示唆された。今後、3Mets未満のExの実態を示すことに加え、邦人の身体活動が生活習慣病に及ぼす影響を前向きに検討する必要がある。

年代別でのExの占める割合は、男性では生活活動よりも歩行の割合が多く、女性では歩行よりも生活活動の占める割合が多い傾向にあった(図5)。これにより、日常生活の行動パターンにおける性差が再確認された。本研究で定義された生活活動は上肢の動作を伴う身体活動、主に家事、育児、および買い物などの身体活動が多く含まれていると考えられる。一方、歩行は上肢の動作を伴わない動作、上に通勤、ウォーキング、およびジョギングのような身体活動と考えられる。残念ながら本研究では、どのような種類の身体活動が実際に行われたかについては明らかに出来なかったが、身体活動・運動を指導する際に、性別による日常生活の行動パターンを考慮して指導することが必要であろう。

本研究の限界は、1)水中での身体活動(入浴、水泳など)および自転車による身体活動量が含まれていないこと、2)就寝中の身体活動が計測されていないこと、3)測定期間中の天候(例えば降水量)の影響を考慮していないこと、であった。

## 5. おわりに

福岡県久山町の地域一般住民を対象に、加速度計による身体活動量の実態調査の結果から、以下の点が示された。

- (1) 日本人の1日当たりの平均歩行数は約6061~6499歩、身体活動によるエネルギー消費量は576~635kcal、およびExは3.4~3.7Exであった。
- (2) 身体活動量は高齢であるほど少なく、その程度は特に70代以上で顕著であった。高齢者の身体活動に関する科学的根拠の構築が急務である。
- (3) 日本人の身体活動量を増加させるためには、現状

よりもさらに具体的で詳細な情報発信と環境整備の必要性が示唆された。

- (4) 歩行および生活活動Exは男女で傾向が異なることから、性差も考慮に入れた身体活動・運動の指導を展開する必要があるだろう。

## 6. 謝辞

本研究は、平成21年度厚生労働科学研究費循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業(研究代表者:熊谷秋三)の補助を受けて実施された。また、本研究は、九州大学大学院人間環境学府行動システム専攻健康科学コース学生および研究生の皆様、並びに九州大学健康科学センタースタッフの皆様の協力を得て実施された。皆様に心から感謝いたします。

## 7. 引用論文

- 1) 熊谷秋三:責任編集(2009):健康と運動の疫学入門,医学出版
- 2) 厚生労働省運動所要量・運動指針の策定検討会(2006):健康づくりのための運動基準2006—身体活動・運動・体力
- 3) 厚生労働省運動所要量・運動指針の策定検討会(2006):健康づくりのための運動指針2006—エクササイズガイド2006
- 4) Tudor-Locke C, Ainsworth BE, Thompson RW, Matthews CE. (2002): Comparison of pedometer and accelerometer measures of free-living physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 34: 2045-2051
- 5) Trost SG, McIver KL, Pate RR. (2005): Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med Sci Sports Exerc* 37: S531-S543
- 6) Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I. (2007): Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr* 2007 61: 1256-1261
- 7) 岸本裕代, 秦 淳, 清原 裕(2009):特集:慢性疾患における身体活動・運動. 実験治療, 696: 25-28
- 8) (財)健康・体力づくり事業財団(2008):第3章活用編. エクササイズガイド活用ブック, p92

—研究資料—

障害と疾病の予防的戦略に関する一考察：  
スポーツマネジメントの観点から

木村公喜<sup>1)2)</sup>, 熊谷秋三<sup>2)\*</sup>

The prevention method for an injury

Koki KIMURA<sup>1)2)</sup>, Shuzo KUMAGAI<sup>2)\*</sup>

Abstract

Everybody hope the healthy life. But injured people have been increased in recent year. The reason of the injury is overwork, overweight and aging. In this review, research Anterior Cruciate Ligament (ACL) damage as the current state of the lower limbs injury in our country and the measures this introduction on the possibility of insole. ACL damage is one of the lower limbs injury. The reason of the ACL damage are stop-motion, cutting-motion and landing-motion. Prevention program of ACL damage is used by handball and basketball since 1999. Another way insole is one of the tool for prevention injury. The merit of insole is simple by using and very reasonable thing. Insole recover the broken foot like a flatfoot. Also, up until this country health promotion measures as evidence with scientific proof is to spread settling in market strategy, while showed the success stories. Science is not always used almost people. Health promotion was not always success in Japan. The medical cost is increasing every year, and this is big problem in my country. How to use the health science in the market is refer to sports management theory, National Basketball Association (NBA) for example. Possibility of scientific evidence obtained further disaster prevention for spreads in the market for sports and demonstrates the success stories of health management.

*Key Words:* health promotion, injured athlete, prevention damage, sports management

(Journal of Health Science, Kyushu University, 32: 115-122, 2010)

1) 福岡天神医療リハビリ専門学校

2) 九州大学健康科学センター Institute of Health Science, Kyushu University

\*連絡先：九州大学健康科学センター 〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1 Tel&Fax：092-583-7856

\*Correspondence to: Institute of Health Science, Kyushu University 6-1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan  
Tel&Fax: +81-92-583-7856 E-mail: sugiyama@ihs.kyushu-u.ac.jp



## 1. はじめに

競技者のみならず、一般人にとっても健康で過ごすことは最も重要な願いのひとつであろう。障害の内、過度な利用や加齢、過体重による関節や骨格筋の故障がある。下肢の主な障害部位には、足関節、膝関節、股関節がある。わが国では、これらの下肢障害の予防改善に足底挿板の活用が有効であることが認められつつある<sup>1,2,3)</sup>。

足底挿板は、下肢障害予防ツールの中でも比較的安価であるため、消費者にとって経済的メリットがある。下肢の障害に対して、足底挿板の使用による予防が期待される。

また、健康づくりの根拠は、既に多くの研究により運動療法の根拠となっている。しかし、わが国における健康づくりの施策による効果は、成功しているとは言えない<sup>4)</sup>。

このように、健康に関する科学的根拠を得ている事象でも、予防接種などのように市場に普及定着しているものとそうでないものがある。科学的根拠が認められている事柄は、市場に普及してこそ価値があると考えられる。

健康づくりの必要性は、社会ニーズであることは周知の通りである。これは、ヒトは健康を基盤に人生を全うしたいと願っていることに加えて、わが国における医療費が高騰しており<sup>5)</sup>、社会経済上の重大な課題となっていることによる。

一方、健康に関する科学的理論は、社会で活かされることにひとつの価値がある。また、得られた科学的根拠により雇用が創出され、ビジネス化することで社会に定着していくものと考えられる。

本資料は、わが国の下肢障害に対する取り組みとその実績を示しつつ、足底挿板と運動障害予防の関連性を解説した。また、わが国でもスポーツビジネスにおける事業普及としての理論体系化が始まったばかりで

ある。このスポーツ分野の成功事業例を取り上げながら、スポーツ障害が科学的根拠を得た後の社会定着までの方策を考察した。

## 2. わが国における下肢障害予防の取り組み

各種スポーツの基本となるランニングは、スポーツ選手の下肢の慢性障害の発症と密接な関係<sup>6)</sup>にある。このような基本動作による障害予防と、足部の形状や下肢アライメントを考慮して補強・形成された足底挿板は、ランニング障害の代表的な予防策であり、この使用が慢性障害の軽減に有効であったとの複数の報告<sup>1,2)</sup>がある。

また、現在では一般人の健康づくりの手法としてウォーキングが普及しており、この運動強度はランニングよりも軽い場合が多いが、ランニング同様に下肢に過負荷となれば関節障害となる可能性は高まる。

下肢の関節における重大な障害の一つに前十字靭帯(以下 ACL)の損傷がある。以下にこの ACL 損傷について述べる。

表 1<sup>7)</sup>は、ACL の主な予防プログラムである。トレーニング群と非トレーニング群において発生頻度が 1,000 時間あたりにおいて、いずれの報告も予防プログラムを実施した方が発生頻度が減少している。このように効果的な ACL 障害予防プログラムがありながら、これらがスポーツ分野に普及しているとは言えない。

ACL 損傷発生の時の特徴を表 2<sup>8)</sup>に示した。また表 3<sup>9)</sup>には、ACL 損傷の原因となる動作とその要因について示めた。すなわち、ACL 損傷を引き起こすスポーツ動作には、ストップ動作、カッティング動作、着地動作の主に 3 つが挙げられている。このため、ACL 損傷を起こしやすいスポーツ種目にはバスケットボールやハンドボールがある。このうち、バスケットボールは児童期から競技スポーツとして人気があり公式大会も開催されている。

表 1 ACL 予防プログラムと損傷減少

	対象者数 (人)		1,000 時間当たり発生頻度	
	トレーニング群	非トレーニング群	トレーニング群	非トレーニング群
Hewett,1999	366	463	0.00	0.22
Mandelbaum,2005	1885	3818	0.09	0.49
Olsen,2005	958	879	0.03	0.16
Myklebust,2003	1113	1587	0.08	0.17

(福林,2008 より引用)

表2 ACL 損傷の発生にみられる共通した特徴

1. スポーツ活動での発生率が高い。
2. ノンコンタクト（非接触型）損傷が多い。
3. 女性の発生率が高い。
4. 比較的若い女性に多い。
5. ノンコンタクト損傷は、バスケットボール、バレーボール、ハンドボール、サッカーで多い。
6. ストップ動作、方向転換（カッティング）、ジャンプからの着地で損傷することが多い。
7. 左膝の発生が多い。
8. 膝関節は内反・下腿内旋位で損傷するかもしれないが、実際は膝関節外反・下腿外旋位での損傷も多いと考えられるようになってきた。
9. 解剖学的要因、ホルモンの要因、環境の要因、バイオメカニクスの要因などが関連すると考えられてきた。

（浦辺幸夫,2005 より引用）

表3 ACL 損傷が発生する動作とその状況

動作	状態	理由
ストップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・膝関節屈曲不十分</li> <li>・膝関節外反</li> <li>・片脚での荷重</li> <li>・重心が後方</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・筋力不足（大腿四頭筋、ハムストリング）、筋持久力不足、習慣などによるアライメント不良</li> </ul>
方向転換のカッティング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・膝関節屈曲不十分</li> <li>・膝関節外反</li> <li>・減速不十分</li> <li>・片脚での荷重</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・筋力不足、習慣などによるアライメント不良</li> </ul>
着地	<ul style="list-style-type: none"> <li>・膝関節屈曲不十分</li> <li>・膝関節外反</li> <li>・膝関節過伸展</li> <li>・片脚での荷重</li> <li>・制御困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・筋力不足、習慣などによるアライメント不良</li> <li>・反則、密集によるバランスの制御の困難</li> </ul>

（浦辺幸夫,2007 より引用）

ACL の発生は、入院手術を伴いその後のリハビリテーションの期間を含めて、競技復帰までに長期間を要する。成長期の過度な運動による怪我などの障害は、その後の競技の継続が出来なくなるなど、心身へのダメージも大きくなることが考えられる。児童期のスポーツ指導は、必ずしも健康科学の専門的知識や技能をもつ者が配属されるとは限らない。このため、運動障害の予防のための方法の普及が指導現場に必要と考えられる。

ACL 損傷が世界的トピックスになったのは1970年代後半であり、選手生命に大きな影響を与えるこの損傷の診断・治療に世界中の整形外科医が取り組んだ<sup>7)</sup>。これが「スポーツ整形外科」の発展にもつながる大きな転機となったひとつの事例である。

わが国では、このような運動障害予防のプログラムは、まだ歴史が浅く、運動障害の予防のためのプロ

ラムを、どのようにして市場に普及できるかが今後の課題となっている。

一方、足底挿板の障害予防のための活用は、科学的根拠の蓄積により商品化されつつある。運動障害の予防プログラムだけでなく、足底挿板のような運動障害の予防ツールの普及は、消費者が簡易に判断できる障害予防対策に十分なりうると考えられる。

### 3. 足裏の機能について

足底挿板は、足アーチの補正を行うツールである。足アーチは、足部の距骨以下中足骨までの12個あまりの骨をつなぐ靭帯、力源となる筋、腱、および全体を制御する神経系より構成されている。足のアーチには、大きく分けて3つがある。各アーチには、内側縦アーチが距骨下関節（以下 ST 関節）、距舟関節、楔舟関節、第1リスフラン関節からなり、外側縦アーチが ST 関節、

表4 わが国のスポーツと足底挿板に関する主な文献

横江清司, 中嶋寛之, 萬納寺毅智ほか (1982): 足底板によるスポーツ障害の治療 <sup>3)</sup> .
高澤晴夫, 福島稔 (1987): 下肢のスポーツ障害と Sorbothane(足底板) <sup>10)</sup> .
石井清一 (1987): ランニング障害と装具 <sup>11)</sup> .
大久保衛, 上野憲司, 山中伸弥ほか (1988): 下肢のスポーツ障害に対する足底支持板の臨床成績 <sup>12)</sup> .
佐々木克則, 今井丈, 増島篤ほか (1993): スポーツ外傷・障害に対する我々の足底挿板療法 <sup>13)</sup> .
川野哲英 (1994): 外傷予防用足底板制作の試み <sup>14)</sup> .

(大久保衛, 2008 より引用を一部修正)

踵立方関節, 第5リスフラン関節で構成されており。横アーチは, 母指球, 小指球, 踵骨内外側突起の3点を支点としている。

橋本は<sup>15)</sup>, ヒトの2足歩行を支える足の機能として求められていることは, 体重を支えることと, 移動に際して力を地面にうまく伝達すること, および接地時の衝撃を和らげることであり, 体重を支えるためには, 足は頑丈であればよいが, 力の伝達という面では不利になることを指摘した。そして, この矛盾する問題を解決したのが足アーチであったと述べている。

足のアーチは, 足底に加わる加重による負荷をうまく分散して支え, 着地時の衝撃を吸収したり, 神経や血管, 筋肉が加重によって過度に押しつぶされないように機能している(図1)。扁平足のように, 顕著にアーチが低い場合は, アーチ本来の機能が低下するため, アーチ痛や足部の疲労骨折, シンスプリントなどの障害の要因ともなる。

主な各アーチの機能は, 内側縦アーチは, 踵骨載距突起部ではST関節に直接関与し, 舟状骨部では, 距舟関節と楔舟関節に関与し, 中足骨部では第1列に関与している。外側縦アーチは, 踵骨・立方骨部では, 果部誘導およびST関節肢位に関与し, 中足骨部では, 第5列に直接関与している。横アーチは, 主として前後の動きをコントロールしている。

サルの足は, 扁平で足アーチ構造は存在しない。タンザニアのラエトリで約350万年前の猿人の足跡が見つかり, その足跡には既に上踏まずが存在した<sup>16)</sup>。このように, 足アーチの形成はヒトが2足歩行を常に行っている動物であるためと考えられている。

図2は, 踵骨を起始として足趾基節骨に停止する足底腱膜が踵離地時に足趾背屈とともに巻き上げられることにより, 足アーチが高くなり, 踵離地から趾離地

での蹴りだしの力をスムーズに地面に伝えることができるようになる機能である。足アーチは, ヒトの2足歩行を担う優れた機能であるといえる。

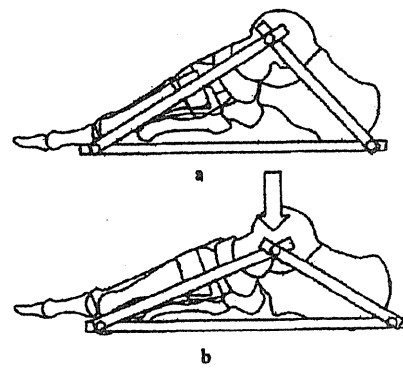


図1. Truss mechanism. 足部は三角形のトラス構造とみなすことができる。a: 比荷重時。b: 荷重時。荷重時には, トラス構造が沈み込み, 力の分散と吸収を行う。(橋本 2004 より引用)

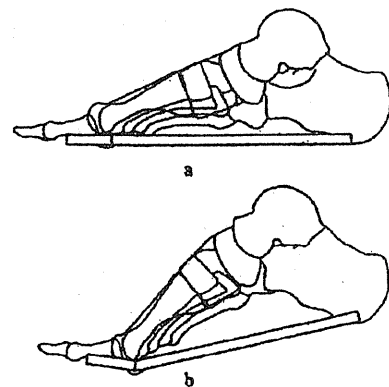


図2. Windlass mechanism. a: 歩行相における立脚中期。b: 歩行相における踵離地時。線は足底腱膜が巻き上げられ, 足アーチは高まる。(橋本 2004 より引用)

#### 4. 足底挿板とスポーツ障害

下肢などにかかる負担の軽減策として、靴や足底挿板のミッドソール素材による、着地衝撃の軽減効果が認められている<sup>17)</sup>。元来ヒトは、足のアーチによる衝撃吸収機能を備えている。一般の者に比べ、アスリートは動きが激しくなる分、靴により発生する衝撃を緩衝する必要があるため、靴のソール素材の開発の恩恵を受けている。一方、一般人も筋力の低下や過体重などが原因で、下肢の関節に過負荷がかかる場合が増えている。これらのケースに対して、競技者同様に、靴に着地衝撃の軽減効果がある素材が使われているものを使用する意義は高い。しかし、このような靴が購入されるかは、その認知度を察するに一般化しているとは言い難い。このため足底挿板とともに使用価値が科学的に認められた商品は、スポーツマネジメントなどの領域の理論により、マーケットに一般化できるように図ることには意義がある。

足底挿板の使用価値に関しては、足底挿板による下肢の運動制動に関する運動学的な研究が、後足部の回内外運動を中心として積極的に行われている<sup>18,19)</sup>。これは、後足部の過回内やこれに伴う頸骨回旋が、様々な下肢ランニング障害の主要な危険因子であるとみなされているためである。

近年、足部の回内外モーメントや膝関節の内外転モーメント、内外旋モーメントなどキネティカルな変量に着目して、足底挿板の効果を検討した研究がみられる<sup>20)</sup>。一般的に足部の回内外は、下腿回旋と連動するとされている<sup>21)</sup>。

我々の研究結果において、平均年齢 20±4 歳の学生 22 人の足型を採取したところ、正常足者が 27%であったのに対して、回内足 46%と扁平足 20%と正常足者に比べ、異常足者の割合が多い結果が得られた。この年齢時に正常足の割合が少ないという結果は、その後下肢の関節障害を発症する可能性が予想される。このような、足裏の形状不良のサポートに足底挿板の有効活用が期待されている。

わが国でもスポーツメーカを主として、障害の予防策としての靴、靴下、および足底挿板の開発がなされている。しかし、それを十分に裏付ける根拠は少ない。この3つのツールのうち靴下と足底挿板は、靴に比べ

安価に活用できる経済的利点がある。科学的な裏づけを伴った健康づくりのためのツールは社会貢献度も高く、現在の市場にとっても必須アイテムと成り得る<sup>22)</sup>。

欧米では足専門医 (Podiatrist) 制度が確立しており、皮膚科医、形成外科医、創傷専門看護師などの連携により、足病変の治療が行われている<sup>23)</sup>。わが国においても、日本人を対象とした検討研究により、欧米同様に足の専門家の確立は可能であることがうかがえる。

わが国における、スポーツと足底挿板に関する主な文献は、表 4 に示した。大久保の腸頸靭帯炎の症例を集めた研究<sup>24)</sup>では、腸頸靭帯炎はO脚の者だけでなく、そうでない者や過回内足の者にも発症し、足部が過回内になると、下腿より内旋して結果的に腸頸靭帯が引き寄せられるとした。

腸頸靭帯炎発症者に 3mm の内側ウェッジでは効果がなかったが、5mm では下腿の内旋が抑制されることが報告された<sup>24)</sup>。それまでの足底挿板の効果判定は、患者の主観や主治医の勘を頼りに義肢装具士に委ねられていた。足底挿板とスポーツの関連研究は、1978 年の James<sup>19)</sup>の文献以降、わが国では横江ら<sup>3)</sup>の 1982 年論文からとその歴史は浅い。

#### 5. スポーツマネジメントの成功事例

前述したように、科学的根拠を得た事象が市場で普及するとは限らない。生活習慣病の予防改善としてのウォーキングプログラムも一般化するのに多くの年数を要した。

一般化することを日常化と捉えると、障害予防する際に物品が必要な場合は、それが消費者の購入時の選択品となっている必要がある。このため、ビジネスを意識したマネジメント領域のノウハウが必要と考えられる。以下にスポーツビジネスの成功例を示し解説する。

過度な使用による障害が、選手生命ばかりか日常生活に支障をきたすことも周知の事実である。このため、正しく効果的な障害予防、および健康づくりの方法が、国民に一般化することが重要なことと考えられる。しかしながら、実際は誰も予防よりも健康を害してはじめて、その重要さに気づくことが多い。ここにも、ス