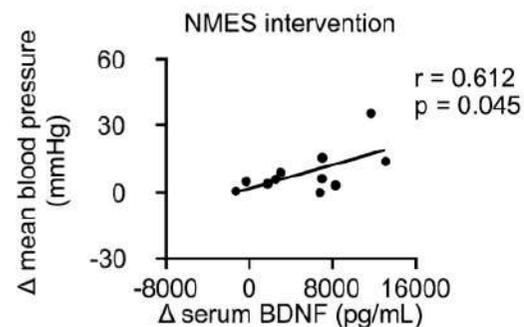


# これまでの流れ概観

筋強収縮×呼吸循環応答×BDNF

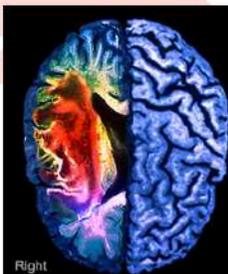
高強度電気刺激により、脳由来神経栄養因子 (BDNF) の血清濃度が増加

(Kimura T, Kaneko F, et al, Exp Brain Res, 2018)



## 感覚運動麻痺の神経損傷治療

脳卒中などの中枢神経損傷者の治療



<https://www.webmd.com/stroke/ss/slideshow-stroke>

ヒト

運動の知覚機序

多モダリティの統合

視覚



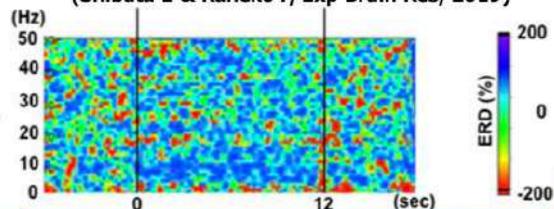
運動イメージ

振動刺激=筋紡錘刺激

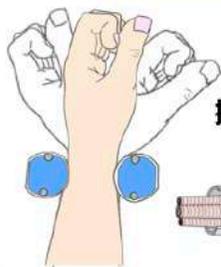


(Shibata E, Kaneko F, et al Exp Brain Res, 2017)

(Shibata E & Kaneko F, Exp Brain Res, 2019)



他動的に脳内運動感覚誘導と生体指標

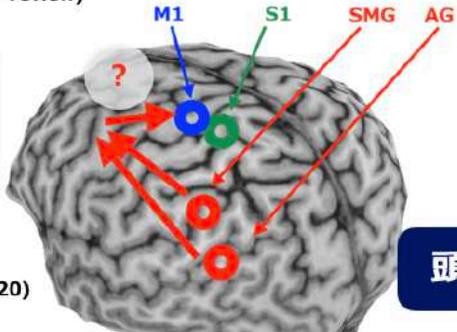


## 連発非侵襲脳刺激

連発脳刺激による運動麻痺治療

(Shindo K, Kaneko F, et al, Brain Stim, 2019)

頭頂葉



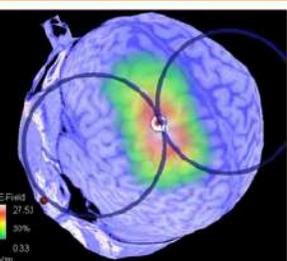
運動イメージ  
脳内再生

非侵襲脳刺激検査

(Kaneko F, et al, Clin Neurophysiol, 2003)

整形外科手術後の関節固定により、  
運動のイメージを脳内再生して、運動野を興奮させる機能が低下する

運動機能低下と、運動感覚の脳内再生機能との関連  
→脳損傷はなくても、運動機能低下と脳機能低下は関連している？



経頭蓋磁気刺激法

認知×平衡機能×左背側前頭前野脳刺激

ストループ課題



あお	あか	きいろ	みどり	あか	きいろ
きいろ	あか	あか	みどり	あか	きいろ
あお	きいろ	みどり	あか	きいろ	あお
あお	みどり	あか	きいろ	あか	あお
あか	きいろ	みどり	あか	きいろ	あか
きいろ	あお	あか	みどり	あか	きいろ

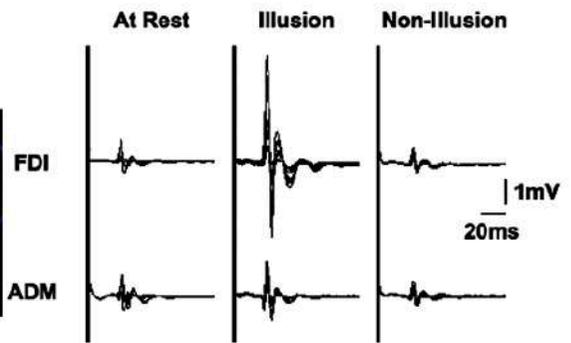
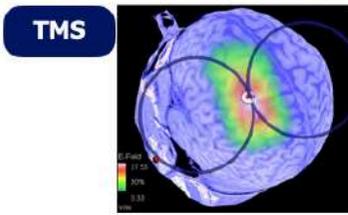
(Kimura T, Kaneko F, et al, Sci Res, under review)

脳部位間の機能関連解析  
▶頭頂葉活動は運動野興奮性に影響する

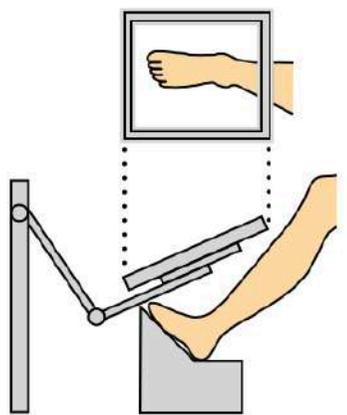
(Kaneko F, et al, Brain Stim, 2020)

基礎科学的展望：感覚入力⇔脳神経回路活動⇔運動感覚の知覚（意識）の因果の解明

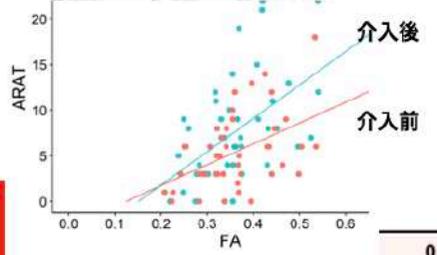
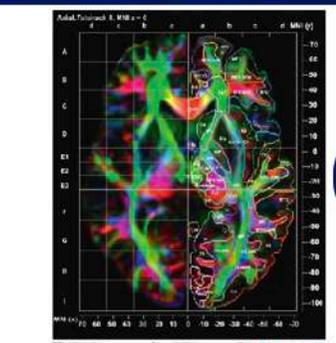
- ・運動の知覚機序
- ・運動イメージが脳内で再生される機序



(Kaneko F, et al, Neurosci, 2007)



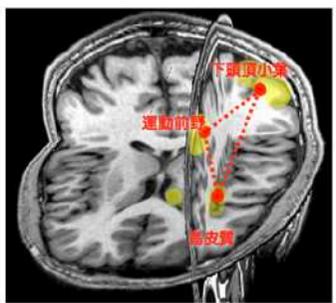
(Aoyama T, Kaneko F, et al, Neurosci Lett, 2012)



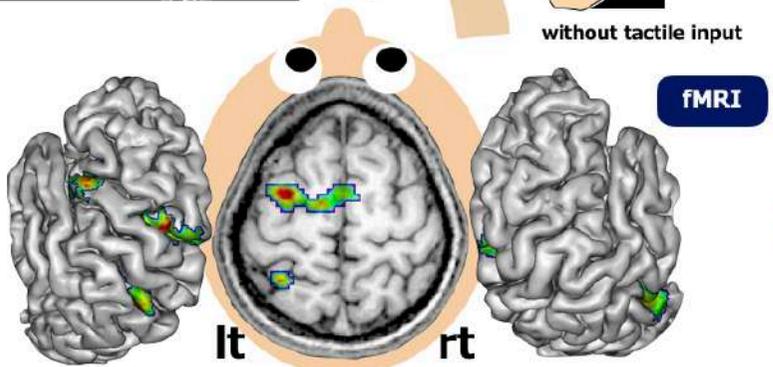
(Yoneda M, Kaneko F, et al, In preparation)



医療機器開発



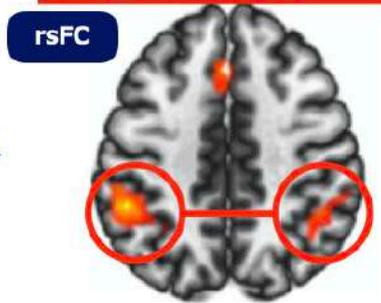
仮想的に自己身体を人工身体に置き換えて脳内で運動感覚を体験させる意義



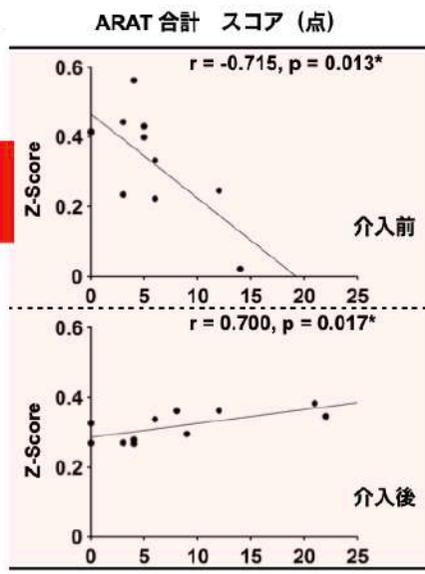
(Kaneko F, et al, PLOS ONE, 2015)



脳可塑性の誘導  
運動機能への影響

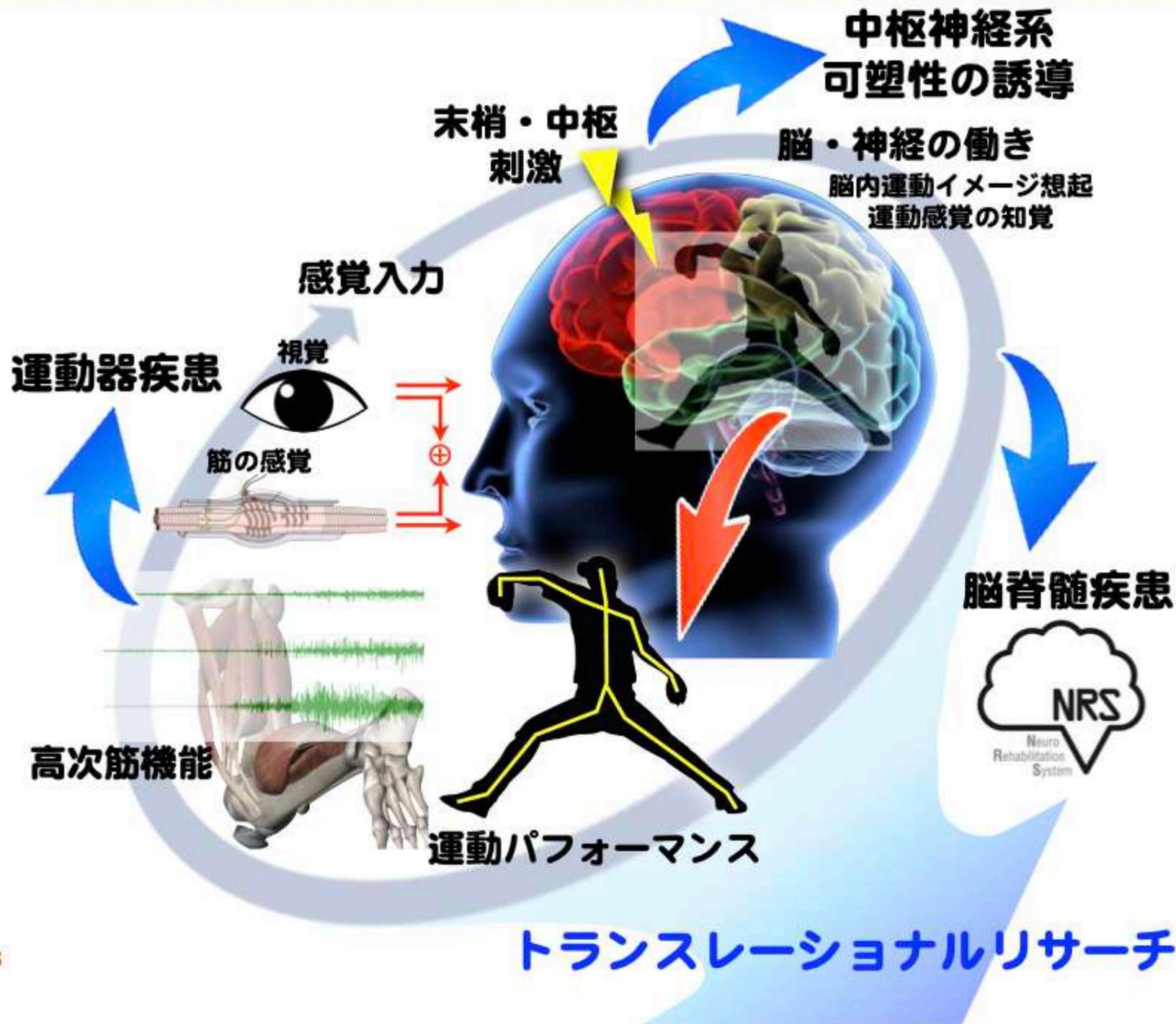


(Kaneko F, et al, Front Sys Neurosci, 2019)



生理学的機序

臨床試験と実用化



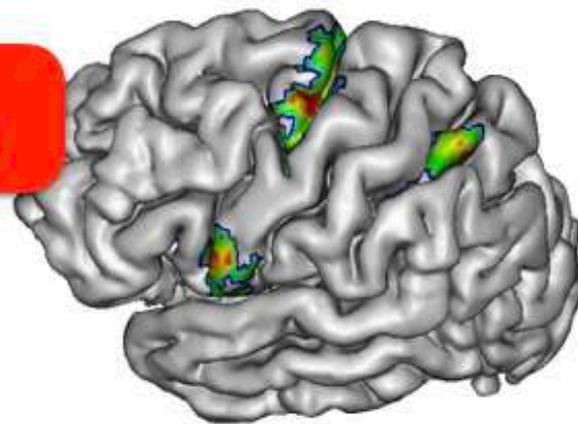


VRとARを研究に応用  
(人間が自分の身体を自分の  
ものと感じる仕組み)

脳神経科学  
(脳や脊髄の活動)

科学的研究

産学連携



## 脳卒中の重度まひ回復

スマートリハ室のイメージ



脳波から読み取った意思  
通りに体を動かす装置など

ロボットを使った  
機能回復の評価

データを  
統合・処理

患者の治療プロ  
グラム作りや機  
器の改善に利用

脊髄に刺激を  
与えて歩行を  
支援する装置

脳波から意思を  
読み取り、体を  
動かす装置

を使い、治療が難しい重い  
まひの回復を目指す次世代

# 最先端リハビリ

先端リハ  
臨床応用

廃用手が動いた!  
ARによる自己運動錯覚で、  
運動機能障害の  
新しい治療方法の道を開く



札幌医科大学

(株式会社ボーンデジタル, 2017)

(読売新聞 夕刊, 2017年5月1日)



## OPEN ACCESS

EDITED BY  
Akiyoshi Matsugi,  
Shijonawate Gakuen University, Japan

REVIEWED BY  
Sofia Rita Cardoso Fernandes,  
University of Lisbon, Portugal  
Tadamitsu Matsuda,  
Juntendo University, Japan

\*CORRESPONDENCE  
Fuminari Kaneko  
f-kaneko@tmu.ac.jp

SPECIALTY SECTION  
This article was submitted to  
Brain Health and Clinical  
Neuroscience,  
a section of the journal  
Frontiers in Human Neuroscience

RECEIVED 14 June 2022  
ACCEPTED 19 July 2022  
PUBLISHED 16 August 2022

CITATION  
Kuwahara W, Sasaki S, Yamamoto R,  
Kawakami M and Kaneko F (2022) The  
effects of robot-assisted gait training  
combined with non-invasive brain  
stimulation on lower limb function in  
patients with stroke and spinal cord  
injury: A systematic review and  
meta-analysis.  
*Front. Hum. Neurosci.* 16:969036.  
doi: 10.3389/fnhum.2022.969036

COPYRIGHT  
© 2022 Kuwahara, Sasaki, Yamamoto,  
Kawakami and Kaneko. This is an  
open-access article distributed under  
the terms of the [Creative Commons  
Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use,  
distribution or reproduction in other  
forums is permitted, provided the  
original author(s) and the copyright  
owner(s) are credited and that the  
original publication in this journal is  
cited, in accordance with accepted  
academic practice. No use, distribution  
or reproduction is permitted which  
does not comply with these terms.

# The effects of robot-assisted gait training combined with non-invasive brain stimulation on lower limb function in patients with stroke and spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis

Wataru Kuwahara<sup>1,2</sup>, Shun Sasaki<sup>1</sup>, Rieko Yamamoto<sup>1,3</sup>,  
Michiyuki Kawakami<sup>1</sup> and Fuminari Kaneko<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan, <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Graduate School of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan, <sup>3</sup>Department of Artificial Environment, Safety, Environment and System Engineering, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, Kanagawa, Japan

**Objective:** This study aimed to investigate the effect of robot-assisted gait training (RAGT) therapy combined with non-invasive brain stimulation (NIBS) on lower limb function in patients with stroke and spinal cord injury (SCI).

**Data sources:** PubMed, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Ovid MEDLINE, and Web of Science were searched.

**Study selection:** Randomized controlled trials (RCTs) published as of 3 March 2021. RCTs evaluating RAGT combined with NIBS, such as transcranial direct current stimulation (tDCS) and repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS), for lower limb function (e.g., Fugl-Meyer assessment for patients with stroke) and activities (i.e., gait velocity) in patients with stroke and SCI were included.

**Data extraction:** Two reviewers independently screened the records, extracted the data, and assessed the risk of bias.

**Data synthesis:** A meta-analysis of five studies (104 participants) and risk of bias were conducted. Pooled estimates demonstrated that RAGT combined with NIBS significantly improved lower limb function [standardized mean difference (SMD) = 0.52; 95% confidence interval (CI) = 0.06–0.99] but not lower limb activities (SMD = –0.13; 95% CI = –0.63–0.38). Subgroup analyses also failed to find a greater improvement in lower limb function of RAGT with tDCS compared to sham stimulation. No significant differences between participant characteristics or types of NIBS were observed.

Review:

# Impact of the Upper Limb Physiotherapy on Behavioral and Brain Adaptations in Post-Stroke Patients

Wataru Kuwahara<sup>\*,\*\*</sup>, Yu Miyawaki<sup>\*\*,\*\*\*</sup>, and Fuminari Kaneko<sup>\*,\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine  
35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8582, Japan  
E-mail: f-kaneko@rims.ac.jp

<sup>\*\*</sup>Department of Physical Therapy, Graduate School of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University  
7-2-10 Higashi-Oka, Amakawa-ku, Tokyo 116-8551, Japan

<sup>\*\*\*</sup>Human Augmentation Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
6-2-3 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-0882, Japan

[Received March 18, 2022; accepted May 17, 2022]

Many stroke patients suffer from motor impairments due to paralysis, and consequently, motor paralysis of upper limbs seems to be particularly prone to residual impairment compared to that of lower limbs. Although ‘learned non-use’ that by managing reasonably well using only the unaffected upper limb in their actions, the patients can achieve their desired behavior, and these success experiences strengthen this pattern of behavior can be interpreted as a post-stroke adaptation, physiotherapy may lead to poor recovery of motor impairment. This review article discusses the impact of upper limb physiotherapy after stroke on behavioral/brain adaptations. Our previous studies demonstrated that patients with severe post-stroke sensorimotor impairments in a chronic phase might have abnormal functional connectivity. To prevent such adaptation after stroke, upper limb physiotherapy is important. In rehabilitation practices, hyperadaptation has been often observed in not only behavioral but also brain changes. Although several studies are reporting clinical efficacy in patients with moderate to mild paralysis, there might be no effective treatment for patients with severe motor paralysis. To overcome these serious problems, we have developed a novel approach, kinesthetic illusion induced by visual stimulation (KINVIS) therapy. We showed that the effects of KINVIS therapy with therapeutic exercise on upper limb motor functions were mediated by spasticity, and functional connectivity in the brain was also changed with the improvement of motor function after KINVIS therapy. Brain changes underlying behavioral changes need to be more examined, and the adaptation of stroke patients needs to be clarified in detail.

**Keywords:** stroke, rehabilitation, kinesthetic illusion, virtual reality, resting-state brain functional connectivity

## 1. Introduction

Motor impairments of post-stroke patients can often result in negative adaptation. Many patients with stroke suffer from these impairments due to paralysis. It was reported that about 290,000 individuals per year experienced a stroke each year in Japan [1]. Annually, 13.7 million people worldwide suffer a stroke [2], and the social and economic impact of the disease is extremely high. Impairments after stroke can result in a variety of sensory, motor, cognitive, and psychological symptoms. The most common and widely recognized impairments after stroke are motor impairments, in most cases affecting the control of the movement of the face, arm, and leg on one side of the body known as hemiparesis. Upper limb motor paralysis after stroke seems to be particularly prone to residual impairment. In 80% of stroke cases, upper limb motor function is not restored to a practical level [3]. It has also been reported that 85% of patients with stroke had sensorimotor paralysis of the upper limb, and 55%–75% had residual upper limb dysfunction at 3–6 months after the onset of stroke, which was associated with decreased health-related quality of life [4]. For humans, the upper limbs, especially the hands and fingers, are the interface between the environment and themselves, and using the hands as intended in life is an essential requirement for improving the quality of life.

Changes in the affected upper limb are often more pronounced than those in the affected lower limb [5]. Specifically, many post-stroke patients cannot control grasping, finger-tip force, and timing during the manipulation of an object [6]. Patients with such disability can often experience failures (e.g., spilling food/drinks and/or dropping objects on the floor) in their daily actions, which require upper limb control, because of their upper limb paralysis. These failure experiences can result in suppression of the use of the affected limb. Moreover, by managing reasonably well using only the unaffected upper limb in their actions, the patients can achieve their desired behavior (i.e., compensatory behavioral pattern). Consequently, these successful experiences lead to strengthening this



## SHORT COMMUNICATION

# VISUALLY INDUCED KINAESTHETIC ILLUSION COMBINED WITH THERAPEUTIC EXERCISE FOR PATIENTS WITH CHRONIC STROKE: A PILOT STUDY

Ryosuke TAKAHASHI, MS<sup>1</sup>, Motoki KOIWA, MS<sup>1</sup>, Wataru IDE, MD<sup>2</sup>, Megumi OKAWADA, MS<sup>1,3</sup>, Kazuto AKABOSHI, MD, PhD<sup>3</sup> and Fuminari KANEKO, PhD<sup>3</sup>

From the <sup>1</sup>Department of Rehabilitation, Hokuto Hospital, Obihiro, Hokkaido, <sup>2</sup>Department of Neurosurgery, Hokuto Hospital, Obihiro, Hokkaido and <sup>3</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

**Objective:** Kinaesthetic perceptual illusion by visual stimulation (KINVIS) combined with neuromuscular electrical stimulation (NMES) and conventional therapeutic exercise (TherEX) has been shown previously to enhance motor function in stroke patients with chronic hemiparesis. The aim of this preliminary study is to assess the effects of a repetitive KINVIS intervention combined with TherEX, but without NMES, on upper limb motor function of patients with stroke-induced hemiparesis.

**Design:** A quasi-experimental study, with pretest-posttest for 1 group

**Patients:** Ten patients with stroke-induced, chronic, severe upper limb hemiparesis.

**Methods:** Patients were evaluated before and after a 10-day intervention, during which KINVIS and TherEX were applied for 20 and 60 min, respectively, for 5 days per week (Monday to Friday). Upper limb motor function was assessed using Fugl-Meyer Assessment (FMA) and Action Research Arm Test (ARAT), and resistance to passive movement in flexor muscles was assessed using the Modified Ashworth Scale (MAS). In addition, the amount of use and quality of movement of the affected upper limb in daily life were assessed using Motor Activity Log (MAL).

**Results:** Clinical assessments with FMA, ARAT, MAS, and MAL significantly improved after the intervention period.

**Conclusion:** A repetitive KINVIS intervention combined with TherEX may improve upper limb motor function in patients with chronic stroke and severe hemiparesis.

**Key words:** stroke; upper limb motor function; rehabilitation; augmented reality; illusion.

Accepted Feb 15, 2022; Epub ahead of print Feb 22, 2022

J Rehabil Med 2022; 54: jrm00276

DOI: 10.2340/jrm.v54.29

Correspondence address: Fuminari Kaneko, Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8582, Japan. E-mail: f-kaneko@keio.jp

Upper limb motor dysfunction is a common problem in stroke patients. It disrupts the patient's activities

### LAY ABSTRACT

Kinaesthetic perceptual illusion by visual stimulation (KINVIS) combined with neuromuscular electrical stimulation (NMES) and a conventional therapeutic exercise (TherEX) enhance muscle use in stroke patients with chronic paralysis. This preliminary study assessed the effects of a repetitive KINVIS intervention with added TherEX, but without NMES, on the use of the arm in Ten patients with stroke-induced paralysis. Ten patients with stroke-induced chronic paralysis were evaluated before and after a 10-day intervention, during which KINVIS and TherEX were applied for 20 and 60 min, respectively, for 5 days per week (Monday to Friday). The use of the paralysed arm improved significantly after the intervention. The repetitive KINVIS intervention combined with TherEX may improve the use of the arm in patients with chronic paralysis due to stroke.

of daily living (ADL) and reduces their quality of life (QOL). Kinaesthetic perceptual illusion by visual stimulation (KINVIS) can be applied as a neurorehabilitation approach, which restores the upper limb motor function in post-stroke survivors. KINVIS is defined as a psychological phenomenon in which a resting person feels as if their own body part is moving or feels the desire to move a body part while watching a video of the same body part being moved (1). This is an implicit motor imagery that is carried as a result of cognitive substitution of the paralysed real body with a functioning virtual body. We have demonstrated previously that primary motor cortex excitability is increased during KINVIS (1). Moreover, previous studies have shown that motor-related areas are activated when experiencing KINVIS more than during simple observation of a similar movement (2). The psychological experiences in KINVIS and neurological effects may contribute to recovering post-stroke upper limb motor dysfunction. KINVIS has been shown to immediately improve motor function in patients with chronic stroke exhibiting severe hemiparesis (3).

We reported recently that an intervention of combined KINVIS and neuromuscular electrical stimulation



## Effects of kinesthetic illusion induced by visual stimulation (KINVIS) therapy on patients with stroke in the subacute phase: a visual analysis based on paralysis severity

Megumi Okawada<sup>a,b</sup>, Toru Inada<sup>c</sup>, Naoki Matsuda<sup>d</sup>, Seiji Motozawa<sup>c</sup>, Masaki Yoneta<sup>a</sup>, Shun Sasaki<sup>a</sup>, Eriko Shibata<sup>e</sup> and Fuminari Kaneko<sup>a,f</sup>

<sup>a</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan; <sup>b</sup>Graduate Course of Health and Social Work, Kanagawa University of Human Services, 1-10-1 Heisei-cho, Yokosuka, Kanagawa, Japan; <sup>c</sup>Department of Rehabilitation, Asahikawa Rehabilitation Hospital, Shindo Medical Corporation, Midorigaoka Higashi 1-1-chome, Asahikawa-shi, Japan; <sup>d</sup>Department of Rehabilitation, Shinsapporo Neurosurgical Hospital, Medical Corporation, 1-2-1-10 Kaminoppo, Atsubetsu-ku, Sapporo-shi, Japan; <sup>e</sup>Department of Physical Therapy, Faculty of Human Science, Hokkaido Bunkyo University, 5-196-1, Koganechuo, Eniwa-shi, Japan; <sup>f</sup>Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences Graduate School of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University, 7-2-10 Higashi-Ogu, Arakawa-ku, Tokyo, Japan

### ABSTRACT

We explored the effect of kinesthetic illusion induced by visual stimulation (KINVIS) therapy on motor function in patients with stroke during the subacute phase based on paralysis severity. The study was performed using an ABAB design (A1, B1, A2, B2; for 10 days each). KINVIS therapy was additionally administered in periods B1 and B2. Ten patients with stroke were classified according to severity. The improvement in upper limb motor function was higher after B1 and B2 than after A1 and A2 in the moderate group. The effect of KINVIS therapy increases the degree of improvement in motor function, especially in the moderate group.

### ARTICLE HISTORY

Received 25 August 2021  
Accepted 4 April 2022

### KEYWORDS

Stroke; upper limb motor function; kinesthetic illusion induced by visual stimulation; ABAB study design; subacute phase

### Introduction

Clinically, kinesthetic illusion induced by visual stimulation (KINVIS) therapy with therapeutic exercise in paralyzed patients after stroke has shown beneficial effects on motor function and spasticity (Aoyama et al., 2020; Kaneko et al., 2016a, 2019; Maruyama et al., 2020). This vivid kinesthetic perception without accompanying voluntary movement can be induced while placing a virtual body aligned on an actual own body and observing its movement (Kaneko et al., 2007). This causes the subject to make a cognitive substitution that the movement of the virtual body is own. Several studies have indicated that KINVIS has physiological effects on the central nervous system, which may clinically affect motor function. KINVIS has shown that corticospinal excitability increases depending on the direction of joint movement of the observed virtual body (Aoyama et al., 2012; Kaneko et al., 2016b, 2007). Notably, accumulating evidence indicates that KINVIS shares a common neural substrate for brain activity as real movement (Kaneko et al., 2015). As observed in electroencephalography (EEG) studies, event-related desynchronization of the alpha band around the sensorimotor cortex, which occurred during exercise or motor imagery, also occurred during KINVIS (Shibata & Kaneko, 2019). A study using EEG in stroke patients with severe upper limb paralysis also reported that adaptation of KINVIS therapy caused an immediate improvement in the ability to induce motor imagery (Okawada et al., 2020). Because of the neurophysiological effects of KINVIS, recovery of motor function has been reported in chronic stroke patients with severe hemiparesis (Kaneko et al., 2016a, 2019).

Mirror therapy demonstrates moderate-quality clinical evidence on promoting better improvement of motor function than other interventions for post-stroke upper limb paralysis cases (Pollock et al., 2014; Thieme et al., 2018). In mirror therapy, a mirror is placed in the patient's midsagittal plane to reflect the unaffected side, thereby providing an illusion of normal movement in the affected limb (Thieme et al., 2018). The point where the kinesthetic perception is represented in the brain is common to that in KINVIS. Furthermore, action observation is a common element to both mirror therapy and KINVIS therapy as a stimulation. The human experiment indicated action observation involves brain areas of the inferior frontal gyrus including the ventral premotor cortex, and inferior parietal lobule with intraparietal sulcus (Cook et al., 2014; Rizzolatti & Craighero, 2004). As both therapies may share common neural bases involving the mirror neuron system. In contrast, the kinesthetic perception of the participant during the mirror therapy is largely triggered by the proprioceptive input from the contralateral extremity (Chancel et al., 2016). The major difference between mirror therapy and KINVIS therapy is whether to move the unparalyzed hand while inducing kinesthetic illusion. During KINVIS therapy, kinesthetic perception is purely induced by comparing between visual information and the proprioceptive state on the involved side. Resting the unparalyzed hand during KINVIS does not enhance abnormal interhemispheric inhibition associated with non-paretic hand movements (Murase et al., 2004; Nowak et al., 2009), which may be beneficial in the treatment of patients with



# Model-Based Analyses for the Causal Relationship Between Post-stroke Impairments and Functional Brain Connectivity Regarding the Effects of Kinesthetic Illusion Therapy Combined With Conventional Exercise

Yu Miyawaki<sup>1,2,3</sup>, Masaki Yoneta<sup>1</sup>, Megumi Okawada<sup>1</sup>, Michiyuki Kawakami<sup>1</sup>, Meigen Liu<sup>1</sup> and Fuminari Kaneko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan, <sup>2</sup>Neurorehabilitation Research Center, Kio University, Nara, Japan, <sup>3</sup>Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan

## OPEN ACCESS

### Edited by:

Jun Izawa,  
University of Tsukuba, Japan

### Reviewed by:

Soha Saleh,  
Kessler Foundation, United States  
Rieko Osu,  
Waseda University, Japan

### \*Correspondence:

Fuminari Kaneko  
f-kaneko@keio.jp

Received: 29 October 2021

Accepted: 15 December 2021

Published: 10 January 2022

### Citation:

Miyawaki Y, Yoneta M, Okawada M, Kawakami M, Liu M and Kaneko F (2022) Model-Based Analyses for the Causal Relationship Between Post-stroke Impairments and Functional Brain Connectivity Regarding the Effects of Kinesthetic Illusion Therapy Combined With Conventional Exercise. *Front. Syst. Neurosci.* 15:804263. doi: 10.3389/fnsys.2021.804263

**Aims:** Therapy with kinesthetic illusion of segmental body part induced by visual stimulation (KINVIS) may allow the treatment of severe upper limb motor deficits in post-stroke patients. Herein, we investigated: (1) whether the effects of KINVIS therapy with therapeutic exercise (TherEx) on motor functions were induced through improved spasticity, (2) the relationship between resting-state functional connectivity (rs-FC) and motor functions before therapy, and (3) the baseline characteristics of rs-FC in patients with the possibility of improving their motor functions.

**Methods:** Using data from a previous clinical trial, three path analyses in structural equation modeling were performed: (1) a mediation model in which the indirect effects of the KINVIS therapy with TherEx on motor functions through spasticity were drawn, (2) a multiple regression model with pre-test data in which spurious correlations between rs-FC and motor functions were controlled, and (3) a multiple regression model with motor function score improvements between pre- and post-test in which the pre-test rs-FC associated with motor function improvements was explored.

**Results:** The mediation model illustrated that although KINVIS therapy with TherEx did not directly improve motor function, it improved spasticity, which led to ameliorated motor functions. The multiple regression model with pre-test data suggested that rs-FC

**Abbreviations:** aIPS, inferior parietal sulcus in the affected hemisphere; ARAT, Action Research Arm Test; ARAT-F, finger-related ARAT score; ARAT-FD, degree of ARAT-F score improvements from the pre-test to the post-test; ARAT-S, shoulder-related ARAT score; ARAT-SD, degree of ARAT-S score improvements from the pre-test to the post-test; aSMG, supramarginal gyrus in the affected hemisphere; FMA, Fugl-Meyer Assessment; FMA-D, degree of FMA score improvements from the pre-test to the post-test; KINVIS, kinesthetic illusion of segmental body part induced by visual stimulation; MAS, modified Ashworth Scale; rs-FC, resting-state functional connectivity; TherEx, therapeutic exercise; uIPL, inferior parietal lobule in the unaffected hemisphere; uIPS, inferior parietal sulcus in the unaffected hemisphere; uPMd, dorsal premotor cortex in the unaffected hemisphere.



# Influence of Visual Stimulation-Induced Passive Reproduction of Motor Images in the Brain on Motor Paralysis After Stroke

Toshiyuki Aoyama<sup>1</sup>, Atsushi Kanazawa<sup>2</sup>, Yutaka Kohno<sup>3</sup>, Shinya Watanabe<sup>4</sup>, Kazuhide Tomita<sup>1</sup> and Fuminari Kaneko<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, Ibaraki, Japan, <sup>2</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital, Ibaraki, Japan, <sup>3</sup> Centre for Medical Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, Ibaraki, Japan, <sup>4</sup> Department of Occupational Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital, Ami, Japan, <sup>5</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Shinjuku-ku, Japan

## OPEN ACCESS

### Edited by:

Ryouhei Ishii,  
Osaka Prefecture University, Japan

### Reviewed by:

Ardalan Shariat,  
Tehran University of Medical  
Sciences, Iran  
Takayuki Tabira,  
Kagoshima University, Japan

### \*Correspondence:

Fuminari Kaneko  
f-kaneko@keio.jp

### Specialty section:

This article was submitted to  
Brain Imaging and Stimulation,  
a section of the journal  
Frontiers in Human Neuroscience

Received: 28 February 2021

Accepted: 28 May 2021

Published: 22 June 2021

### Citation:

Aoyama T, Kanazawa A, Kohno Y,  
Watanabe S, Tomita K and Kaneko F  
(2021) Influence of Visual  
Stimulation-Induced Passive  
Reproduction of Motor Images  
in the Brain on Motor Paralysis After  
Stroke.  
*Front. Hum. Neurosci.* 15:674139.  
doi: 10.3389/fnhum.2021.674139

Finger flexor spasticity, which is commonly observed among patients with stroke, disrupts finger extension movement, consequently influencing not only upper limb function in daily life but also the outcomes of upper limb therapeutic exercise. Kinesthetic illusion induced by visual stimulation (KINVIS) has been proposed as a potential treatment for spasticity in patients with stroke. However, it remains unclear whether KINVIS intervention alone could improve finger flexor spasticity and finger extension movements without other intervention modalities. Therefore, the current study investigated the effects of a single KINVIS session on finger flexor spasticity, including its underlying neurophysiological mechanisms, and finger extension movements. To this end, 14 patients who experienced their first episode of stroke participated in this study. A computer screen placed over the patient's forearm displayed a pre-recorded mirror image video of the patient's non-paretic hand performing flexion–extension movements during KINVIS. The position and size of the artificial hand were adjusted appropriately to create a perception that the artificial hand was the patient's own. Before and after the 20-min intervention, Modified Ashworth Scale (MAS) scores and active range of finger extension movements of the paretic hand were determined. Accordingly, MAS scores and active metacarpophalangeal joint extension range of motion improved significantly after the intervention. Moreover, additional experimentation was performed using F-waves on eight patients whose spasticity was reduced by KINVIS to determine whether the same intervention also decreased spinal excitability. Our results showed no change in F-wave amplitude and persistence after the intervention. These results demonstrate the potential clinical significance of KINVIS as a novel intervention for improving finger flexor spasticity and extension movements, one of the most significant impairments among patients with stroke. The decrease in finger flexor spasticity



# The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Dual-Task Interference Depend on the Dual-Task Content

Takehide Kimura<sup>1,2</sup>, Fuminari Kaneko<sup>3,4\*</sup> and Takashi Nagamine<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan, <sup>2</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Tsukuba International University, Tsuchiura, Japan, <sup>3</sup> First Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan, <sup>4</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan, <sup>5</sup> Department of Systems Neuroscience, School of Medicine, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan

## OPEN ACCESS

### Edited by:

Giovanni Di Pino,  
Campus Bio-Medico University, Italy

### Reviewed by:

Tilo Strobach,  
Medical School Hamburg, Germany  
M. A. Salehienjad,  
Ruhr University Bochum, Germany

### \*Correspondence:

Fuminari Kaneko  
f-kaneko@keio.jp

### Specialty section:

This article was submitted to  
Motor Neuroscience,  
a section of the journal  
Frontiers in Human Neuroscience

Received: 15 January 2021

Accepted: 04 March 2021

Published: 26 March 2021

### Citation:

Kimura T, Kaneko F and  
Nagamine T (2021) The Effects  
of Transcranial Direct Current  
Stimulation on Dual-Task Interference  
Depend on the Dual-Task Content.  
*Front. Hum. Neurosci.* 15:653713.  
doi: 10.3389/fnhum.2021.653713

Recently, some studies revealed that transcranial direct current stimulation (tDCS) reduces dual-task interference. Since there are countless combinations of dual-tasks, it remains unclear whether stable effects by tDCS can be observed on dual-task interference. An aim of the present study was to investigate whether the effects of tDCS on dual-task interference change depend on the dual-task content. We adopted two combinations of dual-tasks, i.e., a word task while performing a tandem task (word-tandem dual-task) and a classic Stroop task while performing a tandem task (Stroop-tandem dual-task). We expected that the Stroop task would recruit the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) and require involvement of executive function to greater extent than the word task. Subsequently, we hypothesized that anodal tDCS over the DLPFC would improve executive function and result in more effective reduction of dual-task interference in the Stroop-tandem dual-task than in the word-tandem dual-task. Anodal or cathodal tDCS was applied over the DLPFC or the supplementary motor area using a constant current of 2.0 mA for 20 min. According to our results, dual-task interference and the task performances of each task under the single-task condition were not changed after applying any settings of tDCS. However, anodal tDCS over the left DLPFC significantly improved the word task performance immediately after tDCS under the dual-task condition. Our findings suggested that the effect of anodal tDCS over the left DLPFC varies on the task performance under the dual-task condition was changed depending on the dual-task content.

**Keywords:** dual-task, dual-task interference, dual-task content, transcranial direct continuous stimulation, dorsolateral prefrontal cortex

## INTRODUCTION

When an individual performs two tasks simultaneously, the performance of either one or both tasks may often be impaired. This impairment of performance under a dual-task condition is defined as dual-task interference (Ebersbach et al., 1995). In our daily life, dual-task interference is known to cause various accidents, such as falls or traffic accidents (Lundin-Olsson et al., 1997; Chaparro et al., 2005). For example, when elderly individuals perform a cognitive task while walking, a reduction in gait speed and an increment in the cadence and stride duration has been

# Kinesthetic illusion induced by visual stimulation influences sensorimotor event-related desynchronization in stroke patients with severe upper-limb paralysis: A pilot study

Megumi Okawada<sup>a,b,c</sup>, Fuminari Kaneko<sup>a,b,\*</sup>, Keiichiro Shindo<sup>a,b</sup>, Masaki Yoneta<sup>a,b,c</sup>, Katsuya Sakai<sup>a,b</sup>, Kohei Okuyama<sup>a</sup>, Kazuto Akaboshi<sup>a,b,c</sup> and Meigen Liu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Department of Rehabilitation of Medicine, Keio University School of Medicine, Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan*

<sup>b</sup>*Department of Rehabilitation, Shonan Keiiku Hospital, Endo, Fujisawa, Kanagawa, Japan*

<sup>c</sup>*Hokuto Social Medical Corporation, Kisen, Inada-cho, Obihiro, Hokkaido, Japan*

## Abstract.

**Background:** Repetition of motor imagery improves the motor function of patients with stroke. However, patients who develop severe upper-limb paralysis after chronic stroke often have an impaired ability to induce motor imagery. We have developed a method to passively induce kinesthetic perception using visual stimulation (kinesthetic illusion induced by visual stimulation [KINVIS]).

**Objective:** This pilot study further investigated the effectiveness of KINVIS in improving the induction of kinesthetic motor imagery in patients with severe upper-limb paralysis after stroke.

**Methods:** Twenty participants (11 with right hemiplegia and 9 with left hemiplegia; mean time from onset [ $\pm$  standard deviation],  $67.0 \pm 57.2$  months) with severe upper-limb paralysis who could not extend their paretic fingers were included in this study. The ability to induce motor imagery was evaluated using the event-related desynchronization (ERD) recorded during motor imagery before and after the application of KINVIS for 20 min. The alpha- and beta-band ERDs around the premotor, primary sensorimotor, and posterior parietal cortices of the affected and unaffected hemispheres were evaluated during kinesthetic motor imagery of finger extension and before and after the intervention.

**Results:** Beta-band ERD recorded from the affected hemisphere around the sensorimotor area showed a significant increase after the intervention, while the other ERDs remained unchanged.

**Conclusions:** In patients with chronic stroke who were unable to extend their paretic fingers for a prolonged period of time, the application of KINVIS, which evokes kinesthetic perception, improved their ability to induce motor imagery. Our findings suggest that although KINVIS is a passive intervention, its short-term application can induce changes related to the motor output system.

Keywords: Motor imagery, event-related desynchronization, electroencephalography, stroke, kinesthetic illusion, virtual reality

\*Corresponding author: Fuminari Kaneko, Department of Rehabilitation of Medicine, Keio University School of Medicine, 35

Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8582, Japan. Tel.: +81 03 5363 3833; E-mail: f-kaneko@keio.jp.



## Research article

# Effect of primary motor cortex excitability changes after quadripulse transcranial magnetic stimulation on kinesthetic sensitivity: A preliminary study

Megumi Okawada<sup>a,b,c</sup>, Fuminari Kaneko<sup>a,b,\*</sup>, Eriko Shibata<sup>a,d</sup>

<sup>a</sup> First Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, S1 W17 Chuo, Sapporo, Hokkaido, Japan

<sup>b</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

<sup>c</sup> Department of Rehabilitation, Hokuto Hospital, Hokuto Social Medical Corporation, 7-5 Kisen, Inada-cho, Obihiro-shi, Hokkaido, Japan

<sup>d</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Human Science, Hokkaido Bunkyo University, 5-196-1, Koganechuo, Eniwa Shi, Hokkaido, Japan



## ARTICLE INFO

## Keywords:

Inesthetic perception  
Joint motor detection threshold  
Quadripulse  
Transcranial  
Magnetic stimulation  
Primary motor cortex

## ABSTRACT

Muscle spindles provide the greatest contribution to kinesthetic perception. Primary motor cortex (M1) excitability changes in parallel with the intensity of kinesthetic perception inputs from muscle spindles; M1 is therefore involved in kinesthetic perception. However, the causal relationship between changes in kinesthetic sensitivity and M1 excitability is unclear. The purpose of this study was to test whether artificially and sustainably modulated M1 excitability causes changes in kinesthetic sensitivity in healthy individuals. We evaluated motor evoked potentials (MEP) in Experiment 1 and joint motion detection thresholds (JMDT) in Experiment 2 before and after quadripulse transcranial magnetic stimulation (QPS). Nine healthy right-handed male volunteers were recruited. In each experiment, participants received QPS or sham stimulation (Sham) on separate days. MEP amplitude and JMDT were recorded before and at 0, 15, 30, 45, and 60 min after QPS and Sham. Our results showed that M1 excitability and kinesthetic sensitivity increased after QPS, whereas neither changed after Sham. In the five subjects who participated in both experiments, there was a significant moderate correlation between M1 excitability and kinesthetic sensitivity. Thus, the long-lasting change in kinesthetic sensitivity may be due to changes in M1 excitability. In addition, M1 may play a gain adjustment role in the neural pathways of muscle spindle input.

## 1. Introduction

Peripheral sensory input plays an important role in motor control [1–5] and motor learning [6]. Kinesthesia encompasses three main sensations: position and movement of joints; force, effort, and heaviness associated with muscle contractions; and the perceived timing of muscle contractions [7]. Subjects whose kinesthesia has been blocked by ischemia or anesthesia have shown decreased interjoint coordination or inability to accurately detect movement direction [1–5]. Therefore, kinesthesia is necessary for coordinated movement. Muscle spindles provide the greatest contribution to kinesthetic perception [8–13]. Primary motor cortex (M1) excitability has been shown to be associated

with the intensity of kinesthetic perception in studies using tendon vibration [18]. Furthermore, a previous study showed that subjects perceived limb movements when repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) was applied over M1, dorsal premotor cortex (PMd), or inferior parietal regions, despite the absence of sensory afferents and actual limb movement [19]. M1 is therefore involved in kinesthetic perception. However, the causal relationship between changes in kinesthetic sensitivity and M1 excitability is unclear.

M1 excitability can be modulated using rTMS, a noninvasive brain stimulus that induces neural plasticity [20]. Quadripulse TMS (QPS) modulates M1 excitability; this effect lasts longer and is more pronounced than that of other rTMS techniques [21]. The purpose of this

**Abbreviations:** QPS, quadripulse transcranial magnetic stimulation; M1, primary motor cortex; rTMS, repetitive transcranial magnetic stimulation; PMd, dorsal premotor cortex; MEP, motor evoked potential; JMDT, joint motion detection threshold; EMG, electromyography; APB, abductor pollicis brevis; CM, carpometacarpal; TA, tibialis anterior; MVC, maximum voluntary contraction; FDI, first dorsal interosseous; SEP, somatosensory evoked potentials.

\* Corresponding author at: Fuminari Kaneko Department of Rehabilitation of Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8582, Japan.

E-mail address: [f-kaneko@keio.jp](mailto:f-kaneko@keio.jp) (F. Kaneko).

<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.135483>

Received 2 June 2020; Received in revised form 23 October 2020; Accepted 26 October 2020

Available online 5 November 2020

0304-3940/© 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

# KINVIS 療法と従来型運動療法による複合療法に ADOC-H を加えたアプローチによって生活での手の使用が促進した 1 症例

A case study of hand usage facilitation in daily living: The effect of KINVIS therapy and conventional therapeutic exercise with ADOC-H

丸山 祥<sup>\*1</sup> 松本 仁美<sup>\*2</sup> 岡和田 愛実<sup>\*3</sup>  
Sho Maruyama Hitomi Mastumoto Megumi Okawada  
新藤 恵一郎<sup>\*4</sup> 赤星 和人<sup>\*4</sup> 金子 文成<sup>\*3</sup>  
Keiichiro Shindo Kazuto Akaboshi Fuminari Kaneko

Key words : KINVIS 療法, 上肢機能, ADOC-H

**Abstract** : 脳卒中後の重度上肢麻痺に対する視覚誘導性自己錯覚 (KINVIS) 療法と従来型運動療法による複合療法に, Aid for Decision-Making in Occupation Choice for Hand (ADOC-H) を加えたアプローチによって日常生活での手の使用に変化がみられたので報告する. 患者は50代男性で, 左脳梗塞発症後3.5年経過していた. 介入(10日間)は, ①視覚誘導性自己錯覚療法, ②従来型運動療法, ③ADOC-Hを用いたアプローチを毎日行った(③のみ7日間). 結果, 上肢運動機能の改善を認め, 日常生活での麻痺手の使用が増加した. 本結果は, 視覚誘導性自己錯覚療法と従来型運動療法によって運動機能改善が得られ, さらにADOC-Hを用いたアプローチによって日常生活での麻痺手の使用が促進することを示唆している.

## はじめに

近年, 脳卒中後の上肢リハでは, constraint-induced movement therapy (以下, CI療法)を代表に, 比較的軽度~中等度の運動麻痺に対する生活での手の使用改善について, その科学的根拠が蓄積されつつある<sup>1)</sup>. しかし, 慢性期の重度上肢麻痺患者の日常生活での手の使用にまで言及したアプローチはほとんどみられない.

新しい治療方法として視覚誘導性自己運動錯覚(kinesthetic illusion induced by visual stimulation: KINVIS)が利用されている<sup>2~5)</sup>. 自己運動錯覚とは, 関節運動が生じていないにもかかわらず, あたかも自身の四肢が動いているような感覚が引き起こされるものである<sup>2~5)</sup>. 脳卒中片麻痺患者の重度の上肢運動機能障害に対して, KINVISにより上肢Fugl-Meyer Assessment Scale(FMA-UE)得点の改善や表面筋電図上で筋活動の改善が認められたと報告されている<sup>3)</sup>. 現在, KINVISは, 神経筋電気刺激(neuromuscular electrical stimulation: NMES)との併用によるKINVIS療法としてパッケージ化されている.

Aid for Decision-Making in Occupation Choice for Hand (ADOC-H)は, CI療法の主要要素であるtransfer package (TP)を促進するために開発されたiPadアプリケーションである<sup>6)</sup>. TPは訓練により獲得した機能を実生活に転移させるための方略である<sup>7)</sup>. ADOC-Hの臨床使用は, 「文字や言語だけよりもイメージが湧きやすい」等の肯定的な感想の一方で, CI療法の適用になるような患者には「すでに麻痺手を使っている」といった感想が挙げられている<sup>8)</sup>. すなわち, ADOC-Hは, より生活での手の使用のイメージが困難な患者に対する適用が有用であると解釈できる.

上記より, KINVIS療法と従来型運動療法に加え, ADOC-HによるTP実施は, 互いの利点を活かす関係にあると考えられる. 今回, 脳卒中後の重度上肢麻痺患者1症例に対して, KINVIS療法と従来型運動療法に加え, ADOC-Hによるアプローチを実施することを経験し, 日常生活での手の使用に変化がみられたので報告する.

<sup>\*1</sup> 湘南慶育病院, 作業療法士 〒252-0816 神奈川県藤沢市遠藤 4360, <sup>\*2</sup> 同, 理学療法士, <sup>\*3</sup> 慶應義塾大学, 理学療法士, <sup>\*4</sup> 慶應義塾大学, 医師 (リハビリテーション科)

**CASE REPORT****Feasibility Case Study for Treating a Patient with Sensory Ataxia Following a Stroke with Kinesthetic Illusion Induced by Visual Stimulation**

Toshiyuki Aoyama, PhD, PT <sup>a</sup> Atsushi Kanazawa, MSc, PT <sup>b</sup> Yutaka Kohno, PhD, MD <sup>c</sup>  
Shinya Watanabe, OT <sup>d</sup> Kazuhide Tomita, PhD, PT <sup>a</sup> Takehide Kimura, PhD, PT <sup>e</sup>  
Yusuke Endo, MSc, PT <sup>f</sup> and Fuminari Kaneko, PhD, PT <sup>g</sup>

Background: Sensory ataxia is a disorder of movement coordination caused by sensory deficits, especially in kinesthetic perception. Visual stimulus-induced kinesthetic illusion (KINVIS) is a method used to provide vivid kinesthetic perception without peripheral sensory input by using a video showing pre-recorded limb movements while the actual limb remains stationary. We examined the effects of KINVIS intervention in a patient with sensory ataxia. Case: The patient was a 59-year-old man with a severe proprioceptive deficit caused by left thalamic hemorrhage. During KINVIS intervention, a computer screen displayed a pre-recorded mirror image video of the patient's unaffected hand performing flexion-extension movements as if it were attached to the patient's affected forearm. Kinematics during the flexion-extension movements of the paretic hand were recorded before and after 20-min interventions. Transcranial magnetic stimulation was applied to the affected and non-affected hemispheres. The amplitude of the motor-evoked potential (MEP) at rest was recorded for the muscles of both hands. After the intervention, the total trajectory length and the rectangular area bounding the trajectory of the index fingertip decreased. The MEP amplitude of the paretic hand increased, whereas the MEP amplitude of the non-paretic hand was unchanged. Discussion: The changes in kinematics after the intervention suggested that KINVIS therapy may be a useful new intervention for sensory ataxia, a condition for which few effective treatments are currently available. Studies in larger numbers of patients are needed to clarify the mechanisms underlying this therapeutic effect.

**Key words:** body ownership; kinesthetic illusion; sensory ataxia, stroke; transcranial magnetic stimulation

**INTRODUCTION**

Sensory ataxia is a disorder of movement coordination caused by sensory deficits, especially deficits in kinesthetic perception. Previous studies have shown that sensory ataxia occurs in patients with peripheral neuropathy<sup>1,2)</sup> and fol-

lowing thalamic stroke.<sup>3)</sup> Several studies have shown that rehabilitation can improve some sensory functions, such as tactile sensation and positional sense,<sup>4,5)</sup> but a systematic review by Doyle et al.<sup>6)</sup> concluded that there is insufficient evidence to support its effectiveness in improving sensory impairment. Furthermore, there have been very few reports

Received: July 5, 2020, Accepted: October 13, 2020, Published online: October 28, 2020

<sup>a</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, Ami, Japan

<sup>b</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital, Ami, Japan

<sup>c</sup> Centre for Medical Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, Ami, Japan

<sup>d</sup> Department of Occupational Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital, Ami, Japan

<sup>e</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Tsukuba International University, Tsuchiura, Japan

<sup>f</sup> Department of Physical Therapy, Health Science University, Fujikawaguchiko, Japan

<sup>g</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan

Correspondence: Fuminari Kaneko, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0016, Japan, Email: f-kaneko@keio.jp

Copyright © 2020 The Japanese Association of Rehabilitation Medicine



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivatives (CC BY-NC-ND) 4.0 License. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

# Human Movement Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/humov](http://www.elsevier.com/locate/humov)

## Full Length Article

# Motor imagery combined with action observation training optimized for individual motor skills further improves motor skills close to a plateau

Toshiyuki Aoyama<sup>a,\*</sup>, Fuminari Kaneko<sup>b</sup>, Yutaka Kohno<sup>c</sup><sup>a</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan<sup>b</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan<sup>c</sup> Centre for Medical Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan

## ARTICLE INFO

### Keywords:

Motor learning  
Plateau  
Training  
Rehabilitation

## ABSTRACT

The acquisition of high-level motor skills beyond a “plateau” is important in sports training and rehabilitation. We aimed to investigate whether motor skills close to a plateau state can be improved further by performing motor imagery (MI) training while observing movements with difficulty levels optimized for individual motor skills. The subjects were divided randomly into four groups ( $n = 10$  per group): the control group and three groups of MI combined with action observation (MI + AO) training with varying difficulty levels. The task was to rotate the two cork balls 20 times counterclockwise using the left hand. The subjects performed 30 and 10 successful trials of this task before and after MI + AO training, respectively. In the three training groups, MI training was performed while observing videos showing ball rotation movements adjusted to the same level, a moderately higher level, or a remarkably higher level of difficulty than that achieved by the individual subjects. The improvement rate of the ball rotation time after MI + AO training was significantly higher in the moderate-difficulty than in the control group and remarkably higher level of difficulty group. The other two MI + AO training groups did not differ significantly compared with the control group. The vividness of the MI during MI + AO training was significantly greater in the moderate-difficulty vs. the remarkably-high-difficulty group. These results suggest that performing MI training while observing movement at a level that is moderately higher than an individual's ability can promote improvements in motor skills (close to a plateau state) in rehabilitation and sports training. The vividness of MI may be an important index for determining the difficulty level of the movement to be observed during MI + AO training.

## 1. Introduction

Humans have the ability to enhance their motor skills by repeatedly practicing certain motor actions. As motor learning progresses, the degree of improvement in motor skills gradually decreases and eventually reaches a nearly steady state, which is called a “plateau” (Adams, 1987). Recently, Gray (2017) defined the limits caused by “the mechanism for the function itself” as asymptotes and the spurious limits, “which could be surpassed,” as plateaus and distinguished between them. The acquisition of a higher level of motor skills beyond the plateau state is a crucial issue in sports training (Smith, 2003) and rehabilitation (Page, Gater, & Bach, 2004).

\* Correspondence author.

E-mail addresses: [aoyamato@ipu.ac.jp](mailto:aoyamato@ipu.ac.jp) (T. Aoyama), [f-kaneko@keio.jp](mailto:f-kaneko@keio.jp) (F. Kaneko), [kohno@ipu.ac.jp](mailto:kohno@ipu.ac.jp) (Y. Kohno).

<https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102683>

Received 17 December 2019; Received in revised form 2 September 2020; Accepted 8 September 2020

Available online 16 September 2020

0167-9457/ © 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.



Contents lists available at ScienceDirect

## Brain Stimulation

journal homepage: <http://www.journals.elsevier.com/brain-stimulation>

## Region-dependent bidirectional plasticity in M1 following quadripulse transcranial magnetic stimulation in the inferior parietal cortex

Fuminari Kaneko <sup>a, b, \*</sup>, Eriko Shibata <sup>a</sup>, Megumi Okawada <sup>a, b</sup>, Takashi Nagamine <sup>c</sup><sup>a</sup> First Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, S1 W17, Chuo, Sapporo, Hokkaido, Japan<sup>b</sup> Department of Rehabilitation of Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shjinjuku-ku, Tokyo, 160-8582, Japan<sup>c</sup> Department of Systems Neuroscience, School of Medicine, Sapporo Medical University, S1 W17, Chuo, Sapporo, Hokkaido, Japan

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 21 May 2019

Received in revised form

28 August 2019

Accepted 19 October 2019

Available online 25 October 2019

## Keywords:

Angular gyrus

Inferior parietal lobule

Motor cortex plasticity

Quadripulse transcranial magnetic stimulation

Supramarginal gyrus

## ABSTRACT

**Background:** The ability to manipulate the excitability of the network between the inferior parietal lobule (IPL) and primary motor cortex (M1) may have clinical value.

**Objective:** To investigate the possibility of inducing long-lasting changes in M1 excitability by applying quadripulse transcranial magnetic stimulation (QPS) to the IPL, and to ascertain stimulus condition- and site-dependent differences in the effects.

**Methods:** QPS was applied to M1, the primary somatosensory cortex (S1), the supramarginal gyrus (SMG) and angular gyrus (AG) IPL areas, with the inter-stimulus interval (ISI) in the train of pulses set to either 5 ms (QPS-5) or 50 ms (QPS-50). QPS was repeated at 0.2 Hz for 30 min, or not presented (sham condition). Excitability changes in the target site were examined by means of single-pulse transcranial magnetic stimulation (TMS).

**Results:** QPS-5 and QPS-50 at M1 increased and decreased M1 excitability, respectively. QPS at S1 induced no obvious change in M1 excitability. However, QPS at the SMG induced mainly suppressive effects in M1 for at least 30 min, regardless of the ISI length. Both QPS ISIs at the AG yielded significantly different MEP compared to those at the SMG. Thus, the direction of the plastic effect of QPS differed depending on the site, even under the same stimulation conditions.

**Conclusions:** QPS at the IPL produced long-lasting changes in M1 excitability, which differed depending on the precise stimulation site within the IPL. These results raise the possibility of noninvasive induction of functional plasticity in M1 via input from the IPL.

© 2019 Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introduction

The parietal lobe is divided into an anterior and a posterior cortex (PPC). The latter is positioned rostral to the primary and secondary visual cortex and caudal to the somatosensory cortex [1]. In humans, PPC defects induce misreaching (optic ataxia) and misgrasping not attributable to a basic sensory or motor deficit

[2,3]. Even without direct connections to the spinal cord, the role of the PPC in movement control is suggested by interconnections with premotor areas and coactivation with frontal areas during movement execution and planning [4]. The PPC is particularly well-developed in primates, where it includes a superior and an inferior parietal lobule (IPL); the latter is particularly involved in visual spatial processing [4,5].

The IPL is the ventral part of the parietal lobe, located below the intraparietal sulcus. The supramarginal gyrus (SMG), situated in the IPL, anterior to the angular gyrus (AG), arching upward at the end of the lateral fissure, participates in reaching toward both visible and nonvisible targets [4]. The AG arches over the posterior end of the superior temporal sulcus in the posterior IPL, and is consistently activated in various motor tasks [6]. Furthermore, the IPL is involved in action observation, especially during object-related action [7]. The SMG is activated during mouth and hand movements, and the AG during foot as well as mouth and hand actions

**Abbreviations:** aMT, active motor threshold; AG, angular gyrus; ECR, extensor carpi radialis; FCR, flexor carpi radialis; FDI, first dorsal interosseous; IPL, inferior parietal cortex; M1, primary motor cortex; MEP, motor evoked potential; MVC, maximum voluntary contraction; QPS, quadripulse transcranial magnetic stimulation; PPC, posterior parietal cortex; S1, primary sensory cortex; SMG, supramarginal gyrus.

\* Corresponding author. Department of Rehabilitation of Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shjinjuku-ku, Tokyo, 160-8582, Japan.  
E-mail address: [f-kaneko@keio.jp](mailto:f-kaneko@keio.jp) (F. Kaneko).

<https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.10.016>

1935-861X/© 2019 Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

【原著】



# 中強度・長時間の動的筋収縮による 局所疲労が視覚刺激に対する単純反応 時間に与える影響

山田 洋 (東海大学体育学部) 木塚朝博 (筑波大学体育系) 金子文成 (慶応大学医学部)  
金子公宏 (明治大学理工学部) 増田 正 (福島大学共生システム理工学研究科)  
塩崎知美 (筑波スポーツ科学研究所) 横井孝志 (日本女子大学家政学部)

Effects of local muscle fatigue during moderate prolonged dynamic contraction on  
reaction time obtained using visual stimulation

Hiroshi YAMADA, Tomohiro KIZUKA, Fuminari KANEKO, Kimihiro KANEKO, Tadashi MASUDA,  
Tomomi SHIOZAKI and Takashi YOKOI



## Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of local muscle fatigue during moderate prolonged dynamic contraction on the delay in reaction time obtained using visual stimulation. Twelve healthy men exerted 40% MVC maximum voluntary contraction of isotonic knee extension in 60 degree per second using isokinetic machine (Cybex). The fatigue tasks were set up as 1 min × 20 times. Reaction tests to visual stimulation were conducted after each fatigue task. The random stimulations were delivered five times per 1 min. Subjective degree of fatigue sensation graded five steps was examined during tasks. The surface EMG signals were recorded from muscles knee extensors. Reaction time (RT), Pre-motor time (PMT) and Motor time (MT) were calculated based on the relationship between EMG signals and stimulation pulse. The subjective fatigue sensation was increased, and MVC was decreased after knee extension for 20 sets, indicating the fatigue had developed in the muscles. RT was increased significantly, but the standard deviation in RT was not change as fatigue progressed. Significant increases were seen in PMT, but not seen in MT. These results suggest that the delayed RT due to muscle fatigue after dynamic contraction was caused from central factors in neuromuscular system.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 31, 29-37, 2019)

## I. 緒言

スポーツ場面における筋疲労は、様々なパフォーマンスの低下を引き起こす<sup>1)</sup>。この疲労によるパフォーマンスの低下のなかでも、脚の筋疲労が

視覚刺激に対する単純反応時間に及ぼす影響を検討することは、体育・スポーツ分野における重要な研究課題のひとつである。これらは特に、球技系スポーツにおいて極めて重要な意義をもつ。

これらの課題を実験的に検証しようとする場合、反応時間の遅延を誘発する疲労課題を十分に吟味



# A Case Series Clinical Trial of a Novel Approach Using Augmented Reality That Inspires Self-body Cognition in Patients With Stroke: Effects on Motor Function and Resting-State Brain Functional Connectivity

Fuminari Kaneko<sup>1,2\*</sup>, Keiichiro Shindo<sup>1,2</sup>, Masaki Yoneta<sup>1,2,3</sup>, Megumi Okawada<sup>1,2,3</sup>, Kazuto Akaboshi<sup>1,2,3</sup> and Meigen Liu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan, <sup>2</sup>Department of Rehabilitation, Shonan Keiiku Hospital, Fujisawa, Japan, <sup>3</sup>Hokuto Social Medical Corporation, Obihiro, Japan

## OPEN ACCESS

### Edited by:

James W. Grau,  
Texas A&M University, United States

### Reviewed by:

Soha Saleh,  
Kessler Foundation, United States  
Birgitta Langhammer,  
OsloMet—Oslo Metropolitan  
University, Norway

### \*Correspondence:

Fuminari Kaneko  
f-kaneko@keio.jp

**Received:** 31 July 2019

**Accepted:** 27 November 2019

**Published:** 17 December 2019

### Citation:

Kaneko F, Shindo K, Yoneta M, Okawada M, Akaboshi K and Liu M (2019) A Case Series Clinical Trial of a Novel Approach Using Augmented Reality That Inspires Self-body Cognition in Patients With Stroke: Effects on Motor Function and Resting-State Brain Functional Connectivity. *Front. Syst. Neurosci.* 13:76. doi: 10.3389/fnsys.2019.00076

Barring a few studies, there are not enough established treatments to improve upper limb motor function in patients with severe impairments due to chronic stroke. This study aimed to clarify the effect of the kinesthetic perceptual illusion induced by visual stimulation (KINVIS) on upper limb motor function and the relationship between motor function and resting-state brain networks. Eleven patients with severe paralysis of upper limb motor function in the chronic phase (seven men and four women; age:  $54.7 \pm 10.8$  years;  $44.0 \pm 29.0$  months post-stroke) participated in the study. Patients underwent an intervention consisting of therapy using KINVIS and conventional therapeutic exercise (TherEX) for 10 days. Our originally developed KiNvis™ system was applied to induce KINVIS while watching the movement of the artificial hand. Clinical outcomes were examined to evaluate motor functions and resting-state brain functional connectivity (rsFC) by analyzing blood-oxygen-level-dependent (BOLD) signals measured using functional magnetic resonance imaging (fMRI). The outcomes of motor function (Fugle-Meyer Assessment, FMA) and spasticity (Modified Ashworth Scale, MAS) significantly improved after the intervention. The improvement in MAS scores for the fingers and the wrist flexors reached a minimum of clinically important differences. Before the intervention, strong and significant negative correlations between the motor functions

**Abbreviations:** KINVIS, Kinesthetic perceptual illusion by visual stimulation; TherEX, Therapeutic exercise; rsFC, Resting-state brain functional connectivity; fMRI, Functional magnetic resonance imaging; CIMT, Constraint-induced movement therapy; M1, Primary motor; S1, Somatosensory; BOLD, Blood-oxygen-level-dependent; ROIs, Regions of interest; TFO, Time from onset; U/L, Upper Limb; SIAS, Stroke impairment assessment set; NMES, Neuromuscular electrical stimulation; EDC, Extensor digitorum communis; FMA, Fugl-Meyer assessment; MAS, Modified ashworth scale; ARAT, Action research arm test; BBT, Box and Block Test; MAL, Motor activity log; AOU, Amount of use; QOM, Quality of movement; MNI, Montreal Neurological Institute; SMG, Supramarginal gyrus; FDR, False discovery-rate; IPL, Inferior parietal lobule; IPS, Intra parietal sulcus; LOC, Lateral occipital cortex; PMd, Dorsal premotor cortex; SMA, Supplementary motor area; SFG, Superior frontal gyrus; SPL, Superior parietal lobule.



# Neural mechanism of selective finger movement independent of synergistic movement

Toshiyuki Aoyama<sup>1</sup> · Fuminari Kaneko<sup>2</sup> · Yukari Ohashi<sup>1</sup> · Yutaka Kohno<sup>3</sup>

Received: 9 September 2019 / Accepted: 13 November 2019 / Published online: 18 November 2019  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019

## Abstract

Muscle synergy is important for simplifying functional movement, which constitutes spatiotemporal patterns of activity across muscles. To execute selective finger movements that are independent of synergistic movement patterns, we hypothesized that inhibitory neural activity is necessary to suppress enslaved finger movement caused by synergist muscles. To test this hypothesis, we focused on a pair of synergist muscles used in the hand opening movement, namely the index finger abductor and little finger abductor (abductor digiti minimi; ADM), and examined whether inhibitory neural activity in ADM occurs during selective index finger abduction/adduction movements and/or its imagery using transcranial magnetic stimulation and F-wave analysis. During the index finger adduction movement, background EMG activity, F-wave persistence, and motor evoked potential (MEP) amplitude in ADM were elevated. However, during the index finger abduction movement, ADM MEP amplitude remained unchanged despite increased background EMG activity and F-wave persistence. These results suggest that increased spinal excitability in ADM is counterbalanced by cortical-mediated inhibition only during selective index finger abduction movement. This assumption was further supported by the results of motor imagery experiments. Although F-wave persistence in ADM increased only during motor imagery of index finger abduction, ADM MEP amplitude during motor imagery of index finger abduction was significantly lower than that during adduction. Overall, our findings indicate that cortical-mediated inhibition contributes to the execution of selective finger movements that are independent of synergistic hand movement patterns.

**Keywords** Transcranial magnetic stimulation · Hand synergy · F-wave · Selective finger movement · Inhibitory neural activity

## Introduction

Selective finger movement plays an important role in producing coordinated and dexterous finger movements. Previous studies have demonstrated that inhibitory neural activity,

such as surround inhibition (Sohn and Hallett 2004; Beck et al. 2008) and short-interval intracortical inhibition (SICI) (Stinear and Byblow 2003, 2004), contribute to the control of selective finger movement. However, humans cannot perform their intended movements completely independently, and movements of other body parts not directly related to that movement may occur. This unintended finger movement is called “enslaving.” A number of previous studies have investigated the anatomical, biomechanical, and neurophysiological mechanisms of this phenomenon (Schieber 1991; Zatsiorsky et al. 1998; Slobounov et al. 2002; Reilly and Schieber 2003). In particular, the strength of enslaving depends on which finger is instructed to move as well as its movement direction (Hager-Ross and Schieber 2000; Reilly and Hammond 2000; Park and Xu 2017). For example, considering the combination of index and little finger movement, index finger abduction is often accompanied by little finger abduction during hand opening movement in

Communicated by Winston D Byblow.

✉ Toshiyuki Aoyama  
aoyamato@ipu.ac.jp

- <sup>1</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan
- <sup>2</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan
- <sup>3</sup> Center for Medical Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan



# Event-related desynchronization possibly discriminates the kinesthetic illusion induced by visual stimulation from movement observation

Eriko Shibata<sup>1</sup> · Fuminari Kaneko<sup>2</sup>

Received: 6 May 2019 / Accepted: 9 October 2019 / Published online: 19 October 2019  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019

## Abstract

Visual stimulation of a repetitive self-movement image can evoke kinesthetic illusion when a virtual body part is set over the actual body part (kinesthetic illusion induced by visual stimulation, KINVIS). KINVIS induces activity in cerebral network, similar to that produced during motor execution, and triggers motor imagery passively. This study sought to identify a biomarker of KINVIS using event-related desynchronization (ERD) to improve the application of KINVIS to brain–machine interface (BMI) therapy of patients with stroke with hemiparesis. We included healthy adults in whom KINVIS could be induced. Scalp electroencephalograms were recorded during the KINVIS condition, where KINVIS was induced using a self-movement image. The findings were compared to signals recorded during an observation (OB) condition where only the self-movement image was viewed. For the signal intensity of the  $\alpha$ - and low  $\beta$ -frequency bands, we calculated ERD during a movie period. The ERD of the  $\alpha$ -frequency band in P3 and CP3 during KINVIS was significantly higher than that during OB. Furthermore, using the ERD of the  $\alpha$ -frequency band recorded from FC3 and CP3, we could discriminate illusory perception with a 70% success rate. In this study, KINVIS could be detected using the ERD of the  $\alpha$ -frequency band recorded from the posterior portion of the sensorimotor cortex. Furthermore, adding ERD recorded from FC3 to that recorded from CP3 may enable the objective discrimination of KINVIS from OB. When applying KINVIS in BMI therapy, the combination ERD of FC3 and CP3 will become a parameter for objectively judging the degree of kinesthetic perception achieved.

**Keywords** Kinesthetic illusion · Event-related desynchronization · Electroencephalogram · Brain–machine interface · Embodiment · Body ownership

## Introduction

Kinesthetic illusion, the sensation of movement in one's own body, is induced by various sensory inputs, even in the absence of voluntary or passive movement. Kaneko et al. (2007) reported that visual stimulation using a repetitive self-movement image evokes a kinesthetic illusion when a virtual body part is set over its actual counterpart; this phenomenon is referred to as kinesthetic illusion induced by

visual stimulation (KINVIS). This system can be viewed as a virtual reality (augmented reality) intervention using embodied-visual feedback, which can induce embodied cognitive change in self-body and physiological effects on motor-associated areas in the brain (Kaneko et al. 2007; Aoyama et al. 2012; Kaneko et al. 2015, 2016a, b). In other words, kinesthetic illusion may represent a cognitive stimulation to the embodied-brain system for body ownership, sense of agency, and kinesthetic perception. We have used electrophysiological methods and functional magnetic resonance imaging (fMRI) to reveal that KINVIS increases activation of cerebral networks, including higher-order motor and sensory processing areas of the superior and inferior parietal lobes, and excitation of the corticospinal tract (Kaneko et al. 2007; Aoyama et al. 2012; Kaneko et al. 2015); such enhancement of cerebral network activity resembles that which corresponds to motor execution and occurs when the self-movement image is viewed. These reports suggest that

✉ Fuminari Kaneko  
f-kaneko@keio.jp

<sup>1</sup> First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17-South 1, Chuo-ku, Sapporo, Japan

<sup>2</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

OPEN

# Dissociation between cortical and spinal excitability of the antagonist muscle during combined motor imagery and action observation

Toshiyuki Aoyama<sup>1</sup>, Fuminari Kaneko<sup>2</sup>, Yukari Ohashi<sup>1</sup> & Yutaka Kohno<sup>3</sup>

Inhibitory neural control of antagonist muscle is one of the fundamental neural mechanism of coordinated human limb movement. Previous studies have revealed that motor execution (ME) and motor imagery (MI) share many common neural substrates; however, whether inhibitory neural activity occurs during MI remains unknown. In addition, recent studies have demonstrated that a combined MI and action observation (MI + AO) produces strong neurophysiological changes compared with MI or AO alone. Therefore, we investigated inhibitory changes in cortical and spinal excitability of the antagonist muscle during MI + AO and ME. Single-pulse transcranial magnetic stimulation (TMS) experiments revealed that corticospinal excitability of the antagonist muscle was decreased during MI + AO. Conversely, F-wave experiments showed that F-wave persistence of the antagonist muscle increased. Paired-pulse TMS experiment also demonstrated that short-interval intracortical inhibition (SICI) did not contribute to this inhibition. Therefore, cortical mediated inhibition, except for SICI, may be related to this inhibition. Conversely, such clear inhibition of the antagonist muscle was not observed during ME, presumably owing to the effects of muscle contraction to decelerate the movements and/or sensory input accompanying the joint movements. These findings provide important insights into the neurophysiological differences between MI + AO and ME.

Motor imagery (MI) is defined as the mental simulation of a given movement that is internally reproduced within brain without any muscular output<sup>1,2</sup>. Previous studies using functional imaging have demonstrated that motor execution (ME) and MI share many common neural substrates, including the primary motor cortex, supplementary motor area, premotor cortex, parietal cortex, and cerebellum<sup>3</sup>. TMS studies have also revealed that the corticospinal excitability of the prime mover of the imagined movement increases during MI<sup>4-9</sup>. However, little is known regarding the effect of MI on the non-prime mover, such as the antagonist muscle.

Usually, MEP amplitude obtained from the agonist muscle increases before the movement onset<sup>10</sup>. Since this corticospinal excitability change is not accompanied by an increase in agonist EMG activity, as well as during MI, the neurophysiological changes during MI and before movement onset are similar. On the other hand, a previous study revealed that the corticospinal excitability of the antagonist muscle is suppressed before movement onset<sup>11</sup>. Therefore, considering such neurophysiological similarities occurring during MI and before movement onset in the agonist muscle, we hypothesized that corticospinal excitability of the antagonist muscles would be suppressed during MI. However, no study has reported a significant reduction in MEP amplitudes of the antagonist muscle during MI<sup>6,8,12,13</sup>.

Recent studies have examined the effect of MI during action observation (AO). At the behavior level, MI during AO (MI + AO) task has more potential to improve motor function, such as muscle strength or upper limb function, in stroke patients compared with MI or AO alone<sup>14,15</sup>. Other studies using fMRI have revealed higher brain activity in MI + AO than AO or MI alone<sup>16-20</sup>. In addition, TMS studies have demonstrated that MEP amplitude increases in MI + AO in agonist muscles of the imagined movement compared with during AO or MI

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, 300-0394, Japan. <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, 160-8582, Japan. <sup>3</sup>Center for Medical Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, 300-0394, Japan. Correspondence and requests for materials should be addressed to T.A. (email: [aoyamato@ipu.ac.jp](mailto:aoyamato@ipu.ac.jp))

Received: 1 March 2019

Accepted: 21 August 2019

Published online: 17 September 2019



## Efficacy and safety of multiple sessions of quadripulse stimulation in patients with stroke: A report of two cases

Dear Editor

Quadripulse stimulation (QPS) is a new patterned repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) protocol. In particular, QPS induces long-term effects [1], with low inter-individual variabilities, in healthy individuals [2,3]. Recently, various rTMS protocols have been used to improve motor function in patients with stroke [4]. However, there are no reports on the application of QPS in stroke patients. This study aimed to investigate how multiple sessions of QPS to the lesioned primary motor cortex (M1) combined with other therapies change motor function and electroencephalograms (EEGs) in stroke patients.

Two patients with chronic cerebral infarction were included in the trial after obtaining written informed consent (Table 1). The paretic finger functions as scored with the Stroke Impairment Assessment Set (SIAS) were 1C (partial individual movements, shown in the thumb and the index finger) in Case 1 and 1A (mass flexion) in Case 2. Both patients could not pick up the marble used in the Action Research Arm Test. The study was performed in accordance with the Declaration of Helsinki, was approved by the local Ethics Committee, and was registered to the UMIN Clinical Trial Registry (UMIN000032286).

The TMS was performed using four monophasic stimulators (Magstim 2002, The Magstim Company, Ltd., Whitland, Carmarthenshire, UK) integrated through a connecting module, and attached to a 70 mm figure-of-eight coil while subjects were seated comfortably. Motor evoked potentials (MEPs) were recorded from bilateral first dorsal interosseous muscle via surface electromyogram. Neuronavigation (Brainsight, Rogue Research, Inc., Montreal, Quebec, Canada) ensured a consistent coil position during all sessions. No MEPs were elicited from the affected hemisphere in both cases, and the active motor threshold (AMT) of the unaffected M1 was determined. The QPS protocol of four successive monophasic pulses delivered with an interstimulus interval of 5 milliseconds (QPS-5) was applied to a symmetric position (mirror region) of the unaffected M1 hotspot. One therapeutic session consisted of 360 trains of four pulses (total, 1440 pulses) at the intensity of 90% AMT and an intertrain interval of 5 seconds. To maximize clinical benefits, we used QPS for 30 minutes and kinesthetic illusion induced by visual stimulation [5] for 20 minutes (40 minutes including preparation), 5 times a week for 2 weeks. Task-oriented training for 60 minutes and Hybrid Assistive Neuromuscular Dynamic Stimulation therapy [6] was conducted once every day.

Resting-state EEGs were recorded before and after the intervention with subjects sitting relaxed in an armchair, while keeping their eyes open without blinking. The EEG data were acquired using

Geodesic EEG system 400 MR (Electrical Geodesics Inc., Eugene, OR) and Net Station v5.2 recording software, and sampling at 1000 Hz. We used 128-channel high-impedance HydroCel Geodesic Sensor Nets, with an average of all channels as the reference. Nets were positioned on each participant by aligning the vertex (Cz) electrode with the vertex of the head. Electrode impedances were <50 k $\Omega$ , as recommended by the manufacturer. Analysis electrodes, C3 and C4, were selected according to the international 10–20 system. For offline analysis, we used a bandpass of 0.5–120 Hz, and a notch of 50 Hz, and removed noisy epochs manually. Data were segmented into epochs of 2 consecutive seconds (20 points). Power was calculated using MATLAB (MATLAB R2018a; The MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Fast Fourier transformation (averaged window, 2 sec) was used to calculate power ( $\mu$ V<sup>2</sup>) for the following EEG bands and sub-bands: delta (1–3 Hz), theta (4–7 Hz), alpha (8–13 Hz), and beta (14–30 Hz), low alpha (8–10 Hz), high alpha (11–13 Hz), low beta (14–20 Hz), and high beta (21–30 Hz). Two-way repeated measures ANOVA and Bonferroni post hoc comparison was performed using IBM SPSS Statistics version 25 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA) and the level of significance was set at 0.05 (0.003, after Bonferroni adjustments).

After a 20 min rest period following the first QPS session, Case 1 could move the middle finger individually and Case 2 could perform a mass finger extension (SIAS 1B) (Table 1). Restoration of paretic finger functions was accompanied by reduction of spasticity at the finger flexors (the examiner's subjective impression, not as measured with Modified Ashworth Scale), which made it possible for both patients to pick up and release the marble with their thumb and index finger. After the two-week intervention, the finger functions were SIAS 2 (able to move each finger but unable to extend and flex the fingers completely) in Case 1 and 1C (partial individual movements, shown in the thumb and middle finger) in Case 2. Both participants showed improved motor function with decreased spasticity of the paretic upper extremity. No definite MEPs were recorded in the affected hemisphere. There was no obvious adverse effect during the trial. Resting-state EEG analyses showed that time, bands, and the interaction effect between time and bands were significant, with significantly reduced powers in the beta band in both hemispheres (lesion side dominant) in Case 2, whereas no significant changes were seen in Case 1.

Ten sessions of QPS-5 to the lesioned M1 combined with other treatments achieved clinical improvements without any adverse effects. To our knowledge, this is the first report on multiple sessions of QPS applied to the stroke patients. In healthy volunteers, the after-effects of QPS-5 are longer (>75 minutes) [1] than those in the other rTMS protocols. Although it is unclear how QPS works



# Neuromuscular electrical stimulation increases serum brain-derived neurotrophic factor in humans

Takehide Kimura<sup>1,2,3</sup> · Fuminari Kaneko<sup>4,5,6</sup> · Erika Iwamoto<sup>7</sup> · Shigeyuki Saitoh<sup>8,9</sup> · Takashi Yamada<sup>4</sup>

Received: 11 July 2018 / Accepted: 4 October 2018  
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2018

## Abstract

Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) plays several important roles in nervous system function including neuronal growth and plasticity. The purpose of the present study was to clarify whether neuromuscular electrical stimulation (NMES) and voluntary exercise to the same integrated force as by the NMES-induced exercise would enhance serum BDNF. Eleven healthy male subjects completed three interventions (NMES, voluntary exercise, and resting interventions) for 20 min on different days. In the NMES intervention, NMES was applied to the quadriceps femoris muscles. The stimulus intensity of NMES was progressively increased to the highest tolerated intensity during the experiment. In the voluntary exercise intervention, subjects performed an isometric knee-extension task; in this intervention, the target torque was calculated in accordance with the integrated force of knee extension obtained during the NMES intervention. In the resting intervention, subjects relaxed in a sitting posture. We measured serum BDNF, blood lactate, heart rate, oxygen uptake, respiratory ratio, and blood pressure. Serum BDNF was increased in the NMES ( $p=0.003$ ) and voluntary exercise interventions ( $p=0.004$ ) after each intervention. At the post-timepoint, serum BDNF in the NMES intervention was highest among all interventions ( $p=0.038$ ) and significantly higher than in the voluntary exercise ( $p=0.036$ ) and resting ( $p=0.037$ ) interventions. Our results showed that NMES was more effective for enhancing serum BDNF than voluntary exercise at least when employing the same method and integrated force.

**Keywords** Brain-derived neurotrophic factor · Voluntary exercise · Blood lactate · Neuromuscular electrical stimulation

✉ Fuminari Kaneko  
f-kaneko@keio.jp

<sup>1</sup> Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8556, Japan

<sup>2</sup> Shinoro Orthopedic Hospital, Shinoro 4-5-3-9, Kita-ku, Sapporo 002-8024, Hokkaido, Japan

<sup>3</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Tsukuba International University, 6-8-33 Manabe, Tsuchiura 300-0051, Ibaraki, Japan

<sup>4</sup> First Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8556, Japan

<sup>5</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160-8582, Japan

<sup>6</sup> Shonan Keiiku Hospital, 4360 Endo, Fujisawa, Kanagawa 252-0816, Japan

<sup>7</sup> Second Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8556, Japan

<sup>8</sup> Department of Nursing, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8556, Japan

<sup>9</sup> Department of Cardiovascular, Renal and Metabolic Medicine, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8556, Japan

## 肩関節外旋運動反復トレーニングは外転運動中の 棘下筋支配皮質脊髄路興奮性を増大させるか？

高橋良輔<sup>1</sup>、金子文成<sup>2,3</sup>、柴田恵理子<sup>4</sup>、松田直樹<sup>5</sup>

<sup>1</sup>社会医療法人北斗十勝リハビリテーションセンター医療技術部、

<sup>2</sup>慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室、

<sup>3</sup>湘南慶育病院リハビリテーション部、

<sup>4</sup>札幌医科大学保健医療学部理学療法第一講座、

<sup>5</sup>医療法人社団進和会旭川リハビリテーション病院リハビリテーション部

**要旨** 本研究の目的は、肩関節外旋運動反復トレーニングが肩関節外転運動中の棘下筋を支配する皮質脊髄路興奮性を増大させるのか明らかにすることである。外旋反復運動をトレーニング課題として、その前後に外転運動中の皮質脊髄路興奮性を経頭蓋磁気刺激による運動誘発電位で評価した。外旋反復運動は15分毎に100回を3セット実施した。運動誘発電位は外旋運動反復トレーニング前に2回、各トレーニング直後、そして3回目のトレーニング直後から30分後と60分後に測定した。棘下筋の運動誘発電位振幅は3回目のトレーニング直後から60分後まで有意に増大した。本研究結果から、肩関節外旋運動反復トレーニングによって、トレーニングと異なる運動である肩関節外転運動中に棘下筋を支配する皮質脊髄路興奮性が持続的に増大することが示された。

**キーワード**：肩関節、棘下筋、回旋筋腱板、反復運動、経頭蓋磁気刺激

### 1. はじめに

肩関節は4つの関節（肩甲上腕関節、肩鎖関節、胸鎖関節、肩甲胸郭関節）で構成され、人体の中でも自由度の高い関節である<sup>1)</sup>。さらに、肩甲上腕関節は広範囲の関節可動域を有するにも関わらず、大きな上腕骨頭と小さな肩甲骨関節窩という関節面の大きさが不適合な形状である<sup>1)</sup>。そのため、肩甲上腕関節の安定性は、肩関節の関節包、靭帯、そして筋が上腕骨頭を肩甲骨関節窩に引き寄せることで

り立っている<sup>1,2)</sup>。特に動的な安定性には、棘下筋（Infraspinatus muscle：ISP）、棘上筋、肩甲下筋、小円筋で構成される回旋筋腱板が関与する<sup>3,4)</sup>。肩関節外転運動時における回旋筋腱板の収縮は、上腕骨頭を回旋、下制させる。回旋筋腱板の収縮により生成されたベクトルは、三角筋や僧帽筋などの表層筋の収縮により生成されたベクトルと合成（フォースカップリング）されることで、上腕骨頭を肩甲骨関節窩に圧迫させる機能を有する<sup>1,2)</sup>。そのため、回旋筋腱板は肩関節の動的な安定性に重要な筋である<sup>5)</sup>。

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

## Human Movement Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/humov](http://www.elsevier.com/locate/humov)

Full Length Article

# Motor priming by movement observation with contralateral concurrent action execution

Yoshihiro Itaguchi<sup>a,b</sup>, Fuminari Kaneko<sup>c,d,e,\*</sup><sup>a</sup> Department of System Design Engineering, Keio University, Yokohama, Japan<sup>b</sup> Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan<sup>c</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan<sup>d</sup> Department of Rehabilitation, Shonan Keiiku Hospital, Kanagawa, Japan<sup>e</sup> First Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan

## ARTICLE INFO

## Keywords:

Action observation  
Action execution  
Congruency effect  
Kinesthetic sensation

## ABSTRACT

In the present study, the influence of simultaneous action execution on motor priming was investigated during movement observation using a simple-reaction task. Although previous studies have reported various effects of priming on motor performance, it has not yet been clarified how an additional source conveying kinetic information would modulate the priming effects. In the experiment, participants were asked to respond to an auditory cue by flexing their wrist while observing a line movement, which was slowly swinging like an inverted pendulum. In addition to the observation of line movement, the participants executed wrist flexion-extension actions synchronizing with line movement. The hand involved in pre-response wrist action varied with the priming condition: no movement execution (observation only), contralateral hand, and ipsilateral hand. In the *contralateral* condition, the stimulus-response congruency of movement direction was conflicted depending on the frame of reference (visual vs. anatomical coordinates). We found that all three priming conditions produced the compatibility effect, and the effect size did not differ between them. Importantly, in the *contralateral* condition, participants responded faster when the direction of line movement was congruent with the response movement in the anatomical coordinates. That is, the reaction time was shorter when pre-response action execution was in the flexion phase, even though the direction of observed movement and the response action were incongruent from the participants' view. These results suggest that kinetic information has a great contribution to the motor priming system, which can reverse the vision-based compatibility effect.

## 1. Introduction

In recent years, it has been well established that movement observation significantly affects both action execution and action-related activation in the brain. This is referred to as motor priming or automatic imitation (Bertenthal, Longo, & Kosobud, 2006; Boyer, Longo, & Bertenthal, 2012; Brass, Bekkering, & Prinz, 2001; Brass, Bekkering, Wohlschläger, & Prinz, 2000; Edwards, Humphreys, & Castiello, 2003; Heyes, 2011; Liepelt & Brass, 2010). Motor priming is modulated by stimulus-response compatibility (S-R compatibility), which represents the degree of sharing movement components, including location, direction, and intention (e.g.,

\* Corresponding author at: Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine, Keiiku Hospital Branch 4360 Endo, Fujisawa, Kanagawa 252-0816, Japan.

E-mail address: [f-kaneko@keio.jp](mailto:f-kaneko@keio.jp) (F. Kaneko).

<https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.11.007>

Received 11 April 2017; Received in revised form 13 November 2017; Accepted 14 November 2017

Available online 29 November 2017

0167-9457/ © 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

# Muscular responses appear to be associated with existence of kinesthetic perception during combination of tendon co-vibration and motor imagery

Eriko Shibata<sup>1,2</sup> · Fuminari Kaneko<sup>1,2</sup> · Masaki Katayose<sup>3</sup>

Received: 30 December 2016 / Accepted: 3 August 2017  
© Springer-Verlag GmbH Germany 2017

**Abstract** The afferent inputs from peripheral sensory receptors and efferent signals from the central nervous system that underlie intentional movement can contribute to kinesthetic perception. Previous studies have revealed that tendon vibration to wrist muscles elicits an excitatory response—known as the antagonist vibratory response—in muscles antagonistic to the vibrated muscles. Therefore, the present study aimed to further investigate the effect of tendon vibration combined with motor imagery on kinesthetic perception and muscular activation. Two vibrators were applied to the tendons of the left flexor carpi radialis and extensor carpi radialis. When the vibration frequency was the same between flexors and extensors, no participant perceived movement and no muscle activity was induced. When participants imagined flexing their wrists during tendon vibration, the velocity of perceptual flexion movement increased. Furthermore, muscle activity of the flexor increased only during motor imagery. These results demonstrate that kinesthetic perception can be induced during the combination of motor imagery and co-vibration, even with no experience of kinesthetic perception from an afferent input with co-vibration at the same frequency. Although motor responses were observed during combined co-vibration and motor

imagery, no such motor responses were recorded during either co-vibration alone or motor imagery alone, suggesting that muscular responses during the combined condition are associated with kinesthetic perception. Thus, the present findings indicate that kinesthetic perception is influenced by the interaction between afferent input from muscle spindles and the efferent signals that underlie intentional movement. We propose that the physiological behavior resulting from kinesthetic perception affects the process of modifying agonist muscle activity, which will be investigated in a future study.

**Keywords** Kinesthetic perception · Motor imagery · Tendon vibration · Proprioceptive input · Antagonist vibratory response

## Introduction

Kinesthesia is the sense that enables awareness of bodily position, weight, or movement. Kinesthetic perception is generated by afferent inputs from muscle spindles and skin, or by the efferent signals from the central nervous system that underlie intentional movement. For example, tendon vibration applied to a biceps brachii in an appropriate pattern can evoke a kinesthetic illusion of elbow extension without any overt movement (Goodwin et al. 1972). Tendon vibration mainly activates Ia-type afferents from the muscle spindle primary endings (Burke et al. 1976; Roll and Vedel 1982; Roll et al. 1989), and consequently, humans can experience vivid kinesthetic illusions of limb movement in the direction corresponding to the stretch of the vibrated muscle. Thus, it is hypothesized that proprioceptive inputs from the muscles contribute to generating kinesthetic perception.

✉ Fuminari Kaneko  
f-kaneko@sapmed.ac.jp

<sup>1</sup> Development Research Group for Advanced Neuroscience-based Rehabilitation, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo, Japan

<sup>2</sup> Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo, Japan

<sup>3</sup> Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo, Japan

## RESEARCH ARTICLE

# Working Memory Training Improves Dual-Task Performance on Motor Tasks

Takehide Kimura<sup>1,2</sup>, Fuminari Kaneko<sup>3,4</sup>, Keita Nagahata<sup>5</sup>, Eriko Shibata<sup>3,4</sup>, Nobuhiro Aoki<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Health Science, Sapporo Medical University, Sapporo, Hokkaido, Japan. <sup>2</sup>Department of Rehabilitation, Shinoro Orthopedic Hospital, Sapporo, Hokkaido, Japan. <sup>3</sup>Laboratory of Sensory Motor Science and Sports NeuroScience, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, Sapporo, Hokkaido, Japan. <sup>4</sup>Development Research Group for Advanced Neuroscience-based Rehabilitation, Sapporo Medical University, Sapporo, Hokkaido, Japan. <sup>5</sup>Japan Community Health Care Organization Noboribetsu Hospital, Noboribetsu, Hokkaido, Japan. <sup>6</sup>Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, Sapporo, Hokkaido, Japan.

**ABSTRACT.** The authors investigated whether working memory training improves motor-motor dual-task performance consisted of upper and lower limb tasks. The upper limb task was a simple reaction task and the lower limb task was an isometric knee extension task. 45 participants (age = 21.8 ± 1.6 years) were classified into a working memory training group (WM-TRG), dual-task training group, or control group. The training duration was 2 weeks (15 min, 4 times/week). Our results indicated that working memory capacity increased significantly only in the WM-TRG. Dual-task performance improved in the WM-TRG and dual-task training group. Our study provides the novel insight that working memory training improves dual-task performance without specific training on the target motor task.

**Keywords:** dual task, motor performance, working memory, working memory training

Dual task refers to the performance of two or more tasks simultaneously (Pashler, 1994). Dual-task situations are common in daily life (e.g., walking while using a mobile phone). However, performing a dual task is often associated with a reduction of performance in each task (Redelmeier & Tibshirani, 1997; Strayer & Johnston, 2001; Yogeve-Seligmann et al., 2010). This negative aspect is termed named dual-task interference (Marois & Ivanoff, 2005; Watanabe & Funahashi, 2014). Because dual-task interference might result in falls or accidents (Lundin-Olsson, Nyberg, & Gustafson, 1997), it is important to develop a method of preventing dual-task interference. One such method is dual-task training (Schwenk, Zieschang, Oster, & Hauer, 2010; Silsupadol et al., 2009; Silsupadol, Siu, Shumway-Cook, & Woollacott, 2006). However, there is a problem with dual-task training for people at risk of falling because the dual-task training in many previous studies involved performing a cognitive task while performing an activity such as walking. In the present study, to solve this problem, we focused on working memory (WM) training.

WM training is a cognitive training to increase the WM capacity. WM is a cognitive system that retains information during short periods of time, and it consists of an active storage component and a processing component that enables manipulation of information necessary to perform a given task (Baddeley, 1992). However, WM has a limited capacity to store and process information (Cowan, 2001; Miller, 1956). This limitation of capacity is known as the WM capacity. Several studies have reported that WM training increases

WM capacity (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Klingberg, 2010; Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004; Westerberg & Klingberg, 2007) and activates structures in the frontal-parietal brain region (e.g., the dorsolateral prefrontal cortex [DLPFC] and intraparietal cortex), anterior cingulate cortex, and striatum (Moore, Cohen, & Ranganath, 2006; Nee et al., 2013; Rottschy et al., 2012). Therefore, WM training is not only mere cognitive training but also a training that changes the activation of various brain regions.

Behaviorally, WM training has a broad impact on the performance of various tasks. For example, WM training improves other cognitive measures, such as reading comprehension (Chein & Morrison, 2010), fluid intelligence (Jaeggi et al., 2008; Olesen et al., 2004), and attentional control (Chein & Morrison, 2010; Salminen, Strobach, & Schubert, 2012; Westerberg & Klingberg, 2007). Although these previous studies reported the potential of WM training, few studies have investigated the effect of WM training on dual-task performance (Salminen et al., 2012). In addition, previous studies that investigated the effect of WM training on dual-task performance adopt dual tasks where both tasks were cognitive to assess the effect of WM training. However, in daily life, dual-task situations consist of dual motor tasks. When we drive a car, upper limb controls a steering wheel and lower limb hits the gas or brake pedal. In other examples, we often encounter a situation of stepping over an obstacle while holding a glass of water. Therefore, we focused on the motor-motor dual-task consisted of upper and lower limb tasks especially. The purpose of the present study was to investigate the effect of WM training on motor-motor dual-task.

In the present study, we used visuospatial WM training. Previous studies showed that this visuospatial WM training was associated with an increase in the hemodynamic response in the prefrontal and parietal cortex including the DLPFC (Olesen et al., 2004; Westerberg & Klingberg, 2007). Because the DLPFC was activated during

---

*Correspondence address: Fuminari Kaneko, Laboratory of Sensory Motor Science and Sports NeuroScience, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuoh-ku, Sapporo, Hokkaido, Japan. e-mail: f-kaneko@sapmed.ac.jp*

*Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at [www.tandfonline.com/vjmb](http://www.tandfonline.com/vjmb).*

## ***Analysis of reaching movements in stroke patients using average variability of electromyogram value***

Tatsunori Sawada<sup>1</sup>, Fuminari Kaneko<sup>2</sup>, Toshiyuki Aoyama<sup>3</sup>, Masahiro Ogawa<sup>4</sup>, Tsuneji Murakami<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Occupational Therapy, School of Health Sciences, Tokyo University of Technology, Tokyo, Japan

<sup>2</sup> Second division of physical therapy, School of health science, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan

<sup>3</sup> Division of physical therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Science, Ibaraki, Japan

<sup>4</sup> Graduate school of medicine, Kyoto University, Kyoto, Japan

<sup>5</sup> Kure Kyosai Hospital, Hiroshima, Japan

**Abstract:** The hypothesis in this study was tested by conducting EMG experiments comparing the variability in muscle activity during repetitive reaching movements in hemiplegic patients and healthy subjects. The present study investigated the characteristics of reaching movements in hemiplegic patients using the variability in average electromyogram (EMG) value. We studied 21 right-handed stroke patients with left-sided hemiparesis and 14 right-handed healthy control subjects. Post-stroke patients (hemiplegic group) and normal subjects (control group) repeated a reaching movement 10 times. The variability in average EMG value of each muscle was defined as the average standard deviation of the average rectified values (nARV-SDave). During the reaching movements, the nARV-SDave values was significantly higher in the hemiparesis group than in the control group for the biceps and triceps brachii ( $P < 0.05$ ). In the hemiparesis group, significant negative correlations between the variability in nARV-SDave values and the Fugl-Meyer assessment scores were observed in all muscle types ( $r_s = -0.46$  to  $-0.76$ ;  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ). This study identified a direct relationship between the variability in muscle activity and the severity of motor function deficit in post-stroke patients. The selective impact on the biceps and triceps were related to the nature of the reaching task.

**Keywords:** stroke, upper extremity, reaching movement, electromyography, hemiplegia

(*Asian J Occup Ther* 13: 13–21, 2017)

### **Introduction**

A stroke is a medical emergency because a severe reduction or interruption of blood flow to the brain causes the cell death within minutes. The most common complication following a stroke is a transient or permanent impairment of upper extremity functions, limiting the patients' autonomy [1]. As many daily activities involve reaching for an object, it is important for physical and occupational therapists to understand the kinematic and kinetic characteristics of reaching movements in post-stroke patients.

Several kinematic studies revealed that reaching movements in stroke patients are characterized by enhanced variability, prolonged movements, and a lower range of motion in the shoulder and elbow joints, compared with healthy subjects or the non-affected side [2–7]. The higher movement variability suggests that stroke patients are not able to stably perform reaching movements when asked to repeat them several times. In other words, stroke patients assume kinematically unstable reaching patterns, and the trajectory varies during repetitive reaching movements. Electromyography (EMG) studies identified muscle activation abnormalities in stroke patients, such as prolonged agonist bursts associated with reduced speed during elbow flexion and extension [8], simultaneous co-contraction of agonist and antagonist muscles [9–13], and abnormal muscle tone [14]. Muscle synergy and spasticity in stroke patients generate specific movement patterns [15, 16]. Most studies characterized the patients using

Received: 17 October 2016, Accepted: 21 February 2017

Corresponding to: Tatsunori Sawada, Department of Occupational Therapy, School of Health Sciences, Tokyo University of Technology, 5-23-22, Nishikamata, Ohta-ku, Tokyo, 144-8535, Japan  
e-mail address: sawadatn@stf.teu.ac.jp

©2017 Japanese Association of Occupational Therapists

(7)

## 運動感覚の生成機構に関する心理物理的指標を用いた検討

柴田恵理子<sup>1,2</sup>、金子文成<sup>1,2</sup>、高橋良輔<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>札幌医科大学保健医療学部未来医療ニューロリハビリテーション研究開発部門、

<sup>2</sup>札幌医科大学保健医療学部理学療法学第一講座、

<sup>3</sup>旭川リハビリテーション病院

**要旨** 体性感覚のうち、運動に関する感覚を運動感覚という。運動感覚が生成され、知覚する過程においては、さまざまな感覚受容器から生じる感覚入力統合、およびそれらの感覚種を介して生じる運動感覚と運動を実行しようとする際に発せられる運動指令が統合される。これまで我々は、筋紡錘からの求心性入力統合と随意的な運動のイメージが運動感覚に及ぼす影響、および、筋紡錘からの求心性入力と視覚入力の組み合わせが運動感覚に及ぼす影響について、心理物理的指標を用いた研究を継続してきた。本研究により、拮抗関係にある筋からの感覚入力統合され運動を知覚する場合においても、感覚入力と運動イメージによる脳活動が統合されることが、および自己運動錯覚を誘導できるような異種感覚入力統合され、運動感覚が生成されることが明らかとなった。

**キーワード**：運動感覚、筋紡錘、運動イメージ、視覚

### 1. はじめに

体性感覚のうち、運動に関する感覚を“運動感覚”という。運動感覚の生成には、筋や腱、関節、そして皮膚などに存在するさまざまな感覚受容器からの入力信号、および運動指令に伴う中枢神経系の活動が寄与している<sup>1,2</sup>。例えば、肘関節を屈曲すると上腕二頭筋が短縮し、上腕三頭筋が伸張される。それに伴い、肘関節周囲筋の筋紡錘 Ia 群線維や II 群線維に求心性の発射活動が生じる。その一方、表在では上腕三頭筋側の皮膚が伸張され、上腕二頭筋側の皮膚が圧迫されることによって、皮膚に存在す

る感覚受容器から発射活動が生じる。さらに中枢では、肘関節屈曲の運動指令に伴い、遠心性コピーあるいは随伴放電とよばれる活動が生じる<sup>3</sup>。このように、さまざまな感覚受容器から生じる感覚入力や、運動を実行しようとする際に発せられる運動指令が同時に生じているような状況下で、運動感覚は生成されている。

運動感覚の生成機構に関する探索は、深部感覚や視覚といった様々な感覚種の入力によって、受動的に運動をしている感覚を知覚させる方法を利用して行われてきた。これを自己運動錯覚という<sup>4-6</sup>。自己運動錯覚が誘導されると、現実には運動をしていないにも関わらず、あたかも自己の四肢が動いて

(9)

## 四肢の視覚誘導性自己運動錯覚に係る生理学的機序と リハビリテーションへの応用

金子文成<sup>1,2</sup>, 稲田亨<sup>3</sup>, 松田直樹<sup>3</sup>, 小山聡<sup>3</sup>, 柴田恵理子<sup>2</sup>

<sup>1</sup>札幌医科大学保健医療学部理学療法第一講座,

<sup>2</sup>札幌医科大学保健医療学部未来医療ニューロリハビリテーション研究開発部門,

<sup>3</sup>旭川リハビリテーション病院

**要旨** 運動の実行を伴わない安静状況下であっても、感覚入力によって、あたかも自分が運動しているかのように知覚している心理的状态を自己運動錯覚という。我々は、視覚刺激を用いて四肢運動の自己運動錯覚を誘導し、それによって生じる神経活動に関する研究を継続してきた。本総合論文では、まず、機能的磁気共鳴画像法を用いた脳神経回路活動に関する研究を紹介する。この研究では、単に動画を観察しているときと比較して、錯覚中には、一次運動野以外において実際の運動中に賦活する多くの領域を含む脳神経回路が賦活している結果が得られた。さらに、この運動錯覚を2例の脳卒中片麻痺患者に適用し、運動機能に対する影響を調べた。その結果、動作中に記録した筋電図から、即時の影響として相反的な筋活動が検出された。現時点では、臨床的な影響は明らかでないものの、今後、系統的な臨床試験を実施する意義があることを示す結果であると考えられる。

**キーワード**: 視覚, 運動, 錯覚, 脳卒中, リハビリテーション

### 1. 背景

#### 1.1 自己運動錯覚について

通常、運動の感覚は、運動の実行によって知覚する。しかし、いくつかの方法によって、実際には運動が生じていないにも関わらず、運動の感覚を知覚することが可能である。そのように、自身の身体が随意的にも他動的にも動いていないにも関わらず、動いているような感覚を知覚する錯覚を自己運動錯覚と呼ぶ<sup>1)</sup>。運動の実行で運動感覚を知覚するメカニズムを検討する際には、運動感覚が運動を実行す

る運動指令に由来するものか、感覚器に由来する求心性入力によるものかを区別する必要がある場合が多い。そのような運動感覚研究において、実際の運動を伴わずに運動の感覚だけが得られる自己運動錯覚は有用なツールである。自己運動錯覚はある特定の感覚モダリティを単独、あるいは複合的に刺激することによって引き起こすことが可能である。たとえば、皮膚感覚<sup>2)</sup>、深部感覚<sup>3)</sup>、そして視覚<sup>4-7)</sup>である。ここでは、はじめに聴振動刺激による深部感覚由来の自己運動錯覚について概観した後、我々の最近の研究成果である、視覚刺激によって誘起される自己運動錯覚について主に述べていく。



Contents lists available at ScienceDirect

## Neuroscience Letters

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/neulet](http://www.elsevier.com/locate/neulet)

Research article

## Surround inhibition in motor execution and motor imagery

Toshiyuki Aoyama<sup>a,\*</sup>, Fuminari Kaneko<sup>b</sup>, Yukari Ohashi<sup>a</sup>, Hiroshi Nagata<sup>c</sup><sup>a</sup> Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan<sup>b</sup> Laboratory of SensoryMotor Science and Sports Neuroscience, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan<sup>c</sup> Center for Medical Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences, 4669-2 Ami, Ami-Machi, Inashiki-gun, Ibaraki, Japan

## HIGHLIGHTS

- We examined the extent of surround inhibition (SI) during motor execution (ME) and motor imagery (MI).
- There was a moderate correlation between the extent of SI during ME and MI.
- The extent of SI during MI was depended on the vividness of MI.
- A common neural substrate related to SI would be recruited during ME and MI.

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 25 April 2016

Accepted 10 July 2016

Available online 11 July 2016

## Keywords:

Surround inhibition

Motor execution

Motor imagery

Transcranial magnetic stimulation

## ABSTRACT

Surround inhibition (SI) is a neural mechanism to focus neuronal activity and facilitate selective motor execution (ME). The aim of the present study was to investigate whether SI is also generated during motor imagery (MI). Furthermore, we investigated whether the extent of SI during MI depends on the strength of SI during ME and/or vividness of MI. The extent of SI was examined during MI and ME of index finger flexion. Transcranial magnetic stimulation was applied at rest, during initiation of the movement (phasic phase) and during tonic muscle contraction of the index finger flexors. Motor evoked potentials (MEPs) were recorded from a surround muscle, abductor digiti minimi (ADM) and a synergistic muscle, the first dorsal interosseous muscle. The amplitude of ADM MEP was reduced during the phasic phase, which indicates that SI occurred during ME. In seven of 14 subjects, SI was also observed during MI, although this effect was not significant. There was a moderate correlation between the extent of SI during ME and MI. Furthermore, good imagers who experienced vivid MI during the MI task showed stronger SI than poor imagers. These results indicate that common neural substrates involved in SI during ME are at least in part recruited during MI. In clinical situations, the therapeutic use of MI to generate vivid MI may be one of effective tool to develop the strength of SI, which facilitate selective execution of desired movements

© 2016 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Motor imagery (MI) is the mental simulation of a given movement without any overt movement [1–4]. Functional imaging studies [5–7] have revealed that motor execution (ME) and MI share many common neural substrates, such as the primary motor cortex, supplementary motor area, premotor cortex, parietal cor-

tex and cerebellum [3]. Some electrophysiological studies using transcranial magnetic stimulation (TMS) have shown increased corticospinal excitability of the prime mover of the imagined movement during MI [8–13]. However, there have been conflicting reports regarding the corticospinal excitability of surround muscles not involved in the imagined movement. Some researchers have reported that corticospinal excitability of surround muscles increases during MI [8,13], whereas others have reported no change in surround muscles [9–12,14].

There are two reasons related to methodology that could explain these inconsistent results. First, most MI studies did not define the stimulation site as a ‘motor hot spot’ of surround muscles [9–12,14,15]. This may have resulted in an underestimation of the change in corticospinal excitability of surround muscles [16].

*Abbreviation:* ADM, abductor digiti minimi; ANOVA, analysis of variance; EMG, electromyography; FDI, first dorsal interosseous; GABA,  $\gamma$ -amino butyric acid; MVC, maximum voluntary contraction; MEP, smotor evoked potentials; ME, motor execution; MI, motor imagery; SI, surround inhibition.

\* Corresponding author.

E-mail address: [aoyamato@ipu.ac.jp](mailto:aoyamato@ipu.ac.jp) (T. Aoyama).<http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2016.07.012>

0304-3940/© 2016 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.



# Acute Effect of Visually Induced Kinesthetic Illusion in Patients with Stroke: A Preliminary Report

Fuminari Kaneko<sup>1,2\*</sup>, Toru Inada<sup>3</sup>, Naoki Matsuda<sup>3</sup>, Eriko Shibata<sup>1,2</sup> and Satoshi Koyama<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>2</sup>Development Research Group for Advanced Neuroscience-based Rehabilitation, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>3</sup>Asahikawa Rehabilitation Hospital, Midorigaokahigasi 1-1-1, Asahikawa City, Japan

## Abstract

A kinesthetic illusion induces a feeling as if an individual's own body is moving during sensory input, even though the body is actually in a resting state. In a previous study, we reported that a visually induced kinesthetic illusion (KiNVIS) increases corticospinal tract excitability that is associated with activity of the motor-association regions. The present study explored the acute effect of KiNVIS on motor function in five patients who had experienced stroke, as a preliminary study. Five Japanese patients with stroke, who had been otherwise healthy, participated in the present trial. During KiNVIS, a display was set over the forearm so that the position of the display would give the illusion that the patient's forearm was actually the same as that depicted in a movie. The movie showed a hand grasping and opening on the uninvolved side, and was repeatedly played for 15 min. Motor function was evaluated with the upper extremity section of the Fugl-Meyer Assessment (FMA-UE) as a primary outcome. Furthermore, we measured a performance of an appropriate motor task for each patient to detect change in motor function as a secondary outcome. In each patient, a positive effect on motor function was detected immediately after KiNVIS, and the appearance of reciprocal muscular control was observed in surface electromyography. There was no difference in the FMA-UE score between before and after the intervention; however, the score was slightly increased in two patients. Furthermore, upon comparison of the individual measurement results, each examination indicated positive changes in motor function. KiNVIS may have an acute positive effect in patients with stroke. The study provides, for the first time, evidence for the therapeutic potential of KiNVIS in stroke rehabilitation.

**Keywords:** Kinesthetic sense; Rehabilitation; Stroke

## Introduction

We previously reported that a kinesthetic illusion, induced by a visual stimulus using a movie video (KiNVIS), produces vivid kinesthetic feeling in a healthy subject and in a patient with stroke, even though the body is actually in a resting condition [1-3]. The subjective kinesthesia felt in the first person during KiNVIS is generally vivid and, in our experience, stronger than that experienced during mirror therapy. We reported that, during KiNVIS, corticospinal tract excitability increases, as determined by transcranial magnetic stimulation (TMS) [1,2]. Furthermore, we showed, by functional magnetic resonance imaging, that a neural network is activated in the same brain regions during KiNVIS as is activated during actual movement execution [3]. Thus, the findings of our previous studies indicated that KiNVIS may induce a cerebral state similar to that induced by motor imagery, even though the kinesthetic perception during KiNVIS is "passively" induced. On the other hand, motor imagery describes the conscious and active psychological representation of movement. Motor imagery thus results in the activation of movement execution-related neural networks in healthy subjects [4-7].

A recently published consensus paper includes an approach to rehabilitation of stroke patients, i.e., adjustment of the abnormal inter-hemispheric inhibition [8] (for example, by repetitive transcranial magnetic stimulation, transcranial direct current stimulation, electrical neuromuscular stimulation, constraint-induced movement therapy involving intensive use of the affected hand), combined with motor relearning therapeutic exercises. Since KiNVIS increases corticospinal tract excitability and induces similar cerebral network activation as movement execution [3], we speculated that applying KiNVIS to a patient with stroke could induce a positive effect on sensory-motor function.

Additionally, mirror therapy and motor imagery are new tools that

are currently favoured as therapeutic interventions for sensory-motor function recovery in patients with stroke. Several studies have indicated that mirror therapy has a positive effect on motor function in patients with stroke [9-12]. The neural substrate during mirror therapy and KiNVIS may overlap somewhat, since these two approaches include the psychological feeling of body ownership in the artificial body, in the mirror or the movie, and kinesthetic perception. However, there is a clear difference between these approaches in terms of the absence of actual movement of the patient's own body during KiNVIS, which may be reflected in some difference in brain activity. Moreover, although the efficacy of motor imagery on patients with stroke is limited by the patient's underlying pathophysiology [13] and is poorly reported [14], there is evidence that suggests that motor imagery provides additional benefits to conventional physiotherapy or occupational therapy [15].

Given this background, we speculated that KiNVIS may benefit patients with stroke. We had already confirmed that watching this type of movie could create an illusory perception of kinesthesia in a subject who had experienced a stroke more than 10 years previously; this patient also expressed a subjective feeling of desiring to move while watching the movie, as he perceived it as movement of his own hand. The aim of the present study was to assess the acute effect of KiNVIS on motor function in patients with stroke, as a preliminary study.

**\*Corresponding author:** Fuminari Kaneko, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan, Tel: 81116112111 ext. 2870; Fax: 81116112143; E-mail: [f-kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f-kaneko@sapmed.ac.jp)

**Received** June 08, 2016; **Accepted** June 17, 2016; **Published** June 24, 2016

**Citation:** Kaneko F, Inada T, Matsuda N, Shibata E, Koyama S (2016) Acute Effect of Visually Induced Kinesthetic Illusion in Patients with Stroke: A Preliminary Report. Int J Neurorehabilitation 3: 212. doi:[10.4172/2376-0281.1000212](https://doi.org/10.4172/2376-0281.1000212)

**Copyright:** © 2016 Kaneko F, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

RESEARCH

Open Access



# The association of motor imagery and kinesthetic illusion prolongs the effect of transcranial direct current stimulation on corticospinal tract excitability

Fuminari Kaneko<sup>1,2\*</sup>, Eriko Shibata<sup>1,2</sup>, Tatsuya Hayami<sup>1,3</sup>, Keita Nagahata<sup>1,4</sup> and Toshiyuki Aoyama<sup>1,5</sup>

## Abstract

**Background:** A kinesthetic illusion induced by a visual stimulus (KI) can produce vivid kinesthetic perception. During KI, corticospinal tract excitability increases and results in the activation of cerebral networks. Transcranial direct current stimulation (tDCS) is emerging as an alternative potential therapeutic modality for a variety of neurological and psychiatric conditions, such that identifying factors that enhance the magnitude and duration of tDCS effects is currently a topic of great scientific interest. This study aimed to establish whether the combination of tDCS with KI and sensory-motor imagery (MI) induces larger and longer-lasting effects on the excitability of corticomotor pathways in healthy Japanese subjects.

**Methods:** A total of 21 healthy male volunteers participated in this study. Four interventions were investigated in the first experiment: (1) anodal tDCS alone (tDCSa), (2) anodal tDCS with visually evoked kinesthetic illusion (tDCSa + KI), (3) anodal tDCS with motor imagery (tDCSa + MI), and (4) anodal tDCS with kinesthetic illusion and motor imagery (tDCSa + KIMI). In the second experiment, we added a sham tDCS intervention with kinesthetic illusion and motor imagery (sham + KIMI) as a control for the tDCSa + KIMI condition. Direct currents were applied to the right primary motor cortex. Corticospinal excitability was examined using transcranial magnetic stimulation of the area associated with the left first dorsal interosseous.

**Results:** In the first experiment, corticomotor excitability was sustained for at least 30 min following tDCSa + KIMI ( $p < 0.01$ ). The effect of tDCSa + KIMI on corticomotor excitability was greater and longer-lasting than that achieved in all other conditions. In the second experiment, significant effects were not achieved following sham + KIMI.

**Conclusions:** Our results suggest that tDCSa + KIMI has a greater therapeutic potential than tDCS alone for inducing higher excitability of the corticospinal tract. The observed effects may be related to sustained potentiation of resultant cerebral activity during combined KI, MI, and tDCSa.

**Keywords:** Transcranial direct current stimulation, Motor imagery, Kinesthetic illusion, Visual stimulation, Transcranial magnetic stimulation, Corticospinal tract

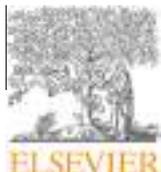
\* Correspondence: f-kaneko@sapmed.ac.jp

<sup>1</sup>Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>2</sup>Development Research Group for Advanced Neuroscience-based Rehabilitation, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

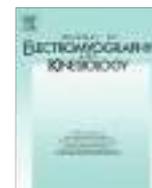
Full list of author information is available at the end of the article





Contents lists available at ScienceDirect

## Journal of Electromyography and Kinesiology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jelekin](http://www.elsevier.com/locate/jelekin)

# Effect of kinesthetic illusion induced by visual stimulation on muscular output function after short-term immobilization

Toru Inada<sup>a,b</sup>, Fuminari Kaneko<sup>c,\*</sup>, Tatsuya Hayami<sup>c,d</sup><sup>a</sup> Graduate School of Health Science, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan<sup>b</sup> Department of Rehabilitation, Asahikawa Rehabilitation Hospital, Asahikawa, Japan<sup>c</sup> First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan<sup>d</sup> Division of Health Science Education, School of General Education, Shinshu University, Matsumoto, Japan

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 27 April 2015

Received in revised form 4 January 2016

Accepted 18 January 2016

## Keywords:

Short-term immobilization

Kinesthetic illusion

Muscular output function

Visual stimulation

Rehabilitation

## ABSTRACT

Kinesthetic illusions by visual stimulation (KiNVIS) enhances corticomotor excitability and activates motor association areas. The purpose of this study was to investigate the effect of KiNVIS induction on muscular output function after short-term immobilization. Thirty subjects were assigned to 3 groups: an immobilization group, with the left hand immobilized for 12 h (immobilization period); an illusion group, with the left hand immobilized and additionally subjected to KiNVIS of the immobilized part during the immobilization period; and a control group with no manipulation. The maximum voluntary contraction (MVC), fluctuation of force (force fluctuation) during a force modulation task, and twitch force were measured both before (pre-test) and after (post-test) the immobilization period. Data were analyzed by performing two-way (TIME × GROUP) repeated measures ANOVA. The MVC decreased in the immobilization group only (pre-test;  $37.8 \pm 6.1$  N, post-test;  $32.8 \pm 6.9$  N,  $p < 0.0005$ ) after the immobilization period. The force fluctuation increased only in the immobilization group (pre-test;  $2.19 \pm 0.54\%$ , post-test;  $2.78 \pm 0.87\%$ ,  $p = 0.007$ ) after the immobilization period. These results demonstrate that induction of KiNVIS prevents negative effect on MVC and force fluctuation after 12 h of immobilization.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Long-term immobilization of skeletal muscle decreases muscle output function (Seki et al., 2001a,b). Preventing the acute negative effect on muscular output function may be important to prevent the long-term effects of immobilization. Thus, systematic approaches for treating patients with immobilized extremities are important. Previous reports have indicated that decreased motor cortex excitability is associated with decreased muscle output function after immobilization (Kaneko et al., 2003). Corticomotor excitability is reduced by even short-term immobilization, in the range of days or hours (Facchini et al., 2002; Huber et al., 2006; Avanzino et al., 2011; Bassolino et al., 2014) and affects motor behavior (Moisello et al., 2008; Bassolino et al., 2012). Therefore, muscle output function may decrease in parallel with reduction in corticomotor excitability. Therefore, we hypothesized

that muscle output decline after several hours of immobilization, even by means of a cast, can be prevented by motor cortex activation.

We have reported that kinesthetic illusions induction by visual stimulation (KiNVIS) significantly increases motor cortex excitability (Kaneko et al., 2007; Aoyama et al., 2012). We used a visual stimulus method involving a monitor showing a movie, on the subject's distal forearm, of another individual's index finger moving (Kaneko et al., 2007). This method may prevent muscular output function decline after cast immobilization, during which patients must remain at rest without engaging in muscle contraction. KiNVIS induction appears similar to the action-observation technique (Fadiga et al., 1995); however, Kaneko et al. (2015) indicated that the motor-related areas of the fronto-parietal cortex, insula, and striatum are more strongly activated during KiNVIS than during simple action observation. Furthermore, subjects reported feeling as if they were moving their own hand while watching a movie that induced KiNVIS. Hence, we hypothesized that cerebral network activation during KiNVIS induction prevents motor output function impairment during immobilization. However, the exact

\* Corresponding author at: First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17-South 1, Chuo-ku, Sapporo, Japan. Tel.: +81 11 611 2111; fax: +81 11 611 2143.

E-mail address: [f-kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f-kaneko@sapmed.ac.jp) (F. Kaneko).

原 著

## 半腱様筋の選択的筋疲労がハムストリング筋活動に及ぼす影響

青木信裕<sup>1)</sup>、金子文成<sup>2)</sup>、片寄正樹<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 札幌医科大学保健医療学部理学療法第二講座

<sup>2)</sup> 札幌医科大学保健医療学部理学療法第一講座

本研究の目的は、神経筋電気刺激を用いて半腱様筋のみを選択的に筋疲労させ、選択的筋疲労が等尺性膝関節屈曲運動時のハムストリング筋活動に及ぼす影響を解明することとした。13名の健康な成人男性が本研究に参加した。選択的筋疲労を誘起させるために、神経筋電気刺激を半腱様筋上に30分間実施した。被験者は電気刺激前後に膝関節屈曲群の最大随意収縮課題と一定力出力課題を実施した。一定力出力課題は、最大膝屈曲トルクに対して25%、50%、75%の目標力を膝関節屈曲105°位で実施した。課題中の膝屈曲トルクと筋電図積分値 (iEMG)、中央周波数 (MDF) を算出した。その結果、一定力出力課題において、半腱様筋のiEMGは電気刺激後に有意に上昇し、MDFは有意に低下した。その一方で、半腱様筋と大腿二頭筋のiEMGは電気刺激後に有意に上昇したが、MDFは変化しなかった。これらの結果は、神経筋電気刺激後に半腱様筋が選択的に筋疲労していることを示唆する。半腱様筋の選択的筋疲労によって最大屈曲トルクが低下したにも拘らず、協働筋である半膜様筋の最大随意収縮中における筋活動量は増大することが明らかとなった。

キーワード：ハムストリング、筋疲労、電気刺激、筋電図、膝関節

### Evaluation of the hamstring muscles activity under the semitendinosus muscle fatigue condition.

Nobuhiro AOKI<sup>1)</sup>, Fuminari KANEKO<sup>2)</sup>, Masaki KATAYOSE<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Second Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

<sup>2)</sup> First Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

This study aimed to elucidate the activity of the hamstring muscles during isometric contraction tasks before and after semitendinosus muscle fatigue induced by neuromuscular electrical stimulation (NMES). Thirteen healthy young men participated in this study. NMES of the semitendinosus muscle was performed for 30 min to induce selective muscle fatigue. Subjects performed maximum voluntary contraction and constant-force tasks before and after NMES. In the constant-force tasks, subjects performed isometric contraction at 25%, 50%, and 75% maximum torque level at 105° knee flexion. Knee flexion torque and surface electromyography (EMG), integrated EMG (iEMG), and median frequency (MDF) during tasks were calculated. Maximum knee flexion torque declined significantly after NMES for all joint angles. In the constant-force tasks, iEMG of the semitendinosus muscle increased significantly after NMES, whereas MDF declined significantly. In contrast, while the iEMG of the semimembranosus and biceps femoris muscles increased significantly after NMES, no significant change was seen in MDF. These results suggest that semitendinosus muscle fatigue due to NMES reduces knee flexion torque. Maximum knee flexion torque declined after semitendinosus muscle fatigue. Nevertheless, muscle activity of the semimembranosus muscle during maximum voluntary contraction increased significantly after synergist muscle fatigue.

Key words : hamstring muscle, muscle fatigue, electrical stimulation, electromyography, knee joint

Sapporo J. Health Sci, 5:45-52(2016)

DOI:10.15114/sjhs. 5. 45

## 原著論文

# 動画を用いた視覚刺激による自己運動錯覚が 随意運動の発現に及ぼす影響

阿部 大豊<sup>1)</sup> 金子 文成<sup>2,3)</sup> 柴田恵理子<sup>3)</sup> 木村 剛英<sup>1)</sup>

キーワード：自己運動錯覚, 視覚刺激, 反応時間, Go/No go 課題, 筋電図

### 諸言

自己運動錯覚とは、現実の運動を生じさせる筋収縮を伴わないにも関わらず、あたかも自身の四肢が動いているかのような感覚が引き起こされるものである<sup>1)</sup>。自己運動錯覚の誘起方法としては、これまで筋腱の振動刺激<sup>2,3)</sup> や皮膚の伸張<sup>4,5)</sup>、鏡像による視覚刺激を用いたもの<sup>6,7)</sup> などが報告されている。鏡像を用いて錯覚を誘起する方法はミラーセラピーとよばれ、臨床的にも応用されている<sup>6,9)</sup>。ミラーセラピーでは、まず対象者の正面に鏡を置き、一方の手や足部を動かしている光景を鏡に映す。そして、鏡に映した側とは反対側の四肢があたかも動いているかのように、鏡像をうまく見せることで錯覚が誘起できる。ミラーセラピーは上下肢の切断症例における幻肢痛の抑制<sup>6)</sup> や、脳卒中片麻痺症例の感覚運動機能を向上させる治療方法として適用されている<sup>7,9)</sup>。しかし、ミラーセラピーは非麻痺側の運動を行わせるため、異常半球間抑制仮説に基づく治療的アプローチとは矛盾したアプローチとなっている<sup>10)</sup>。

これに対し、Kanekoらは、動画を用いた視覚刺激により自己運動錯覚を誘起することを報告した<sup>11,12)</sup>。この方法では、四肢が運動する動画を被験者自身の四肢と連続性が保たれるように観察させることで、錯覚を誘起する<sup>10,11)</sup>。そして自己運動錯覚誘起中には、皮質脊髄路の興奮性が増大すること、さらに背側運動前野、腹側運動前野、補足運動野、下頭頂小葉、線条体、島、後頭側頭皮質といった脳神経回路網の活動が生じることが報告されている<sup>13)</sup>。この中でも運動前野や補足運動野は、上肢到達運動などの随意運動時に一次運動野よりも早く活動する脳部位である<sup>14)</sup>。このことから、自己運動錯覚が誘起されることによって、一次運動野よりも上位の運動前野や補足運動野において、随意運動と関連する脳神経活動が生じている可能性があるのではないかと考えた。臨床的経験として、肘関節自動屈曲が困難であった慢性期脳卒中片麻痺患者に対し、視覚刺激を用いた自己運動錯覚を治療アプローチとして適用した場合、即時的効果として上腕二頭筋から記録される筋電図量が増大し、肘関節自動運動可動域が改善したと報告されている<sup>15)</sup>。このことから、自己運動錯覚の誘起が運動機能に即時的な影響を及ぼすことは明らかである。

以上の先行研究より、自己運動錯覚による脳神経活動は随意運動を遂行する際の脳神経活動にポジティブな影響を及ぼすのではないかと考えた。そこで本研究は、自己運動錯覚の誘起が随意運動に影響を及ぼすか明らかにすることを目的とした。

随意運動中には運動錯覚が生じないため、本研究では随意運動の直前まで自己運動錯覚を誘起することで、その後の随意運動に影響するか検討した。そのため、反応課題を検査方法として用いた。本研究で用いた反応課題は、音刺激に対する選択反応課題とした。この反応時間は、刺激を認知して刺激に応じた運動を

1) 札幌医科大学大学院 保健医療学研究科  
Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University  
2) 札幌医科大学 保健医療学部 理学療法学第一講座  
First Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University  
3) 札幌医科大学 保健医療学部 未来医療ニューロリハビリテーション研究開発部門  
Development Research Group for Advanced Neuroscience-based Rehabilitation, Sapporo Medical University  
投稿責任者：金子文成  
連絡先：北海道札幌市中央区南1条西17丁目  
電話：011-611-2150 (内線2870), FAX：011-611-2150  
e-mail：f-kaneko@sapmed.ac.jp

RESEARCH ARTICLE

# Brain Regions Associated to a Kinesthetic Illusion Evoked by Watching a Video of One's Own Moving Hand

Fuminari Kaneko<sup>1#a</sup>, Caroline Blanchard<sup>1#b</sup>, Nicolas Lebar<sup>1#c</sup>, Bruno Nazarian<sup>2</sup>, Anne Kavounoudias<sup>1</sup>, Patricia Romaiguère<sup>1\*</sup>

**1** Laboratoire de Neurosciences Intégratives et Adaptatives, NIA UMR 7260, FR3C FR3512, Aix Marseille Université, CNRS, Marseille, France, **2** Institut des Neurosciences de la Timone, INT UMR 7289, IRMF Center, Aix Marseille Université, CNRS, Marseille, France

**#a** Current address: Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, W17-S1 Chuo-ku, Sapporo, Japan

**#b** Current address: School of Psychology, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom

**#c** Current address: Laboratoire de Neurosciences Cognitives, LNC UMR7291, FR3C FR3512, Aix Marseille Université, CNRS, Marseille, France

\* [Patricia.Romaiguere@univ-amu.fr](mailto:Patricia.Romaiguere@univ-amu.fr)



**OPEN ACCESS**

**Citation:** Kaneko F, Blanchard C, Lebar N, Nazarian B, Kavounoudias A, Romaiguère P (2015) Brain Regions Associated to a Kinesthetic Illusion Evoked by Watching a Video of One's Own Moving Hand. *PLoS ONE* 10(8): e0131970. doi:10.1371/journal.pone.0131970

**Editor:** Matthew Longo, Birkbeck, University of London, UNITED KINGDOM

**Received:** September 1, 2014

**Accepted:** February 12, 2015

**Published:** August 19, 2015

**Copyright:** © 2015 Kaneko et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** Data are available from Figshare: <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1441326>.

**Funding:** FK was supported by the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS Excellent Young Researcher Overseas Visit Program) and JSPS KAKENHI (Grant-in-Aid for Scientific Research (B) 23300202).

**Competing Interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

## Abstract

It is well known that kinesthetic illusions can be induced by stimulation of several sensory systems (proprioception, touch, vision. . .). In this study we investigated the cerebral network underlying a kinesthetic illusion induced by visual stimulation by using functional magnetic resonance imaging (fMRI) in humans. Participants were instructed to keep their hand still while watching the video of their own moving hand (Self Hand) or that of someone else's moving hand (Other Hand). In the Self Hand condition they experienced an illusory sensation that their hand was moving whereas the Other Hand condition did not induce any kinesthetic illusion. The contrast between the Self Hand and Other Hand conditions showed significant activation in the left dorsal and ventral premotor cortices, in the left Superior and Inferior Parietal lobules, at the right Occipito-Temporal junction as well as in bilateral Insula and Putamen. Most strikingly, there was no activation in the primary motor and somatosensory cortices, whilst previous studies have reported significant activation in these regions for vibration-induced kinesthetic illusions. To our knowledge, this is the first study that indicates that humans can experience kinesthetic perception without activation in the primary motor and somatosensory areas. We conclude that under some conditions watching a video of one's own moving hand could lead to activation of a network that is usually involved in processing copies of efference, thus leading to the illusory perception that the real hand is indeed moving.

## Introduction

Kinesthetic sensations usually result from movements, whether voluntarily executed or passively imposed. It is therefore difficult to discriminate which components pertain to the motor

症例研究

## ロボティックデバイスによる脳梗塞症例の 上肢運動失調評価とその回復過程\*

青山敏之<sup>1)</sup># 金子文成<sup>2)</sup> 澤田辰徳<sup>3)</sup>  
速水達也<sup>4)</sup> 青木信裕<sup>2)</sup>

### 要旨

【目的】本研究の目的は、脳血管障害により上肢運動失調を呈した一症例について、運動学的評価指標を用いた経時的な回復過程を明らかにすることであった。【方法】症例は左中脳梗塞により右上肢運動失調を呈した72歳男性であり、回復期病院入院中の初期、中間(2週後)、最終(4週後)に運動学的評価を実施した。課題はロボティックデバイスを用いた右上肢による水平面上での目標追従運動であり、目標物との座標誤差・速度誤差、X軸・Y軸移動範囲、総軌跡長、Jerk Indexを解析対象とした。【結果】座標誤差は初期、中間、最終と段階的に減少したが、その他の指標は初期から中間にかけて一時的に増大し、最終に減少した。鼻指鼻試験や手回内外試験は初期、最終ともに陽性であった。【考察】本症例における運動学的評価指標の改善は、運動失調症状の変化のみでなく、代償的な運動制御戦略の変化を含んで表現された可能性がある。また、ロボティックデバイスを用いた運動学的評価は、運動失調の経時変化をより定量的に評価する方法として有用であると考えられる。

キーワード 運動失調, ロボティックデバイス, 運動学的評価指標

### はじめに

近年の小脳症候学の基礎を築いたHolmesは、第一次世界大戦の銃により小脳損傷を呈した患者の臨床所見を観察し、その運動学的特徴について、速度や加速度の不規則さと運動のタイミングの遅延が挙げられると報告した<sup>1)</sup>。また、Hallettらは筋電図や関節角度データを用いて小脳性運動失調患者の運動学的解析を行い、主動筋の活動開始や活動増大、活動停止の遅延、拮抗筋の活動開始の遅延といった現象が生じることを明らかにし

た<sup>2)3)</sup>。さらに、このような運動失調特有の徴候は、フィードフォワード制御の障害により、時間的遅れを有するフィードバック制御に依存する結果として生じるとされ、振戦や測定過大等の一因になると考えられている<sup>4)5)</sup>。これらのように、小脳は随意運動の時間的・空間的活動パターンの調節あるいは予測的な制御に重要な役割を果たしていると考えられている。

一方、理学療法の評価場面において、運動失調患者の示す徴候は、鼻指鼻試験等の指標により評価されている。しかしながら、この検査は失調の有無を判断し、診断を補助するためのものであり、定量的な評価手法としては不十分であるといえる。よって、経時的な徴候の変化を表現するためには適さないと考える。また、Simple Test for Evaluating Hand Function (以下、STEF)のように上肢機能がある程度定量的に評価する指標も用いられているものの、運動失調自体の評価は困難であり、徴候の変化がどの程度点数に反映されるかは不明である。

また、このような運動失調患者の運動学的評価指標の経時変化を記録した研究は少ない。小脳梗塞により運動失調を呈した症例に対して3ヵ月の介入を行った先行研究では、運動の速度、加速度、運動時間といった指標

\* Quantitative Analysis and Recovery Process of a Patient with Ataxic Upper Limb Using a Robotic Device

1) 茨城県立医療大学保健医療学部理学療法学科  
(〒300-0394 茨城県稲敷郡阿見町阿見4669-2)

Toshiyuki Aoyama, PT, MSc: Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

2) 札幌医科大学保健医療学部理学療法第二講座  
Fuminari Kaneko, PT, PhD, Nobuhiro Aoki, PT, MSc: Second Division of Physical Therapy, School of Health Science, Sapporo Medical University

3) イムス板橋リハビリテーション病院リハビリテーション科  
Tatsunori Sawada, OT, PhD: Division of Rehabilitation, IMS Itabashi Rehabilitation Hospital

4) 信州大学全学教育機構健康科学教育部門  
Tatsuya Hayami, PhD: Division of Health Science Education, School of General Education Shinshu University

# E-mail: aoyamato@jpu.ac.jp  
(受付日 2014年2月4日/受理日 2014年6月24日)

RESEARCH

Open Access

# Motor imagery and electrical stimulation reproduce corticospinal excitability at levels similar to voluntary muscle contraction

Fuminari Kaneko<sup>1\*</sup>, Tatsuya Hayami<sup>1,2</sup>, Toshiyuki Aoyama<sup>1,3</sup> and Tomohiro Kizuka<sup>4</sup>

## Abstract

**Background:** The combination of voluntary effort and functional electrical stimulation (ES) appears to have a greater potential to induce plasticity in the motor cortex than either electrical stimulation or voluntary training alone. However, it is not clear whether the motor commands from the central nervous system, the afferent input from peripheral organs, or both, are indispensable to induce the facilitative effects on cortical excitability. To clarify whether voluntary motor commands enhance corticospinal tract (CoST) excitability during neuromuscular ES, without producing voluntary muscular contraction (VMC), we examined the effect of a combination of motor imagery (MI) and electrical muscular stimulation on CoST excitability using transcranial magnetic stimulation (TMS).

**Methods:** Eight neurologically healthy male subjects participated in this study. Five conditions (resting, MI, ES, ES + MI [ESMI], and VMC) were established. In the ES condition, a 50-Hz stimulus was applied for 3 to 5 s to the first dorsal interosseous (FDI) while subjects were relaxed. In the MI condition, subjects were instructed to imagine abducting their index finger. In the ESMI condition, ES was applied approximately 1 s after the subject had begun to imagine index finger abduction. In the VMC condition, subjects modulated the force of index finger abduction to match a target level, which was set at the level produced during the ES condition. TMS was applied on the hotspot for FDI, and the amplitude and latency of motor evoked potentials (MEPs) were measured under each condition.

**Results:** MEP amplitudes during VMC and ESMI were significantly larger than those during other conditions; there was no significant difference in MEP amplitude between these 2 conditions. The latency of MEPs evoked during MI and VMC were significantly shorter than were those evoked during rest and ES.

**Conclusions:** MEP acutely reinforced in ESMI may indicate that voluntary motor drive markedly contributes to enhance CoST excitability, without actual muscular contraction.

**Keywords:** Electrical stimulation, Motor imagery, Corticospinal tract, Rehabilitation, Physical therapy

## Background

Many studies have shown that paired associative stimulation with single transcranial magnetic stimulation (TMS) and ES, repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS), or transcranial direct current stimulation can induce either short-term potentiation or a depressive effect in the motor cortex [1-7]. These facilitatory or suppressive effects are believed to accelerate motor

recovery in patients with stroke [8,9] because cortical plasticity plays an important role in motor recovery [10,11], as well as motor learning in healthy individuals [12,13]. In clinical situations, however, interventions other than transcranial stimulation are needed to facilitate cortical potentiation because of epilepsy, limited resources, or patient preference. In such cases, we attempt to provide some form of sensory input (e.g., visual input) [14] or ES, which have been used to improve muscular strength for purposes of rehabilitation.

The effect an exercise has on cortical excitability can be augmented by ES [15,16]. Therefore, the combination

\* Correspondence: f-kaneko@sapmed.ac.jp

<sup>1</sup>Laboratory of SensoryMotor Science and Sports Neuroscience, Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17- South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

Full list of author information is available at the end of the article



(7)

## ハプティックデバイスを用いた下肢の体性感覚-運動 連関機能の評価

速水達也<sup>1</sup>、金子文成<sup>2</sup>、横井孝志<sup>3</sup>、木塚朝博<sup>4</sup>

<sup>1</sup>信州大学全学教育機構健康科学教育部門、<sup>2</sup>札幌医科大学理学療法第二講座、

<sup>3</sup>産業技術総合研究所、<sup>4</sup>筑波大学体育系

**要旨** 本研究では、体性感覚入力（運動感覚）に基づく運動調節機能を体性感覚-運動連関機能と定義し、体性感覚-運動連関機能を測定評価するための運動課題（運動平衡保持課題）を実施した。運動課題の実施には、作成したハプティックデバイスを使用し、装置から加わる力との釣り合いを保ち、身体位置の変化がどの程度生じたかを定量化した。これまでの報告に加えて、装置から加わる力が漸増する局面と漸減する局面とで、測定結果がどのように異なるかを調べた。さらに、対象者を運動歴の有無に応じて2群に分類し、運動歴の差異による影響についても検討した。その結果、漸減する局面の方が漸増する局面に比べて課題の難易度が高く、運動歴による影響も漸減局面において顕著であることが示された。また、運動平衡保持課題を練習方法として用い、両局面の測定結果がどの程度改善されるかについて調べ、練習の前後で感覚機能と運動機能とがどのように変化するかについても検証した。その結果、両局面ともに練習期間前後で有意に改善し、感覚機能と運動機能も向上することが明らかとなった。これらの結果から、ハプティックデバイスを使用して実施する運動平衡保持課題は、体性感覚-運動連関機能の測定評価方法として妥当であり、感覚機能と運動機能の向上を目的とした練習方法としても有用である可能性が考えられた。

**キーワード**：体性感覚-運動連関機能、運動平衡保持課題、感覚機能、運動機能

### 1. はじめに

スポーツやリハビリテーションの現場においては、運動を合目的的に遂行するために、正確性を高め、新たな運動パターンを獲得するための練習が行われる。その際には、感覚情報が重要な役割を持ち、特に、身体各部位の相対的位置関係や関節角度、力発揮の程度に関する感覚は運動感覚と定義されてい

る<sup>1)</sup>。運動感覚の形成に寄与する感覚受容器は、筋紡錘やゴルジ腱器官などの体性感覚受容器である<sup>2)</sup>。これまで、体性感覚受容器からの求心性入力を遮断した状態での運動調節課題に関する先行研究の結果から、感覚遮断を施した状態で到達課題を行うと、筋出力とそれに伴う関節運動の安定性は低下し、巧緻性の高い運動の遂行が困難になることが明らかにされている<sup>3,4)</sup>。これらのことは、合目的な運動調節において体性感覚受容器からの求心性入力によ



## The effect of fatigued internal rotator and external rotator muscles of the shoulder on the shoulder position sense



Naoya Iida<sup>a,b</sup>, Fuminari Kaneko<sup>c,\*</sup>, Nobuhiro Aoki<sup>c</sup>, Eriko Shibata<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, Japan

<sup>b</sup>Department of Rehabilitation, Hakodate Goryokaku Hospital, Japan

<sup>c</sup>Second Division of Physical Therapy, School of Health Science, Sapporo Medical University, Japan

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 13 November 2012

Received in revised form 14 September 2013

2013

Accepted 15 October 2013

#### Keywords:

Position sense

Muscle fatigue

Shoulder joint rotation

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate which muscle group, the agonist or antagonist, contributes most to the shoulder position sense (SPS). The SPS was tested under 2 conditions: fatigued shoulder internal rotator (IR) muscles (pectoralis major and latissimus dorsi) and fatigued external rotator (ER) muscles (infraspinatus). In each condition, the SPS was measured before and after a fatiguing task involving the IR or ER muscles by repeating shoulder joint rotation. SPS was measured using a method in which subjects reproduced a memorized shoulder joint rotation angle. The position error values in all conditions (fatigued IR and ER muscles) and measurement periods (before- and after-fatigue task) were compared using 2-way analysis of variance with repeated measures (IR/ER × before/after). Position error increased significantly after both fatigue tasks (before- vs. after-fatigue: IR muscle, 2.68° vs. 4.19°; ER muscle, 2.32° vs. 4.05°). In other words, SPS accuracy decreased when either the agonist or antagonist muscle was fatigued. This finding indicated that SPS may be affected by an integrated information of the afferent signals in the agonist and antagonist muscles.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction

Different receptors convey each somatosensory information consists of the pain, temperature, and tactile sensations as well as conscious proprioception (Riemann and Lephert, 2002a,b). Riemann and Lephert (2002a,b) described that proprioception consisted of 3 submodalities (joint position sense, kinesthesia, and the sense of tension). The position sense test measures the accuracy of position replication and can be conducted actively (active position sense) or passively (passive position sense) in both open and closed kinetic chain positions (Riemann and Lephert, 2002a,b).

The mechanisms of the production of the position sense have been investigated using a tendon vibration and muscle fatigue in the wrist and elbow joints. As the result of studies on a tendon vibration, it was indicated that joint position is determined by the integration of afferent signals from the muscle spindles of 2 antagonistic muscles (Figuère et al., 1999; Gilhodes et al., 1986). Furthermore, it was suggested that the position sense decreased even if the shortening muscle during the position sense measurement involved muscle fatigue (Allen et al., 2007, 2010; Allen and

Proske, 2006; Fortier et al., 2010; Walsh et al., 2004). Thus, these studies support the theory that the integration of afferent signals from the muscle spindles of the 2 antagonistic muscles is important in the production of the position sense.

In the shoulder joint, when the internal and external rotator muscles are concurrently fatigued, shoulder position sense (SPS) decreases (Myers et al., 1999; Vaught et al., 1996). Moreover, muscle fatigue of shoulder horizontal flexion and extension leads to proprioceptive deficit of the shoulder joint (Björklund et al., 2000; Pedersen et al., 1999). However, it has not been clarified whether fatigue of the agonist or the antagonist muscle has a greater effect on SPS. In the elbow joint, position sense accuracy is decreased even when the shortening muscle is fatigued during position sense measurement (Allen et al., 2007, 2010; Allen and Proske, 2006; Fortier et al., 2010; Walsh et al., 2004); however, to our knowledge, no study of this kind has been performed for the shoulder joint.

The purpose of this study was to investigate which muscle group, the internal rotator or the external rotator, contributes most to the position sense in the shoulder joint rotation using separate fatigue tasks for these muscles. We hypothesized that accuracy of the position sense of the shoulder is decreased like the elbow joint even when the shortening muscle is fatigued during position sense measurements.

\* Corresponding author. Address: West 17, South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan. Tel.: +81 11 611 2111.

E-mail address: [f.kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f.kaneko@sapmed.ac.jp) (F. Kaneko).



Contents lists available at ScienceDirect

## Journal of Electromyography and Kinesiology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jelekin](http://www.elsevier.com/locate/jelekin)

## Effects of different movement directions on electromyography recorded from the shoulder muscles while passing the target positions



Yoshinari Sakaki<sup>a,d</sup>, Fuminari Kaneko<sup>b,\*</sup>, Kota Watanabe<sup>c</sup>, Takuma Kobayashi<sup>c</sup>, Masaki Katayose<sup>b</sup>, Nobuhiro Aoki<sup>b</sup>, Eriko Shibata<sup>a</sup>, Toshihiko Yamashita<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan

<sup>b</sup> Second Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University, Sapporo, Japan

<sup>c</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Sapporo Medical University School of Medicine, Sapporo, Japan

<sup>d</sup> Department of Rehabilitation, Hitsujigaoka Hospital, Sapporo, Japan

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 29 January 2013

Received in revised form 7 August 2013

Accepted 28 August 2013

#### Keywords:

Rotator cuff

Shoulder joint

Electromyography

Movement direction

Motion analysis

### ABSTRACT

**Purpose:** We compared electromyography (EMG) recorded from the shoulder joint muscles in the same position for different movement directions.

**Methods:** Fifteen healthy subjects participated. They performed shoulder elevation from 0° to 120°, shoulder depression from 120° to 0°, shoulder horizontal adduction from -15° to 105°, and shoulder horizontal abduction from 105° to -15°. The target positions were 90° shoulder elevation in the 0°, 30°, 60°, and 90° planes (0°, 30°, 60°, and 90° positions). EMG signals were recorded from the supraspinatus (SSP) muscle by fine-wire electrodes. EMG signals from the infraspinatus (ISP), anterior deltoid, middle deltoid, and posterior deltoid muscles were recorded using active surface electrodes.

**Results:** During elevation and horizontal abduction, the SSP showed significantly higher activity than that shown during depression and during horizontal adduction in the 0°, 30°, and 60° positions. During elevation, the ISP showed significantly higher activity than during depression and during horizontal adduction in the 90° position. During horizontal abduction, the ISP showed significantly higher activity than during depression in the 90° position.

**Conclusions:** When the movement tasks were performed in different movement directions at the same speed, each muscle showed characteristic activity.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

### 1. Introduction

Shoulder surface muscles include the deltoid muscle and the pectoralis major muscle, which enable the execution of shoulder movements. The rotator cuff acts to stabilize the glenohumeral joint in various limb positions (Kronberg et al., 1990; Inman et al., 1996; Wuelker et al., 1998). It was reported that in shoulder joint diseases such as subacromial impingement, frozen shoulder and thrower's pathologic shoulder, the function of the rotator cuff is relatively less than the function of the surface muscles (Williams and Kelley, 2000). Therefore, to understand the mechanisms underlying shoulder joint diseases and to provide the optimal rehabilitation for rotator cuff, a thorough elucidation of the functional characteristics of the rotator cuff is necessary.

The functional characteristics of the rotator cuff have been examined in the previous studies using techniques such as a cadaveric shoulder, electromyography, X-rays, and magnetic resonance imaging (Kronberg et al., 1990; Inman et al., 1996; Wuelker

et al., 1998). It was reported that the supraspinatus (SSP) muscle contributes to shoulder abduction movement (Howell et al., 1986; Otis et al., 1994; Alpert et al., 2000), and that the infraspinatus (ISP) muscle pulls the head of the humerus into the glenoid fossa (Alpert et al., 2000; Yanagawa et al., 2008).

These studies only focused on the rotator cuff's functional characteristics in a single movement direction. However, the shoulder's movements in daily living and sports activities are multidirectional, and the movement direction that passes through the same position in space is generally not one direction. In the previous studies, it was not clarified whether shoulder muscle activity differs during different movement directions when the upper limb is in the same position. The purpose of the present study was to record electromyography from the shoulder joint muscles in the same position for different movement directions.

### 2. Methods

#### 2.1. Subjects

Fifteen healthy male subjects (aged 23.1 ± 1.2 years) who reported that they did not exercise regularly participated. The study

\* Corresponding author. Address: West 17, South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan. Tel.: +81 11 611 2111.

E-mail address: [f-kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f-kaneko@sapmed.ac.jp) (F. Kaneko).

## Analysis of effectiveness of therapeutic exercise for knee osteoarthritis and possible factors affecting outcome

Miki Kudo · Kota Watanabe · Hidenori Otsubo ·  
Tomoaki Kamiya · Fuminari Kaneko ·  
Masaki Katayose · Toshihiko Yamashita

Received: 4 April 2012 / Accepted: 9 July 2013 / Published online: 2 October 2013  
© The Japanese Orthopaedic Association 2013

### Abstract

**Background** There are numerous reports and evidences to suggest that exercise therapy is effective for knee osteoarthritis (knee OA). However, there is a lack of sufficient research concerning the factors influencing its application and effectiveness. The purposes of this study were to evaluate effects of the mode of treatment delivery on the improvement of symptoms in knee OA, and to analyze potential risk factors affecting improvement after exercise therapies.

**Methods** The 209 women applicants diagnosed with knee OA were randomly allocated into either a group performing group exercise in a class or a group performing home exercise. The 90 min exercise program was performed under the guidance of physiotherapists as a group exercise therapy. The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) of the subjects of both groups before and after intervention was compared to examine the effect of exercise therapy. In addition, body mass index, knee range of motion (ROM), the femorotibial angle from radiographs, OA severity from Kellgren–

Lawrence grade, and meniscus abnormality and subchondral bone marrow lesions from MRI findings were statistically analyzed as factors that may affect exercise therapy. **Results** A significantly greater improvement in WOMAC was observed in the subjects of group exercise (81 subjects) as compared with the subjects of home exercise (122 subjects). There was a significantly high proportion of subjects with knee flexion contracture among the subjects participating in group exercise that showed only minor symptom improvement ( $p < 0.05$ ). In addition, exercise therapy proved to be highly effective for subjects with limited quadriceps muscle strength ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions** When prescribing exercise therapy for knee OA, evaluation of a subject's ROM and muscle strength is important in deciding whether to commence exercise therapy and what type of exercise therapy to apply; it is also important in predicting the effect of exercise therapy.

### Introduction

Knee osteoarthritis (knee OA) is a condition often seen in the elderly; thus, the number of affected individuals has consequently been increasing along with the aging of society. It is imperative to systematize the treatment of this condition, and it is clear that conservative treatment is particularly important from a medical-economic perspective. Four items are listed as intervention strategies for knee OA in the “National Strategy for OA 2010” published by the US Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and Arthritis Foundation [1]: (1) self-management education, (2) exercise therapy, (3) injury prevention, and (4) weight management. In particular, exercise therapy is viewed as being important in the treatment of knee OA. In addition, randomized prospective studies and the

---

M. Kudo (✉) · K. Watanabe · H. Otsubo · T. Kamiya ·  
T. Yamashita

Department of Orthopaedic Surgery, Sapporo Medical  
University School of Medicine, South-1, West-16, Chuo-ku,  
Sapporo, Hokkaido 060-8543, Japan  
e-mail: miky\_ku@yahoo.co.jp

F. Kaneko · M. Katayose  
Department of Physical Therapy, Sapporo Medical University  
School of Health Science, Sapporo, Japan

F. Kaneko  
National Institute of Advanced Industrial Science and  
Technology, 1-3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8921, Japan

# Age-related Differences in Reaction Time Responses under Simple- and Dual-task Conditions in Middle-aged Ski Marathon Amateur Males

Hyuma Makizako<sup>1,2</sup>, Fuminari Kaneko<sup>3</sup>, Nobuhiro Aoki<sup>3</sup> and Hikaru Ihira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Section for Health Promotion, Department for Research and Development to Support Independent Life of Elderly, Center for Gerontology and Social Science, National Center for Geriatrics and Gerontology  
35 Gengo, Morioka-machi, Obu, Aichi 474-8511, Japan  
makizako@ncgg.go.jp

<sup>2</sup>Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan  
5-3-1 Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0083, Japan

<sup>3</sup>School of Health Sciences, Sapporo Medical University  
West 17, South 3, Chuo-ku, Sapporo 060-8556, Japan

[Received August 13, 2012; Accepted February 28, 2013; Published online March 12, 2013]

The present study sought to examine age-related differences in reaction time responses under simple- and dual-task conditions in active middle-aged males. Fifty healthy males aged 42 to 64 years who took part in public marathon events in 2010 or 2011, and who had participated in ski marathon events for more than 2 years were assessed, and whole body reaction times (WBRTs) were measured by under simple-task and dual-task conditions. In the dual-task condition, participants performed WBRTs measurements while they counted backwards aloud to 1, starting from 100. Although reaction times in the simple-task condition were not associated with age ( $r = 0.21$ ,  $p = 0.14$ ), a significant positive correlation was found between age and reaction times in a dual-task task condition involving concurrent cognitive tasks ( $r = 0.45$ ,  $p < 0.01$ ). One-way analysis of variance revealed that older subjects (60 years and older) responded more slowly than two younger groups (aged <50 and 50-59 years) in dual-task conditions ( $F = 7.87$ ,  $p < 0.01$ ). However these age-related differences were not found in simple-task reaction times ( $F = 1.74$ ,  $p = 0.19$ ). The present findings suggest that attentional capacity assessed by reaction time in dual-task conditions declined with age in active middle-aged males.

**Keywords:** reaction time, dual-task, middle age

## 1. Introduction

Many studies have reported that increasing physical activity can have physical and cognitive health benefits (Buchman et al., 2012; Etgen et al., 2010; Larson et al., 2006; Nelson et al., 2007). A 25-year longitudinal study recently reported that a healthy lifestyle in midlife including high levels of physical activity was associated with a lower risk of dementia in later life among Japanese-American men (Gelber et al., 2012). Thus, a high level of physical activity in midlife may help to maintain cognitive health in later life.

Poor reaction time responses under conditions with cognitive demands are an important risk factor for health problems among older people, especially cognitive impairment. Attentional resources must be

divided to perform multiple tasks simultaneously. The dual-task paradigm can be used to examine the extent of attentional resource sharing. Dual-task performance can be measured while a person performs two concurrent tasks, and reflects divided attention, which is considered to be an important executive function (Baddeley et al., 2001; Logie et al., 2004). In older adults, poor dual-tasking performance is thought to be an indicator of age-related changes in attentional capacity, and has been used as a predictor of the risk of falling (Makizako et al., 2010a; Woollacott and Shumway-Cook, 2002) and developing Alzheimer's disease (AD) (Baddeley et al., 1991; MacPherson et al., 2007; Pettersson et al., 2005; Sala and Logie, 2001). However, no previous studies have examined whether reaction time response under a dual-task condition with cognitive

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://SciVerse.Sciencedirect.com)

## Neuroscience Letters

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/neulet](http://www.elsevier.com/locate/neulet)

# Kinesthetic perception based on integration of motor imagery and afferent inputs from antagonistic muscles with tendon vibration

E. Shibata<sup>a,b</sup>, F. Kaneko<sup>c,\*</sup><sup>a</sup> Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, West 17-South 1, Chuoh-ku, Sapporo city, Japan<sup>b</sup> Shinoro Orthopedic Hospital, Shinoro 4-5-3-9, Kita-ku, Sapporo city, Japan<sup>c</sup> Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17-South 1, Chuo-ku, Sapporo city, Japan

## H I G H L I G H T S

- ▶ Kinesthetic illusion disappeared with co-vibration to two antagonistic muscles.
- ▶ Disappeared kinesthetic illusion was reappeared when motor imagery was applied.
- ▶ Each afferent input from antagonistic muscles was integrated with motor imagery.
- ▶ Kinesthetic perception interacted with the velocity of the imagined movement.
- ▶ Kinesthetic perception interacted with the frequency of tendon vibration.

## A R T I C L E I N F O

## Article history:

Received 25 June 2012

Received in revised form 30 January 2013

Accepted 2 February 2013

## Keywords:

Muscle spindle

Afferent input

Motor imagery

Kinesthetic perception

Tendon vibration

## A B S T R A C T

The perceptual integration of afferent inputs from two antagonistic muscles, or the perceptual integration of afferent input and motor imagery are related to the generation of a kinesthetic sensation. However, it has not been clarified how, or indeed whether, a kinesthetic perception would be generated by motor imagery if afferent inputs from two antagonistic muscles were simultaneously induced by tendon vibration. The purpose of this study was to investigate how a kinesthetic perception would be generated by motor imagery during co-vibration of the two antagonistic muscles at the same frequency. Healthy subjects participated in this experiment. Illusory movement was evoked by tendon vibration. Next, the subjects imagined wrist flexion movement simultaneously with tendon vibration. Wrist flexor and extensor muscles were vibrated according to 4 patterns such that the difference between the two vibration frequencies was zero. After each trial, the perceived movement sensations were quantified on the basis of the velocity and direction of the ipsilateral hand-tracking movements. When the difference in frequency applied to the wrist flexor and the extensor was 0 Hz, no subjects perceived movements without motor imagery. However, during motor imagery, the flexion velocity of the perceived movement was higher than the flexion velocity without motor imagery. This study clarified that the afferent inputs from the muscle spindle interact with motor imagery, to evoke a kinesthetic perception, even when the difference in frequency applied to the wrist flexor and extensor was 0 Hz. Furthermore, the kinesthetic perception resulting from integrations of vibration and motor imagery increased depending on the vibration frequency to the two antagonistic muscles.

© 2013 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Afferent inputs from peripheral tissues, i.e., muscle spindle, or cutaneous, and efferent inputs before intentional movement from the central nervous system contribute to the generation of

kinesthetic perceptions. This study focused on the integration of afferent inputs from the muscle spindle and efferent inputs from the brain during motor imagery.

Goodwin et al. [5] reported that tendon vibration applied to a given biceps brachii in appropriate patterns evoked a kinesthetic illusion of elbow extension without any overt movement. Mainly Ia afferents from the muscle spindle primary endings were activated by the tendon vibration [8]; consequently, humans could experience a vivid kinesthetic illusion of limb movement in the direction which corresponded to stretch of the vibrated muscle. It is suggested that afferent inputs from the muscle spindle contribute

\* Corresponding author at: Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17-South 1, Chuo-ku, Sapporo city, Japan. Tel.: +81 11 611 2111; fax: +81 11 611 2143.

E-mail address: [f-kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f-kaneko@sapmed.ac.jp) (F. Kaneko).

## 原 著

デトレーニング期間中のメンタルプラクティスが  
未経験運動の短期的練習効果の維持に及ぼす影響岡和田愛実<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>2)</sup>, 柴田恵理子<sup>1)</sup>, 青木 信裕<sup>2)</sup>

キーワード：メンタルプラクティス、運動学習、剣道

## 緒 言

スポーツ選手やリハビリテーションを受けている患者は外傷や発熱などにより、ある一定期間、トレーニングを休止しなければならない状況が発生することがある。このようにトレーニングを一時的に休止、あるいは中止することをデトレーニングという<sup>1)</sup>。トレーニングによって変化した筋出力や運動耐容能などは、デトレーニングを行うことで、トレーニング前の状態に戻ると報告されている<sup>1,2)</sup>。さらに、これらの身体機能の低下に伴い、パフォーマンスも低下すると考える。

一方、身体運動を伴わずに身体機能やパフォーマンスを向上する方法として、メンタルプラクティスがある。メンタルプラクティスとは、技能習得を目的として、運動イメージを繰り返し実施することである<sup>3)</sup>。また運動イメージとは、実際の運動は伴わずにその運動をイメージすることで、内的に運動を再現する能動的な過程<sup>4)</sup>と定義されている。身体機能やパフォーマンスに対するメンタルプラクティスの効果に関して、Yueら<sup>5)</sup>は小指外転運動のメンタルプラクティスによって、筋肥大を伴わずに、小指外転筋の筋出力が向上したと報告した。さらに、Pascual-Leoneら<sup>6)</sup>はピアノ練習のメンタルプラクティスにより、ピアノのバ

フォーマンスが向上したと報告した。これらの報告から、メンタルプラクティスは繰り返し運動を内的に再現することによって、パフォーマンスの向上に寄与するということが示唆される。

このメンタルプラクティスをデトレーニング期間に行うことにより、習熟したパフォーマンスが維持されるということが近年報告されている<sup>7)</sup>。大場<sup>7)</sup>は、デトレーニング期間に行ったメンタルプラクティスがデトレーニング後のパフォーマンスに及ぼす影響を報告した。まず、被験者はダーツ投げを4週間練習した。その後、3週間のデトレーニング期間を設けた。その結果、デトレーニング期間にメンタルプラクティスを行った群では習熟したダーツ投げのパフォーマンスを維持することができたが、メンタルプラクティスを行わなかった群ではパフォーマンスが低下した。つまり、デトレーニング期間にメンタルプラクティスを行うことにより、長期間の練習によって向上したパフォーマンスが維持される可能性が示唆される。

一方、運動の鍛錬者と非鍛錬者ではメンタルプラクティスの効果が異なるということも報告されている<sup>8,9)</sup>。Clark<sup>8)</sup>はバスケットボールのフリースローにおいて、鍛錬者では実際に練習した群とメンタルプラクティスを行った群で同じ程度パフォーマンスが向上したと報告した。一方、非鍛錬者ではメンタルプラクティスを行った群よりも実際の練習を行った群のほうがパフォーマンスは向上した。そのため、非鍛錬者はメンタルプラクティスによる効果が得られない可能性があると報告した。また林ら<sup>9)</sup>は、剣道の鍛錬者と非鍛錬者を対象として、イメージする運動の習熟度が運動イメージの効果に及ぼす影響を検討した。その結果、剣道の面打ちの運動イメージ中に測定した運動誘発電位の振幅は、安静時と比較して鍛錬者では増大したが、非鍛錬者では変化がなかった。デトレーニング期間中

- 
- 1) 札幌医科大学大学院 保健医療学研究科  
(Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University)
- 2) 札幌医科大学 保健医療学部 理学療法第二講座  
(Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University)  
(〒060-8556 北海道札幌市中央区南1条西17丁目)

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://SciVerse.ScienceDirect.com)

## Neuroscience Letters

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/neulet](http://www.elsevier.com/locate/neulet)

# The effects of kinesthetic illusory sensation induced by a visual stimulus on the corticomotor excitability of the leg muscles

T. Aoyama<sup>a,b</sup>, F. Kaneko<sup>c,\*</sup>, T. Hayami<sup>c,d</sup>, E. Shibata<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, West 17–South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>b</sup> Department of Rehabilitation, IMS Itabashi Rehabilitation Hospital, Azusawa 3-11-1, Itabashi-ku, Tokyo, Japan

<sup>c</sup> Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, Second Division of Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17–South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>d</sup> Division of Health Science Education, School of General Education, Shinshu University, Asahi 3-1-1, Matsumoto City, Japan

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 20 October 2011

Received in revised form 17 February 2012

Accepted 18 February 2012

## Keywords:

Kinesthetic illusion

Visual stimulus

MEP

TMS

Lower limb

## ABSTRACT

A novel method of visual stimulus, reported by Kaneko et al. [14], induced a vivid kinesthetic illusion and increased the corticomotor excitability of the finger muscles without any overt movement. To explore the effect of this method on the lower limbs, motor evoked potentials (MEP) were recorded from the left tibialis anterior (TA) and soleus muscles using transcranial magnetic stimulation (TMS). A computer screen that showed the moving image of an ankle movement was placed over the subject's leg, and its position was modulated to induce an illusory sensation that the subject's own ankle was moving (illusion condition). TMS was delivered at rest and at two different times during the illusion condition (ankle dorsiflexion phase: illusion-DF; ankle plantarflexion phase: illusion-PF). The MEP amplitude of the TA, which is the agonist muscle for ankle dorsiflexion, was significantly increased during the illusion-DF condition. This indicated that the visual stimulus showing the moving image of an ankle movement could induce a kinesthetic illusion and selectively increase the corticomotor excitability in an agonist muscle for an illusion, as was previously reported for an upper limb. The MEP amplitude of the soleus, which is the agonist muscle for ankle plantarflexion, increased during the illusion-PF condition, but not significantly. Because of the vividness of the illusory sensation was significantly greater during the illusion-DF condition than the illusion-PF condition, we concluded that the vividness of the illusory sensation had a crucial role in increasing corticomotor excitability.

© 2012 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

It is well known that kinesthesia plays a crucial role in motor execution and motor learning [2,9,16,23–25]. Previous study has demonstrated that humans can experience vivid kinesthetic sensations of limb movement as a result of an external stimulus such as a proprioceptive or visual stimulus without any overt movement [1,6–8,11–15,17–21,26,27]. Tendon vibration, one of the most-investigated ways to induce kinesthetic illusions, increases muscle spindle activity, so that the subjects experience a kinesthetic sensation of the vibrated muscle being stretched [11,15,17–21]. A number of neuroimaging and TMS studies have revealed that vibration-induced kinesthetic illusions increase corticomotor excitability in a somatotopic manner [11,15,20]. On the other hand, a visual stimulus can also induce a kinesthetic illusion.

A pioneering study by Tardy-Gervet et al. [26,27] demonstrated segmentaryvection, which is the induction of a kinesthetic illusory sensation of forearm movement by means of a moving visual stimulus under the forearm. Kaneko et al. reported another novel method of visual stimulus in which a moving image of someone else's finger movement is shown on a computer screen above the subject's real hand [14]. Using this method, the vivid kinesthetic sensation of finger movement was induced, accompanied by increasing corticomotor excitability. Since, in contrast to a vibration-induced kinesthetic illusion, this visual stimulus should not excite directly muscle spindle afferents, the neurological mechanisms must be different between the two methods of inducing kinesthetic illusions. At the present time, however, little has been reported on the mechanisms underlying visual-stimulus-induced kinesthetic illusions, while vibration-induced kinesthetic illusions have been well investigated. In particular, it has not been clarified if a visual stimulus could induce a kinesthetic illusion in a lower limb accompanied by increased corticomotor excitability. Since upper limb movement has a strong relationship with visual input [10,14,22], there may be functional differences between the upper and lower limbs in visual motor coordination. Accordingly, it is uncertain whether a

\* Corresponding author at: Division of Applied Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17–South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan. Tel.: +81 11 611 2111; fax: +81 11 611 2143.

E-mail address: [f-kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f-kaneko@sapmed.ac.jp) (F. Kaneko).

## 投球動作における肩甲骨周囲筋群の筋活動特性 Electromyography Analysis of Scapular Muscles in Baseball Pitching

橘内基純<sup>1)</sup>, 金子文成<sup>2)</sup>, 福林徹<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, <sup>2)</sup> 札幌医科大学保健医療学部,

<sup>3)</sup> 早稲田大学スポーツ科学学術院

キーワード: 菱形筋, 肩甲骨周囲筋, 投球動作, ワイヤ筋電図

Key words: Rhomboid muscle, Scapular muscles, Pitching, Fine Wire Electromyography,

### 要約

本研究の目的は, 投球動作中の肩甲骨周囲筋群の筋活動特性を検討することとした。対象は, 肩関節に既往のない健常男子大学生 9 名とした。適切なウォーミングアップの後, 被験者はオーバーヘッドスローにて 10 球全力投球を行った。ピッチング相については, ハイスピードデジタルカメラを用いて分析し, 5 相を分析対象とした。対象筋は, ワイヤ筋電図にて, 大菱形筋, 小菱形筋, 棘上筋, 棘下筋, 表面電極にて, 僧帽筋上部/中部/下部, 前鋸筋を計測した。小菱形筋および大菱形筋はいずれも deceleration phase にて early cocking や late cocking phase よりも有意に高い筋活動であった ( $P < 0.05$ )。また, 前鋸筋は late cocking phase が early cocking や deceleration phase よりも有意に高い筋活動であった ( $P < 0.05$ )。これらの結果から, 大・小菱形筋, 前鋸筋などの肩甲骨周囲筋が投球動作中の肩関節や肩甲骨の安定性保持に貢献していることが示唆された。

スポーツ科学研究, 8, 166-175, 2011 年, 受付日: 2010 年 9 月 30 日, 受理日: 2011 年 5 月 31 日

連絡先: 橘内基純 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15 早稲田大学スポーツ科学研究科

TEL/Fax: 04-2947-6879 Mail: moto06@akane.waseda.jp

### I. 緒言

投球動作における肩甲骨および肩甲骨周囲筋群には, 肩関節の位置と円滑な動きを補助するという重要な役割を担っている。過去には, 多くの研究者が投球動作に関する研究成果を報告しているが, いずれにおいても肩甲骨周囲筋群, 特に肩甲骨周囲筋の重要性が述べられている。Kibler ら (1998) は投球動作中の肩甲骨運動の役割として, ①肩甲骨上腕関節の安定, ②胸郭上での内転・外転運動, ③インピンジメント症候群を防ぐための肩峰の挙上, の 3 点を上げている。また, Burkhart ら

(2003) も投球動作において過剰な関節運動をコントロールするために, 肩甲骨の位置とそれら周囲筋群の筋活動が重要であるとしている。一方, 肩甲骨位置および運動の破綻は, 投球障害肩への関与も大きく (Fleisig, et al. 1996, Paletta, et al. 1997), 障害予防の観点からも肩甲骨周囲筋の運動は円滑に行われる必要があるといえる。

しかし, これまでにその筋活動や筋機能特性について述べているものは少ない。多くは, Rotator cuff の活動や障害について述べている (Altchek and Dines 1995, Blevins 1997, Glousman

## 原著論文

## 肩関節外旋筋群の疲労が肩関節位置覚に及ぼす影響

飯田 尚哉<sup>1)</sup> 金子 文成<sup>2)</sup> 青木 信裕<sup>3)</sup> 榊 善成<sup>1)</sup>

キーワード：位置覚、筋疲労、肩関節外旋筋

## 1. 緒 言

位置覚は自己の四肢や身体の各部位の相対的位置関係を知る感覚と定義され<sup>1)</sup>、一般的に記憶した関節角度を再現する位置再現課題によって評価される<sup>2-4)</sup>。投球動作において、位置覚をはじめとする感覚機能は、障害を避けるために必要なものであるとされている<sup>5)</sup>。よって、位置覚の低下は投球障害肩と関連する可能性があると考えられる。

位置覚を低下させる要因の一つに筋疲労が挙げられる<sup>6-8)</sup>。Skinner et al.<sup>9)</sup>は等速性運動機器を用いて膝関節伸筋および屈曲筋を疲労させ、筋疲労前後で膝関節伸筋方向の位置覚を測定した。その結果、膝関節伸筋方向の位置覚は筋疲労後で有意に低下した。Wright et al.<sup>7)</sup>や Myers et al.<sup>8)</sup>は等速性運動機器を用いて、肩関節内旋筋および外旋筋を同時に疲労させ、筋疲労前後で肩関節内旋、外旋方向の位置覚を測定した。その結果、内旋、外旋方向ともに筋疲労後で位置覚が有意に低下した。これらのことから、筋疲労が位置覚を低下させるという一定の見解が得られている。

投球動作の反復により疲労しやすい筋として、肩関節外旋筋が挙げられる<sup>10)</sup>。投球動作中における外旋筋群の活動は、減速期に特に大きくなると報告されている<sup>11)</sup>。減速期はボールリリース直後から肩関節最大内旋位に至るまでの局面を指し、ここでは内旋運動の急激な減速が生じる<sup>12)</sup>。内旋運動を急激に減速させるた

め、外旋筋群は遠心性収縮による制動を行うとされる<sup>13)</sup>。投球動作の反復による遠心性収縮の繰り返により、外旋筋群は疲労し、さらには損傷しやすいと考えられている<sup>14)</sup>。金子ら<sup>10)</sup>は投球時に肩関節痛のある野球投手の肩関節内旋および外旋筋の等速性筋力を測定し、健常野球選手と比較して外旋筋力が有意に低下していたと報告した。これらのことから、外旋筋群の機能は投球障害肩と関連があると考えられる。

これらの先行研究を踏まえ、筋疲労が位置覚を低下させ、不良な動作を招き、障害を導くという1つのプロセスがあるのではないかと考えた。しかし、位置覚を測定した先行研究では、投球障害肩と関連があると考えられる外旋筋群を単独で疲労させているものはない。また、不良な投球動作である「肘下がり」と関連が深いと考えられる肩関節外転方向の位置覚を単独の筋の疲労前後で比較しているものはない。以上の2点を同時に考慮した研究デザインは独自性、新規性の高いものであると考える。

したがって、本研究では肩関節外旋筋群の選択的な疲労が肩関節外転、内旋、外旋方向の位置覚にどのような影響を与えるか検証することを目的とした。

## 2. 方 法

## 2-1. 対象

対象は肩関節に整形外科的、神経学的既往がない男子大学生10名(年齢 $20.9 \pm 1.9$ 歳、身長 $171.1 \pm 7.4$ cm、体重 $66.4 \pm 7.2$ kg)とし、利き腕側を測定した。利き腕は全員が右側であった。また、野球選手において、非利き腕側より利き腕側の運動覚が低下しているとの報告があるため<sup>15)</sup>、野球経験の有無により位置覚にも

1) 札幌医科大学大学院 保健医療学研究科

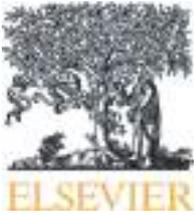
2) 札幌医科大学 臨床理学療法学講座

〒060-8556

北海道札幌市中央区南1条西17丁目 札幌医科大学

電話：011-611-2111 (内線2974)

E-mail：n-iida@sapmed.ac.jp

available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)[www.elsevier.com/locate/brainres](http://www.elsevier.com/locate/brainres)
**BRAIN  
RESEARCH**

## Research Report

# The effect of motor imagery on gain modulation of the spinal reflex

T. Aoyama<sup>a</sup>, F. Kaneko<sup>b,c,\*</sup>

<sup>a</sup>Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, West 17, South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>b</sup>Laboratory of Sensory Motor Science and Sports Neuroscience, Division of Applied Physical Therapy, Sapporo Medical University, West 17, South 1, Chuo-ku, Sapporo City, Japan

<sup>c</sup>Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 1-1-1 Higashi, Tsukuba City, Japan

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Accepted 8 November 2010

Available online 20 November 2010

#### Keywords:

Motor imagery

Stretch reflex

H-reflex

### ABSTRACT

Motor imagery is well known to have a facilitatory effect on the corticospinal tract, but conflicting opinions have arisen concerning its effect on spinal reflex excitability. The purpose of this study was to clarify the effects of motor imagery on gain modulation of the spinal reflex by focusing on the physiological differences between the H-reflex and the stretch reflex. In experiment 1, there were three conditions: rest, motor imagery of ankle dorsiflexion (MI-DF), and motor imagery of ankle plantarflexion (MI-PF). The subjects were instructed to imagine 100% maximum voluntary isometric contraction (MI-100) in each direction of movement. To examine the effects of the imagined effort level on spinal reflex excitability, the subjects also imagined 50% maximum voluntary contraction (MI-50) in experiment 2. The soleus H-reflex and the stretch reflex amplitude and background EMG (bEMG) activity were measured. There were no significant differences in bEMG activity between the H-reflex and stretch reflex measurements. In experiment 1, although the H-reflex amplitude did not change significantly among the three conditions, the stretch reflex amplitude increased significantly under the MI-DF and MI-PF conditions compared to the rest condition. In addition, the stretch reflex amplitude under the MI-100 condition was significantly larger than that under the MI-50 condition in experiment 2. These results indicate that motor imagery has a selective facilitatory effect on stretch reflex pathways. Furthermore, this excitability change may occur in untargeted antagonist muscles as well as targeted agonist muscles and may depend on the imagined effort level.

© 2010 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

A number of studies have revealed that motor imagery facilitates the excitability of both the motor cortex (Porro et al., 1996; Roland et al., 1980; Roth et al., 1996; Stephan et al., 1995) and the corticospinal tract (Fadiga et al., 1999; Hashimoto and Rothwell, 1999; Kasai et al., 1997; Kiers et al., 1997). However,

conflicting opinions have arisen concerning the excitability of the spinal reflex pathways during motor imagery. Yahagi et al. have reported that the H-reflex amplitude did not change while the MEP amplitude was significantly increased during motor imagery (Yahagi et al., 1996). They concluded that the excitability change occurred mainly at the cortical, not the spinal level. This interpretation is compatible with studies that have used

\* Corresponding author. Fax: +81 11 611 2143.

E-mail address: [f-kaneko@sapmed.ac.jp](mailto:f-kaneko@sapmed.ac.jp) (F. Kaneko).

## 肩関節外転運動における菱形筋を中心とした 肩甲骨周囲筋群の筋活動特性

橋内基純<sup>1†</sup>, 金子文成<sup>2,3</sup>, 青山敏之<sup>4</sup>, 戸田創<sup>1</sup>, 福林徹<sup>5</sup>

<sup>1</sup>早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, <sup>2</sup>札幌医科大学保健医療学部理学療法学科,

<sup>3</sup>独立行政法人産業総合技術研究所人間福祉医工学研究部門,

<sup>4</sup>札幌医科大学大学院保健医療学研究科, <sup>5</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院

**要旨** 本研究では、菱形筋を中心とした肩関節外転運動における肩甲骨周囲筋群の筋活動量の変化を検討することを目的とした。対象は肩関節に既往のない健康男子大学生6名とし、肩関節外転運動時の大・小菱形筋の筋活動をワイヤ電極により、前鋸筋、僧帽筋中部線維の筋活動を表面電極により計測した。この結果、小菱形筋と大菱形筋間において筋活動量に差異が認められるとともに、小菱形筋と前鋸筋の2筋は負荷の増加に伴って筋活動量が増加する傾向が見られた。よって、小菱形筋と前鋸筋は負荷依存的に活動することが考えられ、肩関節外転運動に伴う肩甲骨周囲筋群の運動は肩甲骨周囲筋群の協調運動により遂行されている可能性が示唆された。

**キーワード**: 菱形筋, 僧帽筋, 肩甲骨周囲筋群, ワイヤ電極, オーバーヘッドスポーツ

### 1. はじめに

肩甲骨周囲筋群は機能的関節といわれ、骨構造のような構造的関節とは異なり、その運動における安定性は構築学的ではなく、周囲筋の協調による力学的作用によりもたらされる。例えば、肩関節外転運動では肩甲骨の上方回旋、外転、及び後傾が付随するが、これらのような複合運動を円滑に遂行するためには、僧帽筋や前鋸筋、大・小菱形筋、肩甲挙筋などの肩甲骨周囲筋群の協調した活動によって発生するForce Couple (偶力) が重要な働きをしているとされる。

野球やテニスといったオーバーヘッドスポーツにおいて、肩関節及び肩甲骨運動はパフォーマンス

ス<sup>1-3)</sup>や障害予防<sup>4,5)</sup>といった観点からも重要な役割を担う身体機能である。特に、野球の投手やテニスのサービス動作では、肩甲骨周囲筋群と肩甲骨周囲筋群により大きな可動域での高速度運動が可能となり、関節部における回旋速度や力を生み出すと言われている<sup>2)</sup>。しかし、肩関節障害の発生により、肩甲骨運動は異常をきたすことが報告されている<sup>6)</sup>。このときの筋活動を見てみると、肩甲骨運動のための偶力を生成する僧帽筋と前鋸筋間との筋活動の量的バランスが正常な場合と異なることがLudewig et al<sup>7)</sup>やKibler et al<sup>8)</sup>により述べられている。従って、オーバーヘッド動作による肩関節機能障害を予防および治療するためには、肩甲骨運動の詳細なメカニズムをより深く理解し、その知見からエクササイズ方法などを構築することが必要であると考え

## 運動平衡保持課題による受動負荷の漸増と漸減局面における 下肢運動調節の評価

速水達也<sup>1,2)</sup> 金子文成<sup>3)</sup>  
横井孝志<sup>4)</sup> 木塚朝博<sup>1)</sup>

### EVALUATION OF THE MOTOR CONTROL IN AN ASCENDING PHASE AND A DESCENDING PHASE OF THE PASSIVE FORCE ON THE BASIS OF KINETIC-EQUILIBRATING TASK

TATSUYA HAYAMI, FUMINARI KANEKO,  
TAKASHI YOKOI and TOMOHIRO KIZUKA

#### Abstract

The purpose of this study was to compare the motor control against the passive force between an ascend phase (AP) and a descend phase (DP), and to investigate the effect of a subject's athletic experience on it. Thirty-four subjects participated in the experiment, and they were classified into an athlete group and a control group. We used a kinetic-equilibrating (K-E) task. Result of K-E task depends on the kinesthesia, because subjects are required to maintain their balance against a passive force under conditions of limited visual and aural feedbacks. Therefore, subjects were instructed to resist the passive force. Their performance was evaluated using parameters such as absolute error, position fluctuation, and variable error that were calculated from position data. Significantly higher values on DP than AP for each parameter in the control group were found. However, the values of both AP and DP were similar in the athlete group. It was suggested that the athlete group could perform the same level of motor control against passive force between AP and DP, although it was more difficult in DP than in AP for the control group.

(*Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 2010, **59**: 207-214)

**key word**: motor control, kinesthesia, phase of force production, athletic experience

#### 1. はじめに

身体運動には、運動中にフィードバックされる感覚情報に基づいて運動を調節する場面が多く見受けられる。例えば、一定の姿勢を保持する場合やコップに入った水をこぼさずに運ぶ場合などがそれにあたり、制御理論的にはclosed loop制御に該当する<sup>1)</sup>。感覚情報を必要とせず、予めプログラムされた運動

指令を遂行するopen loop制御とは異なり、closed loop制御による運動調節においては感覚情報が重要な役割を果たす<sup>1)</sup>。特に、対象物を目視しない、あるいはできない場合のように、視覚に依存せず運動を調節する場合には、筋紡錘、ゴルジ腱器官、関節受容器、皮膚受容器などの体性感覚受容器からの求心性入力によって形成される運動感覚(kinesthesia)が主として関与する。運動感覚とは、ヒトが発揮し

<sup>1)</sup>筑波大学大学院人間総合科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

<sup>2)</sup>札幌医科大学保健医療学部理学療法学科  
〒060-8356 北海道札幌市中央区南1条西17丁目

<sup>3)</sup>札幌医科大学保健医療学部基礎理学療法学講座  
〒060-8356 北海道札幌市中央区南1条西17丁目

<sup>4)</sup>産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門  
〒305-8566 茨城県つくば市東1-1-1

Doctoral Program of Health and Sports Science, University of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, JAPAN

Department of Physical Therapy, School of Health Science, Sapporo  
Medical University

South1, West17, Chuo-ku, Sapporo, 060-8356, JAPAN

Department of Physical Therapeutic Science, School of Health Sciences,  
Sapporo Medical University

South1, West17, Chuo-ku, Sapporo, 060-8556, JAPAN

Institute for Human Sciences and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, JAPAN

# Effect of joint position on the electromyographic activity of the semitendinosus muscle

J. Kubota<sup>1</sup>, F. Kaneko<sup>2,3</sup>, M. Shimada<sup>2</sup>, S. Torii<sup>4</sup>, T. Fukubayashi<sup>4</sup>

## Abstract

The semitendinosus (ST) muscle has a tendinous intersection within the muscle belly that separates the ST muscle into distinct proximal and distal compartments. Thus far, no study has compared the electromyographic (EMG) activities between the proximal and distal compartments of the human ST muscle. This study aimed to investigate the intramuscular EMG activity patterns of the proximal and distal compartments of the ST muscle by altering the hip and knee joint positions. The study population comprised eight healthy male volunteers. They performed ramp isometric knee flexion tasks from the relaxed state to the maximal voluntary contraction (MVC) state with (1) the hip and knee at 90° and 0°, respectively (90-0 position), (2) both the hip and knee at 0° (0-0 position), and (3) the hip and knee at 0° and 90°, respectively (0-90 position). Fine-wire electrodes were inserted into the proximal and distal compartments of the ST muscle and the individual EMG activities were recorded. In the 90-0 position, the EMG activity of the distal compartment was higher than that of the proximal compartment at 60%, 80%, and 90% MVC. Moreover, in the 0-90 position, the EMG activity of the proximal compartment was higher than that of the distal compartment at 60% MVC. These results indicated that the lengthened or shortened muscle conditions induced regional differences in the EMG activity patterns, while the two compartments showed equivalent activity when the muscle length was moderate.

**Keywords:** Fine-wire electrode - Intramuscular electromyography - Semitendinosus muscle

## Introduction

The hamstring muscle group comprises four muscles: the semitendinosus (ST), semimembranosus (SM), biceps femoris long head (BFL), and biceps femoris short head muscles. These muscles function during intense bursts of speed because the primary role of the hamstring muscles is locomotion rather than postural control. The hamstring muscles contract forcefully and repeatedly, and their activities

predominantly depend on the fitness of individuals (5). Therefore, the hamstring muscles are one of the significant contributors to a superior athletic performance. On the other hand, acute muscle strain in the hamstring muscles is a common injury observed in many sports involving sprinting, jumping, or kicking (2, 6).

Among the hamstring muscles, the ST muscle has unique architectural characteristics. The ST muscle has a tendinous intersection (TI) within the muscle belly that separate the muscle into distinct proximal and distal compartments (7, 10, 12). The two compartments are innervated by two branches of the tibial part of the sciatic nerve that are inserted into the proximal and distal compartments of the TI (12). A previous study investigated the electromyographic (EMG) activity patterns of the proximal and distal

<sup>1</sup> Sport Science Research Center, Waseda University, Japan.

<sup>2</sup> Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan.

<sup>3</sup> School of Health Science, Sapporo Medical University School of Medicine, Japan.

<sup>4</sup> Faculty of Sport Sciences, Waseda University, Japan.

研究論文

# 能動的知覚に応じて出力する運動課題実施成績の 評価指標に関する研究\*

—反復練習効果の検出から—

金子文成<sup>1)2)\*</sup> 速水達也<sup>3)</sup> 横井孝志<sup>1)</sup> 木塚朝博<sup>3)</sup>

要旨

【目的】本研究では、今回考案した運動感覚の能動的知覚に応じて運動出力する運動負荷方法である運動平衡保持 (K-E) 法による練習介入を行い、我々が設定する変数が、練習介入の結果として生じる機能的変化を検出できるかどうかを明らかにする。また、従来からの運動感覚機能評価法である再現法による検査成績と K-E 法による検査成績との関係から、K-E 法の検査成績が、再現法によって評価される機能と関連しているのかどうかを明らかにする。【方法】健康な成人男性に対して、K-E 法による練習を2日間反復させ、その前後に K-E 法および再現法による検査を実施した。運動は膝関節伸展方向とした。【結果】K-E 法では、練習後の検査成績が有意に向上しており、設定した変数が運動感覚および運動出力の機能的変化を検出していることが示唆された。また、K-E 法の検査成績と再現法の検査成績との間には、相関を認める変数の組み合わせが複数あった。【結論】以上のことから、我々が設定した変数は、K-E 課題の成績を示す指標として妥当であるものと考えた。また、K-E 法の成績は再現法の成績が反映する機能と独立ではなく、それらの機能と係わりがある可能性が示唆された。

キーワード 運動感覚, 体性感覚, 能動的知覚 (ハプティクス)

はじめに

“運動感覚 (kinesthesia)” という用語は Bastian (1888) が採用した言葉で、皮膚、筋やその他の深部器官 (腱、関節など) からもたらされる “印象 (impressions)” を示すものであった。現在では、運動感覚および固有感覚 (proprioception) は、複数の感覚を包含する意味で使用される。それは、①関節位置および四肢または体幹の動きなどの感覚 (kinesthetic sense ; 位置覚,

運動覚), ②努力感, 筋の張力, 重量そしてスティフネスなど筋の力に関連した感覚 (sense of effort もしくは sense of heaviness ; 力覚), ③筋収縮のタイミングに関する感覚, ④姿勢および身体図式の大きさの感覚, の4つである<sup>1)</sup>。“運動感覚信号 (kinesthetic signal)” という用語には、末梢の筋, 腱, 関節周囲, 皮膚などに数多く存在する受容器からの入力だけでなく、同様に中枢からの運動指令入力 [efference copy (遠心性コピー), corollary discharge (随伴放電)]<sup>2)3)</sup> も含まれる。運動感覚が運動出力に果たす役割に関する諸家の報告では、感覚を遮断する方法が多く用いられ、感覚遮断の影響として以下のようにまとめられる<sup>4)5)</sup>。①単純な筋出力や関節運動は可能である。②複数関節間の非協調が起こる。③運動方向, 手の予期成形 (preshaping) などの正確性が低下する。④歩行は可能であるが、不規則で非協調となる。⑤運動中の環境への適応が障害される。これらのことから、運動感覚が運動パフォーマンス (運動の正確さ, 求められる技能の高さ, 運動成績, などを含む) に影響することは明らかである。したがって、運動機能の向上を目的とした理学療法において、どのように運動感覚と運動出力とを統合した機能 (体性感覚-運動連関)

\* Research on Examination Indicator of Motor Performance Corresponding to the Active Kinesthetic Perception from the Viewpoint of Detection of Repetitive Practice Effect

1) 独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉工学研究部門  
Fuminari Kaneko, RPT, PhD, Takashi Yokoi, PhD: Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

2) 北海道公立大学法人札幌医科大学 保健医療学部 理学療法学科  
(〒060-8556 札幌市南1条西17丁目)  
Fuminari Kaneko, RPT, PhD: Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

3) 筑波大学大学院 人間総合科学研究科  
Tatsuya Higami, MS, Tomohiro Kizuka, PhD: Health and Sport Sciences, Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

\* E-mail: fkaneko@supmed.ac.jp  
(受付日 2007年8月20日 / 受理日 2008年11月14日)

原 著

## 長時間歩行時の下肢筋の活動状態： $^{18}\text{F}$ fluorodeoxyglucoseを用いた Positron Emission Tomographyによる検討\*

島田裕之<sup>1)‡</sup> 石渡喜一<sup>2)</sup> 金子文成<sup>3)</sup>  
古名丈人<sup>3)</sup> 鈴木隆雄<sup>1)</sup>

### 要旨

本研究の目的は、成人と高齢者の長時間歩行時の下肢筋活動を、 $^{18}\text{F}$ fluorodeoxyglucose を使用した Positron Emission Tomography (FDG-PET) によるグルコース代謝評価から分析し、歩行時に主要な働きをする筋を明らかにすることである。対象は成人男性10名(平均年齢 $24.1 \pm 2.1$ 歳)と高齢者男性6名(平均年齢 $75.5 \pm 2.1$ 歳)であり、50分間のトレッドミル歩行を実施し、FDG-PET撮影を行った。関心領域(regions of interest: ROI)は、PET画像上、筋の同定が可能であった股関節、膝関節、足関節の屈曲、伸展、外転の主動作筋を対象とし、各ROIにおける糖代謝は標準化集積値(standardized uptake value, SUV)を用いて評価した。各関節運動に関与する筋群間でFDG取り込み量のSUVを比較すると、成人の平均値では股関節外転筋群、足関節底屈筋群、足関節背屈筋群のSUVが有意に高く、高齢者では、股関節外転筋群が顕著に高値を示し、股関節屈曲、膝関節伸展、足関節底屈筋群間に有意差を認めた。両群ともに有意に高いSUVを示した股関節外転筋群では、成人では小殿筋が中殿筋の約3倍の値を示し有意に高値を示した。一方、高齢者では小殿筋と中殿筋間に有意差を認めず、大殿筋を含む股関節周囲筋群全般にわたる高い糖代謝が観察された。また、成人で高値を示した足関節底屈筋群は、高齢者では低いSUVを示した。以上の結果から、長時間の歩行遂行には、股関節外転筋群が重要な役割を果たし、高齢者では足関節底屈筋群の活動が相対的に低く、これらの筋群に着目した理学療法が歩行持久性を向上させる効果的な介入方法となり得る可能性が示唆された。

キーワード PET, 糖代謝, FDG

### 結 言

歩行障害は日常生活に支障をきたす主要な要因であり<sup>1)</sup>、歩行障害の機能的改善を目指す介入手段として、理学療法は重要な役割を担っている。そのため、理学療法分野において歩行のメカニズムや介入手段を検討した

研究が盛んに行われてきた。歩行機能の分析や理学療法の対象として、速度、安定性、効率性、持久性といった側面からのアプローチがなされるが、地域社会で日常生活を営む上では速度性や安定性に加えて効率性や持久性が要求される。歩行は高度に最適化された動作であり、特別なフィードバックがない場合には、仕事量、時間、エネルギーといった観点から最適な状態を自己選択して行動する。たとえば、自己最適化された歩幅や歩行率を変化させるとエネルギー消費は急激に上昇する<sup>2)3)</sup>。持久的運動を行う際に、エネルギーの経済性を高めることは重要であり、低い酸素需要で運動を行えることが望ましい。ただし、酸素需要より神経筋系の疲労を最小にする必要性のほうが高いことも指摘されている<sup>4)5)</sup>。そのため、歩行持久性を筋の累積的活動の側面から検討することは重要であると考えられる。

歩行時の筋活動の分析には、主として筋電図が用いられ、歩行遂行に重要な役割を担っている筋が同定されて

\* Activation of Lower-Extremity Muscles during Walking: A Study of Positron Emission Tomography Using  $^{18}\text{F}$ fluorodeoxyglucose

1) 東京都老人総合研究所  
(〒173-0015 東京都板橋区栄町35-2)

Hiroyuki Shimada, RPT, PhD, Takao Suzuki, MD, PhD, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology

2) 東京都老人総合研究所ポジトロン医学研究施設  
Kiichi Ishiwata, PhD, Positron Medical Center, Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology

3) 札幌医科大学保健医療学部理学療法学科  
Fuminari Kaneko, RPT, PhD, Taketo Furuta, RPT, Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University

† E-mail: shimada@smigr.or.jp

(受付日 2008年2月10日 / 受理日 2008年6月21日)

## 膝関節の方向依存的安定性に寄与する筋の筋電図学的探索

金子 文成<sup>\*1,2</sup> 浅井 義之<sup>\*3</sup> 青木 信裕<sup>\*4</sup> 瀧水 達也<sup>\*5</sup> 金森 章浩<sup>\*6</sup>

Knee muscle activity that is dependent on the direction of passive resistance against the knee joint.

Fuminari KANEKO, PhD., PT., Yoshiyuki ASAI, PhD., Nobuhiro AOKI, Tatsuya HAYAMI, Akihiro KANAMORI, PhD., MD.

### Abstract

The present research investigated the direction in which a particular muscle worked markedly against a force applied at various directions on the knee joint.

Ten healthy young men participated in the present study. The subject sat in the front of a haptic device for motor learning that we produced, called "KINESTAGE". One foot was fixed on the foot-plate, and the subject was instructed to produce a certain muscular output to maintain the established foot position following force sense and position sense while the machine applied specified target forces to the foot at various direction. The resistance was applied as a trapezoid shape, with the force being gradually increased at 6N per second. The peak force level was set at 42N for 2 seconds. Passive force was applied to the subject's foot from eight directions [from anterior to posterior (A-P), anterolateral to posteromedial (AL-PM), lateral to medial (L-M), posterolateral to anteromedial (PL-AM), posterior to anterior (P-A), posteromedial to anterolateral (PM-AL), medial to lateral (M-L), anteromedial to posterolateral (AM-PL)]. Bipolar surface electromyographic (EMG) activities in 7 muscles were recorded.

Rectus Femoris recorded during ALPM and AMPL tasks was significantly larger than that recorded during another task. In the vastus medialis and lateralis, EMG was significantly increased in the A-P direction. Not only P-A, PM-AL, PL-AM, but also the M-L and L-M tasks increased EMG in the hamstring muscles. The preferred direction to increase EMG in the gastrocnemius was AM-PL.

These findings suggest that the examined muscles in the present study have a functional difference depending on the direction from which force is applied from the outside.

Key words: Knee joint, Electromyography, Passive resistance.

\*1 札幌医科大学 保健医療学部理学療法学科  
〒060-8556 札幌市中央区南1条西17丁目

\*2 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門  
〒305-8566 茨城県つくば市東1-1-1

(4)

## 運動経験による体性感覚—運動関連機能の相違

速水達也<sup>1†</sup>, 金子文成<sup>2</sup>, 木塚朝博<sup>1</sup>

<sup>1</sup>筑波大学人間総合科学研究科, <sup>2</sup>産業技術総合研究所

**要旨** 本研究では, 体性感覚入力に基づく運動出力調節機能を体性感覚—運動関連機能と定義し, 運動経験による体性感覚—運動関連機能の違いを明らかにすることを目的とした。対象者を運動経験の差によって運動群と一般群とに分類した。体性感覚—運動関連機能の測定には, 運動平衡保持法と再現法を用いた。その結果, 運動群は一般群に比して運動平衡保持法の測定結果において有意に優れていた。また, 運動平衡保持法の測定結果には, 関節角度の正確な知覚と, 安定性の高い力発揮が関係していることが認められた。これらのことから, 運動の継続や長期の身体トレーニングを行っている者は体性感覚—運動関連機能に優れ, その背景には体性感覚機能と運動出力機能の向上が関係していることが考えられた。

**キーワード**: 体性感覚, 運動経験, 体性感覚—運動関連機能, 運動平衡保持法, 再現法

### 1. はじめに

われわれは視覚などの特殊感覚に依存することなく, 体性感覚によってある程度身体各部位の相対的位置関係や発揮している筋出力を把握することができる。体性感覚とは, 皮膚, 粘膜, 筋, 腱, 骨膜, 関節囊, 靭帯などからの求心性入力である感覚情報が中枢に伝えられて生じる感覚の総称である<sup>1)</sup>。中でも筋紡錘, ゴルジ腱器官, ルフィニ終末, パチニ小体といった体性感覚受容器は筋や腱の伸張, 関節角度変化に応じて興奮し, これらの体性感覚情報によって生じる統合的な感覚は運動感覚 (kinesthesia)<sup>2)</sup>などとも呼ばれる。

スポーツ場面において, 運動感覚を生じさせる体性感覚情報は正確なフォームの獲得や最適なパフォーマンスの実現のために利用される。そしてそのような状況下では, 体性感覚情報の正確な知覚に基づ

いた, 安定性の高い運動出力調節が要求される場面が多々あると考えられる。本研究では, このような体性感覚機能と運動出力機能が連関した機能を体性感覚—運動関連機能と定義する。

体性感覚—運動関連機能の新たな測定法として運動平衡保持 (Kinetic-Equilibrating: K-E) 法が開発された<sup>3)</sup>。K-E法は, 装置から加えられる多様に変化する力 (目標値) を, 視覚などの特殊感覚に依存せず体性感覚を利用することで知覚し, 目標値との釣り合いを保つように筋出力を行うことを運動課題とした測定法である。そして, 装置から加えられる力と対象者が発揮した力との均衡の程度を反映した結果として, 身体部位の位置と発揮している力が計測される。金子ら<sup>4)</sup>は, K-E法を用いた運動学習を行い, K-E法の測定結果が向上したことに加え, 自らの知覚体験の反復によって一定の力発揮を複数回行う場合のばらつきが減少することを明らかにした。この運動学習を運動経験と捉えるならば, 体性

# 肩関節外旋筋群の疲労が 肩関節へ与える力学的変化に関する研究 — preliminary study —

Fatigue of the shoulder external rotators affects shoulder joint force produced during pitching — preliminary study —

車谷 洋\*<sup>1</sup>, 村上恒二\*<sup>1</sup>, 金子文成\*<sup>2</sup>, 山崎和博\*<sup>1</sup>

キー・ワード：Shoulder joint, Kinetics, External rotator muscle group

肩関節, 運動力学, 外旋筋群

【要旨】 肩関節外旋筋群の疲労が投球時の肩関節へ力学的影響を与えるのかを明らかにするための予備的研究を行った。対象は大学野球選手2名とした。両対象に肩関節外旋筋群疲労前および疲労後に直球の全力投球を行わせた。肩関節外旋筋群疲労前および疲労後の投球動作を三次元動作解析し、肩関節の剪断力および圧迫力を算出し、個人内で比較した。結果、両対象共に、フォロースルー期の肩関節前方剪断力が肩関節外旋筋群の疲労前に比して疲労後で有意に増加した。その他の肩関節力には有意な変化はなかった。

以上より、肩関節外旋筋群の疲労は肩関節前方剪断力に影響を与えること、及び肩関節外旋筋群は運動力学的側面から肩関節前方制動作用を有しているものと考えられた。

## はじめに

投球障害の要因には、投球動作に起因するもの、または関節など局所に起因するものなどがある。

投球動作自体に起因するものとしては、下肢から生じる運動連鎖の破綻が要因の1つであるといわれている<sup>1-3)</sup>。

局所的問題としては筋機能低下など、機能的側面の低下が挙げられる<sup>4,5)</sup>。杉山ほか<sup>4)</sup>は、200球の連続投球を行った際の肩関節外旋筋群および内旋筋群の等速性筋力の変化を調査し、肩関節外旋筋群は投球数が100球までは等速性筋力は低下し、100球以降では等速性筋力はプラトーな状態であったと報告している。また、金子ほか<sup>5)</sup>は、

肩関節投球時痛を有する野球選手の肩関節外旋筋力、内旋筋力を調査し、健常野球選手に比して肩関節外旋筋/内旋筋力比が有意に低下していたと報告している。これは肩関節内旋筋力に対して外旋筋力が相対的に低下していることを示している。これらから、肩関節外旋筋群は連続投球によって筋疲労が生じる筋であり、さらに、肩関節外旋筋群の筋疲労により生じる筋機能低下が投球障害に関係する可能性があると考えられる。

健常野球選手の投球動作中の肩関節に関する報告は散見される<sup>2,6-9)</sup>。

筋電図を用いた報告において、DiGiovineほか<sup>6)</sup>は、投球時の肩関節周囲筋の活動を筋電図にて捉え、肩関節外旋筋群である棘下筋および小円筋は投球動作のLate cocking phase (以下、コッキング期)および小円筋はDeceleration phase (以下、減速期)にて筋活動が高くなっていると報告している。すなわち、肩関節外旋筋群はコッキ

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院保健学研究科

\*<sup>2</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医学研究部門

## 表面筋電図振幅値の平均変動度を指標とした脳卒中片麻痺の 上肢到達運動に関する解析

澤田 辰徳<sup>1,3)</sup> 金子 文成<sup>2)</sup> 村上 恒二<sup>3)</sup>

**要旨** 本研究の目的は片麻痺患者の麻痺側上肢到達運動の特徴を表面筋電図による平均振幅変動度によって明らかにし、その特徴と臨床で運動機能として評価されるスコアとの関係について検討することである。対象は左片麻痺患者 15 名(片麻痺群)、健康な成人 12 名(対照群)とし、到達運動を断続的に 10 試技行わせた。筋電図を大胸筋、三角筋(前部・中部・後部線維)、上腕二頭筋、上腕三頭筋から記録した。平均振幅変動度は 10 試技における整流平滑化した波形の標準偏差平均値(nARV-SDave: normalized Average Rectified Value-SD average)とした。nARV-SDave は対照群と片麻痺群間で有意差がなかった。片麻痺群の nARV-SDave と臨床評価との間では、三角筋前部・後部線維、上腕三頭筋に強い負の相関を認めた。本研究により片麻痺の上肢運動機能低下に並行して筋活動の変動の増大が起こることが示唆された。

### はじめに

日常生活において対象物へ手を伸ばす運動(到達運動)を行うことは多い。脳卒中後の運動麻痺は到達運動を困難にするため、患者の円滑な日常生活活動が阻害される。

片麻痺症例の上肢到達運動については様々な側面からの研究がなされてきた。キネマティクス研究では、3次元動作解析により到達運動中の肩関節および肘関節の角度変化、速度、運動時間、関節協調等を捉えている。これらの研究結果から、片麻痺症例群は健常群と比較して、到達運動中の軌跡の変動が激しいこと、動作時間が延長すること、肩関節および肘関節の角度変化が少ないこと等が示された<sup>1,4,5)</sup>。また、片麻痺症例の到達運動中の肩関節角度変化と肘関節角度変化との関係が特異的な様相を呈し、その様相は障害の重症度と関係することが示された<sup>6)</sup>。これらキネマティク

ス研究で示された変動の増大は、片麻痺症例が複数回反復して到達運動を行う際に、その運動を安定して再現できないことを示す。言い換えると、片麻痺症例群は反復した上肢到達運動が不安定になるため、その運動軌跡が大きく変動するということである。それでは、この反復する運動の不安定さの原因は、筋活動動態の変動の大きさに起因すると考えることができるのだろうか。片麻痺症例の運動に関する表面筋電図(sEMG)による研究では、諸家らが片麻痺症例の上肢運動機能を阻害する一因として、主動筋と拮抗筋の同時収縮があると報告した<sup>7)</sup>。一方で、片麻痺症例における運動障害の原因は主動筋と拮抗筋によるという根拠はないという報告もある<sup>8)</sup>。さらに Canning らは片麻痺症例に麻痺側肘関節の屈曲、伸展運動を行わせ、移動する対象物を追従させたところ、障害の重さに依存して上腕二頭筋の過緊張が認められたことを報告した<sup>9)</sup>。Dewald らは片麻痺症例に等尺性運動を行わせた結果、肩関節、肘関節の運動に関与する筋は共同運動に類似した筋活動動態を示したことを報告した<sup>10)</sup>。このように sEMG による研究では、運動に関わる筋群間

1) 聖隷クリストファー大学リハビリテーション学部

2) 産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門

3) 広島大学大学院保健学研究科

受付日: 2005 年 7 月 25 日

採択日: 2006 年 11 月 8 日

## KINESTHETIC ILLUSORY FEELING INDUCED BY A FINGER MOVEMENT MOVIE EFFECTS ON CORTICOMOTOR EXCITABILITY

F. KANEKO,<sup>a\*</sup> T. YASOJIMA<sup>a</sup> AND T. KIZUKA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 1-1-1 Higashi, Tsukuba City, Ibaraki 305-8566, Japan*

<sup>b</sup>*Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba City, Ibaraki 305-8574, Japan*

**Abstract**—The present study aimed to clarify whether a kinesthetic illusion arises in our experimental condition (visual stimulus) and whether corticomotor excitability changes in parallel with the kinesthetic illusion. The visual stimulus was a movie in which someone else's limb was being moved. The computer screen showing the movie was installed at an appropriate portion of the subject's forearm, so that the performer's hand appeared as if it were the subject's hand (illusion). The experience of kinesthetic illusion under this condition was verified by interview using a visual analog scale. Healthy male subjects participated in this experiment. Transcranial magnetic stimulation was applied to induce motor-evoked potential (MEP) from the first dorsal interosseous and abductor digiti minimi muscle. Each subject was instructed to watch the same computer display shown as in the illusion, with his own stationary hand in full view (non-illusion) and to watch a display of non-biological movement (moving text) (sham) as the control conditions. The present results showed significant facilitation of MEP under the illusion compared with the control conditions for the index finger abducting in the movie, although not for adducting. MEP in the abductor digiti minimi showed no change during either abduction or adduction of the little finger. The present study demonstrated that an illusion of self-motion can be created by a video of a moving abstract index finger, and inputs to the corticomotor pathways during the self-motion illusion facilitated the corticomotor excitability. The excitatory effect of the illusion depended on the movement direction of the index finger. © 2007 IBRO. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

**Key words:** kinesthesia, illusion, transcranial magnetic stimulation, motor-evoked potential, mirror neuron system.

It has been found that kinesthetic illusions of limb movement induced by tendon vibration against the muscle spindle alter sensorimotor cortex excitability with the reception of sensory afferent input, despite the fact that the vibrated limb remains immobile (Naito et al., 1999, 2002, 2005, 2006; Calvin-Figuiera et al., 1999, 2000; Romaguere et al., 2003, 2005; Naito, 2004; Naito and Ehrsson, 2001, 2006; Casini et al., 2006). We investigate whether a kinesthetic illusory sensation could be induced in a subject by

our visual stimulus method in the present study. The method of visual stimulus presentation was a movie in which someone else's limb (an index finger in the present study) is moving. The computer screen on which the movie played was installed on an appropriate portion of the subject's forearm, so that the performer's hand appears as if it were the subject's hand. The objective of our study was to clarify whether an illusion originating from visual input affects cortical level excitability: that is to say, whether a "sensory" illusion induced by this novel approach has a measurable "motor" effect. Since perceptual-to-motor transformation during tendon vibration was demonstrated by motor unit activity recording from an antagonist muscle of the vibrated muscle (Calvin-Figuiera et al., 1999, 2000; Romaguere et al., 2005), if a similar effect were to be found in our experimental visual stimulus, it may be useful to provide a facilitatory effect to the corticomotor pathways corresponding to rehabilitation of patients with motor disorders of some kind.

Many experimental results stress a prevalent role of vision over other senses in self-recognition, though it is largely context-dependent: we feel our hand where we see it, not the converse (Jeannerod, 2003). Various studies have concurred upon an understanding of the dominance of visual afferent information with respect to awareness of somatosensory information, and also that such information influences corticomotor excitability. The induction of a kinesthetic illusory sensation by moving visual stimulus of ambient circumstances surrounding a subject's static hand was reported by Tardy-Gervet et al. (1982, 1984). Furthermore, it was shown that a kinesthetic illusion could be induced in arm-amputees by their observing a motion executed by the opposite, intact hand in a mirror. Ramachandran and Rogers-Ramachandran (1996) reported that most of the amputees who participated in the experiment felt an emerging, vivid kinesthetic sensation of the phantom movement in the mirror. The condition in the present study by which a movie is presented, is based on another kind of knowledge, that is, the evidence about the dominance of vision with respect to body image recognition that is associated with having somatosensory information (Botvinick et al., 1998; van den Bos and Jeannerod, 2002). The necessary condition is for there to be a precise alignment between the subject's actual body and the performer's body in the display. The condition settings adopted in the present study are basically different from those used in previous studies. The body observed by the subject is that of someone else; there is no voluntary action on the contralateral side during the observation; the observed person's hand faces away from the subject, and the observed

\*Corresponding author. Tel: +81-29-861-7885; fax: +81-29-861-6660. E-mail address: f-kaneko@aist.go.jp (F. Kaneko).

Abbreviations: ANOVA, analysis of variance; EMG, electromyography; MEP, motor-evoked potential; TMS, transcranial magnetic stimulation; VAS, visual analog scale.

## 1 週間の下肢関節固定による短潜時伸張反射応答及び筋腱複合体の機械的特性の変化

八十島 崇<sup>1)</sup> 金子文成<sup>1)</sup> 山田 洋<sup>2)</sup> 増田 正<sup>3)</sup> 木塚朝博<sup>4)</sup>

**要旨** 本研究では、1週間の下肢関節固定による短潜時伸張反射 (short-latency stretch reflex; SLSR) 応答性の変化と、筋腱複合体の機械的特性変化を検討した。健康な男性9名の右下肢を対象に、1週間のギブス固定を行った。関節固定前後にヒラメ筋と前脛骨筋の表面筋電図を記録しながら、足関節底屈運動時の最大随意収縮力 (maximum voluntary contraction; MVC)、ヒラメ筋の SLSR (潜時、振幅、面積) 及び下脛三頭筋の機械的特性として足関節受動トルクを計測した。足関節底屈運動時の MVC は、関節固定後に有意に低下した。短潜時伸張反射の振幅及び面積は関節固定後に有意な増大を示したが、足関節受動トルクは変化しなかった。これらのことから、今回の方法で検出されるほど筋腱複合体における関節固定後の機械的特性変化は著明でなく、SLSR 応答性の増大には他の要因が関わっているものと考えた。

### はじめに

骨折等の整形外科的治療で行われる関節固定やベッド上安静などによって、全身あるいは身体部位の不活動が強いられ、運動量は減少する。この身体の不活動が続くことにより、神経・筋機能が低下し、筋出力機能の低下が生じる<sup>1,2,3)</sup>。また、一般に2週間程度の身体不活動で筋萎縮を生じることが知られている<sup>4,5,6,7)</sup>。

我々は、できるだけ末梢の筋腱複合体に形態的变化がない状況下で、選択的に神経・筋機能に関する身体不活動の影響を明らかにすることを目的に、1週間のギブス固定モデルによる実験を行ってきた<sup>13-16,21,22,23)</sup>。山田ら<sup>21)</sup>は、twitch interpolation法で潜在的な最大随意収縮力を推定し、それが関節固定後に15%程度低下することを報告した。この方法は、中枢

神経系の関与を除いた筋腱複合体そのものが発生可能な最大筋力を推定するものであった<sup>8,9)</sup>。それゆえ、この低下は筋断面積で計測される量的な変化ではなく、何らかの質的变化が筋腱複合体に生じたものであると言える。また、経頭蓋磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation; TMS) による検討では、関節固定後に運動誘発電位 (motor evoked potential; MEP) の振幅の有意な増大<sup>10)</sup>と、二連発刺激による皮質内抑制効果の有意な減少<sup>11)</sup>が見られたことから、皮質脊髄路の入力-出力関係が変化し、上位中枢の興奮性が増大することを示した。以上のことから、1週間という関節固定期間では筋断面積が変化しないものの、潜在的な筋収縮力が低下すること<sup>22)</sup>、そして皮質脊髄路において興奮性の増大が生じること<sup>10,11)</sup>が分かってきた。経頭蓋磁気刺激により誘発される運動誘発電位が関節固定により増大する機序は明らかでないが、末梢を含む感覚入力機能、小脳及びその他運動関連領域からの入力状況の変化に起因した結果であると推察した。

感覚入力系機能の変化については、我々が実施してきた関節固定による身体不活動モデルとは異なる実験

1) 産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門

2) 東海大学体育学部体育学科

3) 東京医科歯科大学大学院医療生命科学研究所

4) 筑波大学人間総合科学研究科

受付日: 2006年1月10日

採択日: 2006年4月19日

## 報 告

投球動作における肩関節周囲筋筋電図の  
連続時系列変化に関する分析\*金子文成<sup>1)</sup> 車谷 洋<sup>2)</sup> 増田 正<sup>3)</sup>  
村上恒二<sup>2)</sup> 山根雅仁<sup>4)</sup>

## 要旨

本研究の目的は、一連の投球動作中に変化する筋活動の様相について、先行研究にあるように投球相毎に平均化するのではなく、連続の時系列データとして動的变化を示し、肩関節回旋筋腱板を構成する筋における活動動態の差異について検討することであった。大学生野球部投手1名の投球中(球種は直球)に、肩関節回旋筋腱板を構成する4筋から筋電図を記録した。そのうち棘上筋、小円筋、肩甲下筋にはワイヤ電極を使用した。棘下筋には能動型表面電極を用いた。筋電図は振幅および時間軸共に規格化した(nRMS)。各関節運動の加速度はビデオカメラで記録した画像から算出した。反復した投球間における、nRMSのばらつきである変動係数は、筋によって異なる特徴を示した。筋活動動態の連続時系列的变化として、10球分のnRMSを平均した(nRMSavg)曲線の最大値出現時間は、筋毎に異なっていた。投球において動的機能が重要視される肩関節回旋筋腱板において、nRMSavgが時々刻々と入れ代わる様子が明らかになった。筋間の相関性も筋の組み合わせによって異なり、棘下筋と小円筋が強く相関していた。反復した投球における筋活動動態のばらつき、連続時系列的なnRMSavgの変化、そして筋間の相関性の特徴は、個人内での筋活動動態の特徴を検出するための指標として有効である可能性があると考えた。

キーワード 投球、肩関節、筋電図

## はじめに

投球による肩関節の慢性的な障害(投球障害)は、1) 反復する筋・腱への微細な外力によって微細損傷などのいわゆる疲労が蓄積する、2) 疲労に引き続いて炎症症状が誘発され筋機能が低下する、3) 筋の動的機能低下が原因となって損傷部位が広がる、という段階的メカニ

ズムが考えられている<sup>1)</sup>。そして、投球による腱板炎の原因の一つは、上肢の減速にあるといわれている。すなわち、腱板の表面がそれ以外の器官から物理的的刺激を受けなくても、投球動作の減速期に肩関節の水平内転、内旋、および肩甲上腕関節への牽引力に対抗して遠心性に強い収縮を強いられ、その機能的役割自体により微細損傷を受けるということである<sup>2)3)</sup>。このような投球障害に関するメカニズムは組織病理学的所見と投球動作分析結果から理論的に構築されてきたものである。このことから、投球動作分析により投球に関わる筋の機能的役割を明らかにすることは、投球障害を予防・治療する際の理論構築のために重要であるといえる。我々は、筋の走行などの解剖学的知見と、過去に行った動作筋電図学的研究<sup>7-9)</sup>から得られた知見とを考え合わせ、肩関節回旋筋腱板に含まれる筋群においても、動作中に果たす機能的役割の詳細は異なるものとの仮説を持っている。実際にそうであれば、その機能的役割を考慮した理学療法プログラムが立案されるべきである。しかし、投球動作を動作筋電図学的に研究したこれまでの報告<sup>4-7)</sup>では、共通して投球動作の相毎に筋電図を積分して示している

\* Analysis on the Sequential Dynamic Change in Electromyogram Recorded from Shoulder Muscles during Throwing

1) 独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉工学研究部門  
(〒305-8566 茨城県つくば市東1-1-1)

Fuminari Kaneko, RPT, PhD: Neuromuscular Assistive Technology Group, Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

2) 広島大学大学院保健学研究科  
Hiroshi Kurumadani, OTR, MS, Tsuneji Murakami, MD, PhD: Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University

3) 東京医科歯科大学 大学院疾患生命科学部  
Tadashi Masuda, PhD: School of Biomedical Science, Tokyo Medical and Dental University

4) 広島東洋カープ  
Masahito Yamane: Hiroshima Toyo Carp Co., Ltd.

# E-mail: f-kaneko@aist.go.jp  
(受付日 2002年5月27日/受理日 2005年2月26日)

## 異なる運動条件による肩外転運動時の筋活動特性

(筑波大学体育科学研究科) 八十島 崇

(筑波大学体育科学系) 木 塚 朝 博, 向 井 直 樹, 白 木 仁, 宮 永 豊

(水戸赤十字病院) 楚 口 博 司

(産業技術総合研究所) 金 子 文 成

## 1. はじめに

日常生活やスポーツ動作において、多種多様な上肢動作を行うには、肩関節を構成する各筋が様々な機能を発揮する必要があり、中でも回旋筋腱板(図1)の果たす役割が重要であることは広く認識されている。回旋筋腱板とは、肩甲骨と上腕骨を結ぶ棘上筋、棘下筋、小円筋及び肩甲下筋から構成される小筋群の総称である。これらの各筋は、肩の諸動作の遂行に関与するだけでなく、上腕骨頭を肩甲骨関節窩へ引き付ける関節安定化にも作用する<sup>1)</sup>。

このため、肩傷害予防を目的としてあるいはリハビリテーションにおける運動療法の一環として、回旋筋腱板に対するエクササイズが広く行われている。このエクササイズの特徴として、主に内外旋などの

回旋運動や外転運動を行うことや、回旋筋腱板が運動の主体となるような比較的軽い負荷で実施することが挙げられる<sup>2-4)</sup>。

外旋運動は、棘下筋、小円筋の機能を向上させるエクササイズとして位置付けられており、特に3~4 Nm (1.2~1.7 kg) 以下の負荷量であれば、両筋が運動の主体となることが報告されている<sup>5-9)</sup>。また、外旋運動時の運動肢位が外旋に作用する筋やその貢献度に影響すること<sup>10,11)</sup>から、棘下筋、小円筋の機能を効果的に向上させることができる運動肢位を見出した報告もある<sup>10)</sup>。

一方、棘上筋と三角筋の活動を中心に遂行される外転運動は、主に棘上筋の機能を向上させるエクササイズとして行われることが多い<sup>2, 6, 12-15)</sup>。JobeとMoynes<sup>16)</sup>は、肩内旋を伴ういわゆる“empty can”の運動肢位での外転運動が最適なエクササイズ方法であると提唱している。Townsendら<sup>10)</sup>も、empty canの肢位で外転運動を実施した際、棘上筋、三角筋前部及び中部に高い筋活動を認めたことから同様の見解を示している。これに対し、リハビリテーションにおける運動療法の一環としてempty canの肢位でエクササイズを実施すると、運動中に痛みを訴える、肩傷害を悪化させる危険性があるとの報告もある<sup>6, 12, 16)</sup>。これらの報告<sup>6, 12, 16)</sup>では、肩外旋を伴ういわゆる“full can”の肢位でのエクササイズを推奨しており、エクササイズ肢位に関する見解は一致していない。一方、外転運動時の負荷量変化を考慮した研究<sup>7, 13)</sup>に関しても、三角筋がそれほど活動せず棘上筋の活動が運動の主体となる低い負荷から三角筋の



図1 回旋筋腱板とその作用

## ヒトの下肢関節固定による皮質脊髄路の入力-出力関係変化

金子文成<sup>1)</sup> 木塚朝博<sup>2)</sup> 山田 洋<sup>3)</sup> 増田 正<sup>4)</sup>

**要旨** 本研究は、身体不活動による筋出力調節運動中の皮質脊髄路興奮性変化を明らかにすることを目的に行った。身体不活動モデルとして7日間のギプス固定を実施した。健康な男性10名を対象とし、ヒラメ筋から筋電図を記録した。ギプス固定前後で、等尺性最大筋力(MVC)、経頭蓋磁気刺激による運動誘発電位(MEP)の振幅、磁気共鳴画像による筋断面積を比較した。MVCは固定後には有意に低下した。安静時に誘発したMEP振幅は、固定後に増大した。低負荷強度(5%MVC)の筋出力中に誘発したMEP振幅は、固定後に有意に増加していた。また、刺激強度に伴うMEP振幅の増大が固定後には大きくなっていた。筋断面積は変化しなかった。本研究により、外科的侵襲がない状態での短期間ギプス固定によって、皮質脊髄路の入力-出力関係が変化し、皮質脊髄路興奮性が増大することが明らかになった。

### はじめに

関節固定などの身体不活動後には様々な場面で筋出力パフォーマンスの低下が観察される。臨床的には、ギプスを除去した後に“力を入れている感覚がない”や、“力を入れると筋が置える”などの訴えを患者から聞くことが多い。この主観的感覚である“震え”は、筋出力機能の一つである筋出力調節能力の低下として、力曲線の変動などによって客観的に捉えることができる<sup>14,15)</sup>。力曲線の変動が増大する背景として、表面筋電図の二乗平均平方根(root mean square: RMS)の増加が認められる。また神経-筋運動単位のふるまいとしては、ギプス固定を実施する前後で相対的に同じ負荷レベルの筋出力をさせた場合に、ギプス固定後には運動単位の発火頻度が低下する<sup>8,20)</sup>。これらのことから、筋出力機能変化の原因として筋量の減少が考えられるものの、それ以外に筋出力の制御に関わる神経系機能

の機能変化も関わっているものと推察できる。運動制御機構を考えると、神経系機能は感覚入力系、運動企図レベル、運動出力系に分けられる<sup>7)</sup>。本研究では、運動企図レベルからの信号をコード化して脊髄運動ニューロンへ興奮を伝達し、特に巧緻的な運動制御に関与する皮質脊髄路(corticospinal tract: CST)の興奮性変化について着目した。

近年の経頭蓋磁気刺激(transcranial magnetic stimulation: TMS)を使用した非侵襲的研究によって、成人においても感覚入力状況の変化により皮質レベルで一次運動野(M1)や体性感覚野の地理的対応領域が再構築(reorganization)されることが明らかにされてきた。例えば、Liepertらは足関節をギプス固定した後に、M1における前脛骨筋支配領域が縮小することを示した<sup>16)</sup>。一方、上肢をおおよそ30日間固定した症例を対象にして関節固定の影響を検討したZanetteらは、安静時のCST興奮性が増大する結果を示し、その変化は軽度の筋収縮により検出されなくなることを報告した<sup>20)</sup>。しかし彼らの実験では、筋収縮における出力の程度が規定されておらず、筋出力を調節している最中のCST興奮性を検索したものではない。すなわち、実際の筋出力調節運動を実施している最中のCST

1) 独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉工学研究部門

2) 筑波大学体育科学系

3) 東海大学体育学部体育学科

4) 東京医科歯科大学疾患生命科学研究所

受付日: 2003年4月15日

採択日: 2003年8月8日

(4)

## 短期筋不活動に伴う示指外転出力レベルと機能低下の特性

(筑波大学) 木 塚 朝 博

(東海大学) 山 田 洋

(産業技術総合研究所) 金 子 文 成, 横 井 孝 志

(生理学研究所) 関 和 彦

(明治大学) 金 子 公 宏

(東京医科歯科大学) 増 田 正

### 1. はじめに

身体の不活動によって運動機能は低下するが、その低下機序は十分に体系化されているとは言えない。例えば筋萎縮など、2~3週間以上の長期不活動による筋出力特性への負の影響については多くの研究があるが<sup>1)</sup>、1週間程度の短期不活動の影響を主題にした研究は数えるほどしかない<sup>2-4)</sup>。一般には、不活動に伴って筋力が低下する場合、その初期には筋神経系の機能低下が問題となり、不活動が長期化すると筋萎縮など筋の量的問題の影響が大きくなるというように、両者が関わり合っていると考えられている<sup>5-10)</sup>。

では、筋萎縮が生じる前に、筋神経系に何が起きているのであろうか。除神経によって筋に不活動状態を作ると、24時間以内にタンパク質合成過程に異常が生じることが知られている<sup>11-13)</sup>。これらに始まり、筋収縮機構、筋膜機能、神経終板機能、運動ニューロンレベルでの興奮性、上位中枢レベルでの興奮性など、さまざまなレベルで筋神経系の機能に支障が生じて行くと考えられる。Whiteら<sup>14)</sup>は1週間の下腿のギプス固定を用い、底屈筋力低下を報告している。Milesら<sup>15)</sup>も、9日間の前腕のギプス固定を用い、筋力低下を報告している。これらの研究では、筋横断面積の低下より筋力低下の方が大きいとして、筋力低下に筋神経系の関与を論じている。一方Edgertonら<sup>16)</sup>は、5日間のスペースフライトでも外側広筋の横

断面積および遅筋線維が減少することを報告しているが、筋神経系機能は対象としていない。Fuglevandら<sup>17)</sup>は、示指を回曲させてストラップ固定すると、短期では顕著な筋力低下は見られないと報告している。Berg and Tesch<sup>18)</sup>は、10日間の下肢懸垂を用い、最大下の筋力維持能力に中枢駆動の影響は少ないことを示唆している。したがって、短期の不活動研究でも、その種類、日数、対象部位、筋出力レベルによって結果は異なり、筋萎縮が見られない段階での筋力低下と筋神経系機能の変化がどのように関わっているのか、まだ十分に明らかではない。

また、筋力低下とは最大筋力の低下であり、最大下の筋出力特性の変化にもさらに注目すべきである。なぜなら、日常生活のほとんどは最大下の筋出力で閉回路制御により行われており、運動機能に対する「忍び寄る機能低下」を予防、あるいは抑制するためにも、低負荷・低速度の調節的動作を用いた運動処方確立することが重要であるからである<sup>19,20)</sup>。さらに、このような考え方に基づく適切な運動処方の確立は、それを實現する健康福祉機器の開発指針にも寄与すると思われる。したがって、神経系の影響が大きいとされる不活動の初期で、筋萎縮が起こる前の機能変化を捉えることは、運動生理学的にも運動学的にも意義が高く、まだ多くの課題が残っている。

そこで本研究では、短期筋不活動を模擬するために7日間の手関節から遠位のギプス固定を用い、第一背側骨間筋 (first dorsal interosseous; 以下

(3)

## 短期筋不活動によって生じる最大随意収縮力の低下機構

(東京医科歯科大学) 増 田 正

(独立行政法人産業技術総合研究所) 金 子 文 成, 横 井 孝 志

(東海大学) 山 田 洋

(筑波大学) 木 塚 朝 博

### 1. はじめに

筋の不活動が続くと筋力が低下する。筋力の低下により、軽度の動作にも疲労感を感じるようになり、さらに体を動かすことが少なくなるという悪循環に陥る。このような状態を廃用性症候群という<sup>1)</sup>。これが進行すると、最終的には寝たきり状態に至る可能性もある。高齢者の場合には、基礎的な筋力が低下しているので、風邪などの軽度の疾患で短期間の入院を行った間に、廃用性症候群が進行する場合もある。

廃用性症候群は以上のような悪循環によって生じるので、症状が進行する前に、適切な運動によって廃用性症候群の進行を遅らせることができれば、寝たきりの予防にもつながると予想される。特に、上記のような短期の入院治療中にも実施可能で、廃用性症候群の進行を止めることができる訓練方法や訓練機器の開発が望まれる。

一般的に不活動は筋の萎縮を引き起こすが、これまでの我々の研究で、筋萎縮が顕著になる以前から筋力の低下が生じることが分かってきた<sup>2)</sup>。筋萎縮に先立つ筋力低下は、筋量の変化を伴わないことから、筋自体の機能低下だけではなく、脳や脊髄を含めた運動制御系の機能低下に起因する可能性も考えられる。

このような筋力低下の機構を明らかにし、適切な訓練法を確立するためには、筋力低下に影響する要因をさらに詳細に明らかにする必要がある。しかし

ながら、このような統制された実験を、寝たきりになる可能性があるような高齢者を対象にして行うことは不可能である。また、寝たきりを模擬して完全にベッド上で寝た状態を維持する実験も実施されているが、この場合には、筋力以外にも循環機能や平衡機能など多様な部分に影響がでるために、結果の解釈が容易ではない。

そこで、筋力低下機構解析のモデル実験として、健康な成人を対象として下肢のギプス固定を1週間行い、その前後での変化を計測した。



図1 ギプス固定実験

# Reductions in Basal Limb Blood Flow and Lumen Diameter after Short-Term Leg Casting

JUN SUGAWARA<sup>1</sup>, KOICHIRO HAYASHI<sup>1</sup>, FUMINARI KANEKO<sup>1</sup>, HIROSHI YAMADA<sup>2</sup>, TOMOHIRO KIZUKA<sup>3</sup>, and HIROFUMI TANAKA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Ibaraki, JAPAN; <sup>2</sup>Department of Physical Education, Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa, JAPAN; <sup>3</sup>Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, JAPAN; and <sup>4</sup>Department of Kinesiology and Health Education, University of Texas at Austin, Austin, TX

## ABSTRACT

SUGAWARA, J., K. HAYASHI, F. KANEKO, H. YAMADA, T. KIZUKA, and H. TANAKA. Reductions in Basal Limb Blood Flow and Lumen Diameter after Short-Term Leg Casting. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 36, No. 10, pp. 1689–1694, 2004. **Purpose:** We tested the hypotheses that short-term casting immobilization of a leg would reduce basal blood flow and vascular conductance and induces structural alterations in femoral artery. **Methods:** Right knee and ankle joints of eight healthy young men were immobilized with casting for 7 d. Before and immediately after casting, and 14 d after the cast was removed, femoral artery hemodynamics and structure were measured using a high-resolution ultrasound. **Results:** Femoral artery lumen diameter in the immobilized leg decreased after the immobilization ( $P < 0.05$ ) and returned to baseline during the recovery period, in which the subjects did not receive any special rehabilitation treatment. Femoral artery intima-media thickness (IMT) and IMT/lumen ratio in both legs did not show significant changes throughout the interventions. In the immobilized leg, femoral artery blood flow and vascular conductance decreased (–23 to 24%) after the immobilization (all  $P < 0.05$ ). These parameters returned to the baseline during the recovery period, and there were no significant differences between the baseline and recovery values. In the control leg, femoral blood flow and vascular conductance did not change throughout the investigation. After 7 d of casting, femoral arterial distension, an index of arterial distensibility, tended to decrease in the immobilized leg but not in the control leg. **Conclusion:** We concluded that a short-term immobilization of lower limb decreases basal limb blood flow and arterial lumen diameter. These results suggest that basal limb blood flow and lumen diameter decrease rapidly upon the cessation of muscular weight bearing and locomotor activity, and may be modulated by an ordinary level of physical activity. **Key Words:** CASTING, DETRAINING, PERFUSION, ARTERIAL STIFFNESS

The effects of exercise conditioning reveal the remarkable ability of the cardiovascular system to respond and adjust to the physiological demands of regular exercise. For example, regular aerobic exercise induces the expansive arterial remodeling in aorta (19) and femoral artery (7,20) that are characterized by increases in lumen diameter and reductions in intima-media thickness (IMT) (7). Additionally, arterial compliance and arterial blood flow increase with regular exercise interventions (1,12,26,27). These

functional adaptations in the arterial system would act to improve the tolerance for the type of exercise encountered in training and would facilitate the cardiovascular adjustment to the particular exercise stress.

Much less is known about the effect of deconditioning on arterial system. Most of the studies conducted to date have used long-term deconditioning research model, including spinal cord injury and long-term casting of upper limbs (9,14,24). These studies have demonstrated that arterial blood flow as well as lumen diameter decrease with a long-term period of disuse (9,14,24). These arterial changes observed as results of long-term deconditioning are generally considered to be an epiphenomenon for muscle wasting and indeed an appropriate response to reductions in metabolically active tissue mass. Currently, it is not known if a short-term (i.e., 1 wk) lower limb immobilization, that is associated with a slight atrophy in limb skeletal muscle (8,16), affects arterial structure and function in humans. Moreover, most of the previous studies in this area have used subjects who had casts placed for bone fractures and

Address for correspondence: Jun Sugawara, Ph.D., Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), AIST Central 6, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8566, Japan; E-mail: jun.sugawara@aist.go.jp.  
Submitted for publication February 2004.  
Accepted for publication June 2004.

0195-9131/04/3610-1689  
MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE®  
Copyright © 2004 by the American College of Sports Medicine  
DOI: 10.1249/01.MSS.0000142410.45142.28

## 肘関節内側側副靭帯損傷術後

## リハビリテーション

## —術前筋力・術後筋力からリハビリテーションを考える—

Muscle strength after medial collateral ligament reconstruction  
in the elbow joint車谷 洋\*<sup>1</sup>, 村上恒二\*<sup>1</sup>, 金子文成\*<sup>2</sup>キー・ワード：Medial collateral ligament injury, Rehabilitation, Isokinetic Muscle Strength  
内側側副靭帯損傷, リハビリテーション, 等速性筋力

【要旨】 肘関節内側側副靭帯再建術後リハビリテーションによる術前・術後筋力の検討を行なうために、肘関節屈曲筋力・伸展筋力を術前症例および術後症例で横断的に測定した。対象は肘関節内側側副靭帯損傷と診断された野球選手、および肘関節内側側副靭帯再建術を受けた野球選手とした。それらの対象者を観血的治療前(術前群)、靭帯再建術後(術後4ヶ月群、術後6ヶ月群、術後8ヶ月群、術後14ヶ月群)に分類した。また、肘関節に障害の既往のない社会人野球選手を対照群とした。これらに対して、等速性肘関節屈曲・伸展筋力測定を行ない、得られた指標(屈曲筋力、伸展筋力、屈曲/伸展筋力比)を各群間にて検討した。結果、肘関節屈曲筋力において対照群に比して術後4ヶ月症例が有意に低値を示した。その他の指標では有意差はなかった。術後早期からのリハビリテーションを実施しているが、術後4ヶ月の段階では、肘関節屈曲筋力は競技レベルまでの筋力は十分に得られなかった。このことは、生物学的側面に配慮した段階的リハビリテーションおよび手術後の固定期間による影響があるものと思われる。しかしながら、スローイングプログラム開始時点にあたる術後6ヶ月の段階では有意差はなく、肘関節筋力は術前および対照群と同様な程度であった。これらの調査結果および先行研究より、リハビリテーションプログラムの考察を行なった。

## ■ はじめに

肘関節障害には内側側副靭帯損傷、肘部管症候群、変形性肘関節症、肘頭疲労骨折、離断性骨軟骨炎など様々な疾患がある。それらの中でも、肘関節内側側副靭帯損傷はスポーツにおける肘関節障害の代表的な疾患の一つで、保存的治療や靭帯再建術などが治療として行なわれている<sup>1-7)</sup>。これらの障害は主に投球動作を必要とする選手に多いことから、投球障害と分類され、投球動作によ

る強大な外反ストレスを考慮した診断、観血的治療、リハビリテーションなどが必要となってくる。

肘関節内側側副靭帯の靭帯再建術は術者により再建方法が異なるが<sup>1-6)</sup>、術後のリハビリテーションでは競技復帰までに概ね10ヶ月～1年程度の期間を必要としている<sup>8-11)</sup>。これらの靭帯再建術後リハビリテーションに関する報告は散見されるが<sup>8-12)</sup>、機能回復がどのような過程をとるのかについて調査したものは少なく、靭帯再建術後の肘関節周囲筋筋力に関する報告も少ない<sup>8,13,14)</sup>。よって、本研究の目的は肘関節内側側副靭帯再建術後の肘関節周囲筋筋力を肘関節屈曲筋力および伸展筋力の側面から調査すること、およびそれらから得られた結果より術後リハビリテーションプ

\*<sup>1</sup> 広島大学医学部保健学科\*<sup>2</sup> 独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医学  
研究部門

報 告

## 急速な運動の動作分析を目的としたワイヤ電極による筋電図記録方法の改良\*

金子文成<sup>1)</sup> 増田 正<sup>1)</sup> 車谷 洋<sup>2)</sup>  
村上恒二<sup>2)</sup> 山根雅仁<sup>3)</sup>

### 要旨

本研究の目的は、投球のような急速な運動中の筋活動をワイヤ電極で分析するには、どのようなシステムが必要なのかを詳細に提示することである。対象は健康な男子大学生1名であった。投球動作中に三角筋中部線維と棘上筋から筋電図を記録した。電極は棘上筋にはワイヤ電極を使用し三角筋には能動型表面電極を用いた。投球動作をビデオカメラで撮影し、各関節運動の加速度を算出した。ワイヤ電極は刺入部付近でバッファアンプ（入力インピーダンス10 M $\Omega$ 、増幅度10倍）へ連結し、腰部に装着したメインアンプで増幅した。バッファアンプのワイヤ電極接合部分には、スプリングを採用した。A/D変換後のデータを低域遮断周波数70 Hz、高域遮断周波数500 Hzで4次のバンドパスフィルターを通した結果、視覚的にはモーションアーチファクトと思われる周波数成分の信号が除去された。周波数分析により徒手筋力検査実施時と投球時に記録された筋電図パワースペクトラム密度分布がほぼ相似形であった。それにより、今回のデータ採集および処理の手続きが十分に適当であり、モーションアーチファクトが少ない状態で急速運動中の筋電図を得ることができたと考える。

キーワード 筋電図, ワイヤ電極, 投球

### はじめに

投球障害やランニング障害は、スポーツ動作のような急速 (Rapid) かつ急激 (Ballistic) な運動 (急速運動) により慢性的に微細損傷が加わることによって生じる病態の代表的な例である。そのような病態に対する理学療法の理論構築においては、それを引き起こす運動学的現象を解明することが重要である。急速運動について運動学的手法により定量分析するには、比較的緩慢な動作を分析する場合よりも、さらに高い精度の技術もしくは機

器が必要である。

運動学的分析方法の一つに筋電図による分析がある。肩関節を例に挙げると、動的安定化機構として重要であるとされる回旋筋腱板から筋電図を記録するためには、表層筋からの信号混入を避けるためにワイヤ電極により記録することが望ましい。しかし、SoderbergとCook<sup>1)</sup>が述べているように、ワイヤ電極による筋電図記録ではモーションアーチファクトなどのノイズが混入することが多い。このため、急速運動の動作分析をするためにワイヤ電極を使用することは非常に難しい。この解決方法として、記録された信号にフィルタをかけることや記録時にバッファアンプを使用する等の方法が用いられる<sup>2)3)</sup>。しかし、ワイヤ電極を使用して動作筋電図学的研究を行った諸家らの報告<sup>4-11)</sup>では、方法の詳細や生データが提示されていない場合が多い。また、田中ら<sup>3)</sup>の報告により動作分析におけるバッファアンプの有効性は確認されているが、その有効性は歩行動作での検討に留まっている。すなわち、これまでにワイヤ電極による筋電図記録の方法を検討する報告は散見され、急速運動の筋電図学的分析もワイヤ電極によって行われてきたにも関わらず、過去の報告を踏襲して急速運動の筋電図を

\* Improved Electromyogram Recording Technique using Fine Wire Electrodes during Rapid and Ballistic Movement

1) 独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉医学研究部門  
(〒305-8566 茨城県つくば市東1-1-1)  
Fuminari Kaneko, RPT, PhD, Tadashi Masuda, PhD:  
Neuromuscular Assistive Technology Group, Institute for Human  
Science and Biomedical Engineering, National Institute of  
Advanced Industrial Science and Technology

2) 広島大学 医学部保健学科  
Hiroschi Kurumadani, OTR, MS, Tsuneji Murakami, MD, PhD:  
Institute of Health Sciences, School of Medicine, Hiroshima  
University

3) 広島東洋カープ  
Masahito Yamane: Hiroshima Toyo Carp Co., Ltd.  
(受付日 2002年5月27日/受理日 2003年3月15日)

# 野球選手のポジション別 肘関節屈曲・伸展筋力の比較

The muscle strength in elbow flexor and extensor for positioned play in healthy baseball players

車谷 洋\*<sup>1</sup>, 村上恒二\*<sup>1</sup>, 金子文成\*<sup>2</sup>

キーワード: Elbow joint, Isokinetic muscle strength, Baseball  
肘関節, 等速性筋力, 野球

【要旨】本研究の目的は、肘関節に障害のない野球選手の肘関節屈曲・伸展筋力、およびポジション別に肘関節屈曲・伸展筋力を比較することである。対象は全例社会人野球選手とし、全症例の投球側と非投球側で比較した。また、ポジション別の4群に分類し、投球側肘関節屈曲、伸展ピークトルク値および屈曲/伸展筋力比を各群間で比較した。全症例では投球側と非投球側に有意差はなかった。ポジション別では投手の筋力が野手の筋力に比して低値を示していた。これらの結果は、今後のリハビリテーション、トレーニングなどの一般的指標の一つになると思われる。

## はじめに

野球選手の筋力は、障害を有する選手または観血的治療を受けた選手のリハビリテーション時に、競技復帰に向けた機能的回復を測る指標の一つになると思われる。野球選手の筋力に関する先行研究では、肩関節周囲筋筋力に関するものは散見される<sup>1-5)</sup>。しかしながら、肘関節は肩関節に次いで野球での障害発生が多い関節と言われている<sup>6)</sup>にもかかわらず、障害を有していない野球選手の肘関節周囲筋筋力を検討したものは非常に少ない。

また、野球ではポジション別に役割が異なってくるため、ポジションによって求められる筋力も異なってくると考えられる。しかし、ポジション別に肘関節周囲筋筋力を検討しているものは非常

に少ない。

今回の目的は、肘関節屈曲および伸展筋力に関する一般的指標を得ること、およびポジション別に野球選手の肘関節屈曲および伸展筋力を明らかにすることである。

## 対象と方法

対象は、本研究の主旨を十分に説明し承諾の得られた、肘関節に障害の既往のない社会人全国大会出場レベルの社会人野球選手29名とした。ポジション別には、投手12名、捕手5名、内野手6名、外野手6名であった。対象の身体的特徴(身長、体重、年齢、野球歴)は表1に示す。

肘関節屈曲および伸展筋力測定にはCybex NORM™を使用し、角速度は60deg/secにて実施した。測定肢位は背臥位とし、測定時には代償運動を可能な限り減少させるために、ストラップで体幹を固定する他に、検者による徒手的な固定も加えた。運動開始角度の決定のために、まず肘関節が最大伸展位となる位置を肘関節屈曲・伸展

\*<sup>1</sup> 広島大学医学部保健学科

\*<sup>2</sup> 独立行政法人 産業技術総合研究所  
人間福祉医工学研究部門

# 肘関節投球障害を有する 野球選手における肩関節筋力の検討

Analysis of Shoulder Muscle Strength in Baseball Player  
with Elbow Throwing Disorder

車谷 洋\*<sup>1</sup>, 村上恒二\*<sup>1</sup>, 金子文成\*<sup>2</sup>

キー・ワード：Shoulder joint, Elbow throwing disorder, Muscle strength

肩関節, 肘関節投球障害, 筋力

【要旨】 肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節周囲筋筋力について調査することを目的とした。対象は肘内側副靭帯損傷群、変形性肘関節症群、肘尺骨神経障害群、および肩関節・肘関節に障害の既往のない野球選手(対照群)とした。これらの対象の投球側肩関節外旋筋力および内旋筋力を測定し、各群間で比較検討した。肩関節外旋筋力において、対照群と肘内側副靭帯損傷群および肘尺骨神経障害群との間に有意差があり、肘内側副靭帯損傷群および肘尺骨神経障害群が有意に低値を示していた。このような傾向は後内側部痛を伴う変形性肘関節症群ではみられず、肘関節投球時内側部痛を有する野球選手で特徴的であった。

## はじめに

著者らは肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節筋力について調査を行ってきた<sup>1, 2, 4)</sup>。それらの中から、肘関節障害では障害別に肘関節筋力が特徴的な傾向をとるという結果を得ている。

一方、肩関節筋力についての先行研究では、肩関節投球障害を有する野球選手の肩関節筋力について、金子ら<sup>4)</sup>は肩関節90°外転位での肩関節等速性筋力を測定し、肩関節投球障害を有する野球選手は肩関節外旋/内旋筋力比が健常野球選手より低下していると報告している。このように肩関節障害を有する野球選手の肩関節筋力に関する報告は散見される<sup>5)</sup>。

他方、投球動作分析より、肩関節と肘関節は運動連鎖で肩関節から肘関節へエネルギーを伝達す

るといわれている<sup>6)</sup>。また、臨床において、肩関節および肘関節投球障害を合併している症例を経験することは少なくない。これらのことから、投球動作の上肢運動連鎖を通して、肩関節障害が肘関節に、また逆に肘関節障害が肩関節に何らかの影響を与える可能性があると考えられる。しかしながら、上肢の投球障害部位に隣接する関節にどのような影響が及ぼされているのかということに関して検討している報告は非常に少ない。

そこで、本研究では肘関節障害を有する野球選手の肩関節に着目し、肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節を外旋筋力および内旋筋力の側面から調査することを目的とした。

## 対象と方法

広島大学附属病院リハビリテーション部 肩・肘スポーツ外来を受診し、初診時に診断が確定された。肘関節内側副靭帯損傷15名(以下MCL群と略す)、変形性肘関節症8名(以下OA群と略す)、および肘尺骨神経障害11名(以下UND群と

\*<sup>1</sup> 広島大学医学部保健学科

\*<sup>2</sup> 独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

# 移動運動における力学的仕事有効利用性指数と 移動速度との相関

横井 孝志\*, 横澤 俊治\*\*, 山田 洋\*  
金子 文成\*, 長谷 和徳\*, 佐藤紀久江\*\*\*

Correlation of effectiveness indices of mechanical work utilization for locomotion with the locomotion speed

Takashi YOKOI\*, Toshiharu YOKOZAWA\*\*, Hiroshi YAMADA\*, Fuminari KANEKO\*, Kazunori HASE\*, Kikue SATOH\*\*\* (\*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, \*\*Doctoral Program in Health and Sport Sciences, Univ. of Tsukuba, \*\*\*Doctoral Program of Comprehensive Human Sciences, Univ. of Tsukuba)

The effectiveness index of mechanical energy utilization (EI) is defined by the following equation :

$$EI = \frac{\text{Performance and/or Effective energy (and/or Work)}}{\text{Mechanical energy (and/or Work)}}$$

The generic definition of EI is useful for evaluating skilled motion in human movement from the viewpoint of effective usage of mechanical energy and/or work.

Certain correlations between EI and locomotion speed were observed in several locomotion studies using EI. If the EI has correlations with locomotion speed, however, interpretation of the EI is complicated. In the present study, EI was applied to the evaluation of walking and running motion in order to examine if EI correlates with locomotion speed.

Two subjects were asked to perform 15 walks and runs at several speed levels. The trials in each speed level were measured using an automatic coordinate acquisition system and a force platform. Then the EIs with several numerators representing performance and/or effective energy utilization were calculated. The numerators were  $P_E (= 0.5 \times \text{body mass} \times (\text{locomotion speed})^2)$ ,  $P_V (= \text{body mass} \times \text{locomotion speed})$ ,  $P_D (= \text{body mass} \times \text{step length})$  and  $P_{Wp} (= \text{body mass} \times \text{step length} \times \text{locomotion speed})$ .  $W_{p1}$  (absolute work in a cycle obtained based on joint torque power) was used as the denominators of EI.

The all EIs examined in this study have significant correlations with locomotion speed. In these cases, correlation coefficients as well as regression coefficients were different among subjects, movements and the numerators of EI. Based on these results, in order to appropriately examine

EI of the target locomotion, firstly we need to confirm correlation between EI and the locomotion speed. Then, if EI correlates with locomotion speed, it may be necessary to consider the effect of locomotion speed in the interpretation of EI.

**Key words :** Effectiveness index of mechanical work utilization, Locomotion, Locomotion speed, Correlation, Motion skill evaluation

## 1. 緒 言

身体運動のバイオメカニクスの解析において、身につけている動きの技術を評価する指標の1つとして、(式0)に示した力学的エネルギー(あるいは仕事)有効利用性指数(EI:Effectiveness index of mechanical energy(work) utilization)が提案された(阿江と藤井1996, 阿江と藤井2002)。

$$EI = \frac{\text{Performance and/or Effective energy (and/or Work)}}{\text{Mechanical energy (and/or Work)}}$$

(式0)

この指標は、運動中に生みだされた力学的仕事<sup>1</sup>が、どれだけ有効にパフォーマンス(あるいは有効エネルギーや仕事)に変換されたかを知るための指標である。この指標式の値が大きいほど、運動中に生みだされた力学的エネルギーや仕事<sup>2</sup>がパフォーマンスの達成に有効に使われていることを示している。

本研究は、歩行、走行等の移動運動技術の評価において、このEIを適用する際の留意点について検討したものである。

EIを移動運動技術の評価に適用した報告として、上述の阿江と藤井(1996)、榎本ら(1997)、榎本ら(1999)、岡田ら(1997a)、岡田ら(1997b)がある。これらの研究におけるEI計算式は異なっているが、EIと移動速度との間に相関関係が観察されるものはいくつかある。阿江と藤井の研究(1996)では、5名の短距離選手の全

\*YOKOI Takashi, YAMADA Hiroshi, KANEKO Fuminari, HASE Kazunori : 産業技術総合研究所

\*\*YOKOZAWA Toshiharu : 筑波大学体育科学研究科

\*\*\*SATOH Kikue : 筑波大学人間科学総合研究科

**Key words :** 力学的仕事有効利用性指標, 移動運動, 移動速度, 相関関係, 動作技能評価

(受付日: 2003年1月21日, 受理日: 2003年3月31日)

## 立ち座り動作における動作・心理特性にもとづいた空間寸法の評価\*

横井孝志\*\*, 金子文成\*\*, 山田 洋\*\*, 長谷和徳\*\*, 佐藤紀久江\*\*\*, 秋廣武志\*\*\*\*

The distance between a wall and the anterior side of the human body was evaluated based on kinematic and psychological characteristics of the standing-up and sitting-down movement. The experiment was carried out by setting up a variable experimental space. Both the chair height and the distance between a wall and the subject's body were varied at random in the experimental setup. The adult subjects were asked to perform standing-up and sitting-down movements. The body landmark positions in these trial movements were measured using a motion-capture system. Each subject was asked to evaluate pressure sensation based on the feeling of pressure given by the wall during the motion. According to the above experiment, following results were obtained: 1) When distance between chair and wall ( $D$  [m])  $\leq 0.8$ , the pressure sensation was felt both when standing up and sitting down, while the movements were restricted by the wall. 2) In the case of  $0.8 < D < 1.3$ , the standing-up and sitting-down movements were not restricted by the wall, but a few pressure sensation was felt. 3) In the case of  $1.3 \leq D$ , the movements were able to be done naturally without any pressure sensation.

立ち座り動作における運動学的、心理的特性にもとづいて身体前面壁と身体との距離を評価した。寸法が可変の実験用空間を設け、9種の壁距離と3種の椅子座面高とをランダムに組み合わせて空間を設定し、動作計測実験を行った。健康な19名の成人被験者に立ち座り動作を行わせ、体表に付けた標点の位置を二次元の自動画像計測装置で測定した。被験者には、動作中に壁から受ける主観的圧迫感も尋ねた。測定データを検討した結果、次の知見を得た。(1)椅子-壁距離( $D$  [m]) $\leq 0.8$ のとき、動作中に壁から圧迫感を感じ、動作は制限される。(2) $0.8 < D < 1.3$ のとき、動作の制限はないがわずかに圧迫感を感じる。(3) $1.3 \leq D$ のとき、圧迫感も動作の制限もない。

(キーワード：空間寸法、空き寸法、動作特性、主観的圧迫感、評価指標式)

### 1. はじめに

本研究は、比較的狭い居住空間を対象に、動作中の運動学的要因、心理的要因にもとづいて空間寸法を決定するための基礎知見を得ようとするものである。

建築計画において、人体寸法は空間寸法を決定する際の基本データとして必要なものである<sup>1-6)</sup>。特に居住空間等の人と密接にかかわる空間を適正に設計するには、

多様な居住者に適した人体寸法が不可欠である。このような観点から、わが国においても人体寸法が大量あるいは詳細に計測され、様々なかたちで提供されてきた<sup>7,8)</sup>。さらに、このような人体寸法を空間設計において円滑に利用するため、基本姿勢での手の到達域の数値化やコンピュータマネキンの利用も試みられてきた<sup>9-11)</sup>。

人体寸法にもとづいて空間寸法を適正に決定するには、人体寸法値だけでなく空間内でとられる動作や姿勢によって、どれだけのスペース(動作寸法)が必要かを知る必要がある<sup>1-6)</sup>。利便性や快適性等に配慮するには、これに加えて、空間寸法に持たせるべき余裕(空き寸法)を適正に確保しておかなければならない<sup>12,13)</sup>。このような空き寸法を適正に決定するには、姿勢・動作の運動学的特徴と空間寸法との関係を明らかにすること、空間内で動作を遂行する際の心理的な側面を考慮することが重要である<sup>12-15)</sup>。

\* 受付：2003年2月19日 受理：2003年5月12日

\*\* 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

\*\*\* 筑波大学人間科学総合研究科

Doctoral Program of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

\*\*\*\* 筑波大学体育研究科

Master Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

## Twitch interpolation 法と表面筋電図解析を用いたヒトの絶対筋持久力の評価

山田 洋\*, 金子 公宏\*, 木塚 朝博\*, 金子 文成\*  
横井 孝志\*, 増田 正\*, 塩崎 知美\*, 岡田 守彦\*

## 要旨

本研究の目的は、Twitch interpolation 法と表面筋電図解析を用いて、最大下筋収縮におけるヒトの筋持久力の評価の妥当性を検討することであった。被験者は健康な男性 14 名であった。7 名の男性被験者は、最大随意収縮(MVC)の 20, 40, 60, 80, 100% 強度の左手第一背側骨間筋(FDI)の等尺性外転をランダムに行った。随意収縮と同時に、経皮的に最大強度の電気刺激が尺骨神経に加えられた。得られた随意収縮力と単収縮力の関係に基づいて、運動単位の動員度を示す随意的動員度が算出された(Twitch interpolation 法)。随意的動員度 100% を基準として、心理的要因を除いた生理的 MVC を算出した。3 名の被験者については、従来の MVC (心理的 MVC) が生理的 MVC より小さく、運動単位を完全に動員できていなかった。Twitch interpolation により MVC を補正した被験者(MVC 補正群, n=7)と補正しない被験者(コントロール群, n=7)は、60% MVC 疲労到達までの等尺性外転を行った。疲労課題の持続時間は、補正群でコントロール群と比較して有意に短かった(p<0.01)。補正群は持続時間のばらつきも小さかった。FDI より導出された表面筋電図中央周波数は、両群において有意に低下した(p<0.01)。補正群では、持続時間のばらつきが小さくなったにも関わらず、筋電図変化のばらつきが大きくなった。このばらつきは個人のもつ絶対的な筋疲労耐性を反映していると考えられた。本研究の結果は、生理的 MVC、持続時間および表面筋電図変化パターンから、ヒトの随意収縮時の絶対筋持久力を評価できることを示唆している。

## 1. はじめに

ヒトの筋持久力は、ある負荷をどれくらい維持できるか、あるいはある課題を何回出来るかといったパフォーマンスを用いて評価することが多い。しかしながら、これらパフォーマンスによる評価は、被験者のやる気等を含めた心理的要因に大きく影響を受けるため、真の筋持久力を評価しているとは言い難い。

例えば、外側広筋で最大随意収縮(maximum voluntary contraction: MVC)の 20%、つまり 20%MVC でオールアウトまでの最大下等尺収縮による疲労課題を行った場合、持続時間は 10 ~ 40 分と非常にばらつきが大きくなる。これは、疲労課題における負荷設定の基準となる MVC の計測自体に問題があるといえる<sup>2)</sup>。つまり、負荷設定をするための MVC を、本当に

100% 出せている人については問題ないが、自分を出しているつもりでも 100% が出せていない人、あるいは手を抜いている人では、どうしても持続時間が長くなってしまいうわけである。

この最大筋力発揮時における、いわゆる心理的境界と生理的境界の関係については、電気刺激を用いて古くから調べられている<sup>3,4)</sup>。猪飼と矢部(1967)<sup>5)</sup>は、電気刺激により誘発された張力と随意張力の関係を調べ、多くの被験者において、筋力発揮時の心理的境界と生理的境界に違いがみられたことを報告した。しかしながらこれらの研究では、安静時に数十ヘルツの頻発刺激を用いて強縮を誘発するために痛みを伴い、誰にでも用いることができないという欠点があった。

その後、Belanger and McCorm (1981)<sup>6)</sup>は、この手法を応用して、随意収縮中に電気刺激を与え、随意収縮力とそれに重畳する単収縮力の関係から運動単位の動員度を見積もる手法(Twitch interpolation 法)を考案した。この Twitch interpolation 法は、随意収縮中に単発の刺激を用いるために、苦痛を伴わず、かつ簡単に心理的要因を除いた随意的な努力を見積もることができる。従って、この随意的な努力度を基準に負荷を描いて疲労テストを行えば、心理的要因に影響されない、真の持久力、すなわち絶対筋持久力を見積もることができる可能性がある。本研究の目的は、Twitch interpolation 法と表面筋電図解析を用いて、最大下筋収縮におけるヒトの筋持久力の評価法を再考することで

2002 年 11 月 22 日受付 2003 年 5 月 27 日受理

\* 東海大学体育学部  
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117  
Tel: 0463-58-1211 Fax: 0463-50-2056  
Email: chaou@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

キーワード(和): 生理的 MVC, 心理的境界, 随意的動員度, 持続時間, 表面筋電図中央周波数



## Decreased cortical excitability during motor imagery after disuse of an upper limb in humans

Fuminari Kaneko<sup>a,\*</sup>, Tsuneji Murakami<sup>b</sup>, Kiyoshi Onari<sup>b</sup>,  
Hiroshi Kurumadani<sup>b</sup>, Kotaro Kawaguchi<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Neuromuscular Assistive Technology Group, Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8566, Japan*  
<sup>b</sup>*Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hiroshima University, Hiroshima, Japan*

Accepted 16 July 2003

### Abstract

**Objective:** The present study investigated the effect of joint immobilization on corticomotoneuronal excitability to only intracortical input from a hierarchical level above the primary motor cortex.

**Methods:** Motor evoked potentials (MEPs) and H-reflexes in the flexor carpi radialis muscle were elicited from 8 orthopedic patients with splints and 8 healthy volunteers. Each patient was examined on the day of splint removal (disuse stage) and 2 months after that day (recovery stage). Both potentials were recorded under 3 conditions: at rest, while imagining motor movement (during motor imagery), and during 10% of maximum voluntary contraction (10% MVC).

**Results:** In the patient group, the amplitude of surface electromyography during voluntary maximum wrist flexion was lower at the disuse stage than at the recovery stage, although the supra-maximum M-wave amplitude did not change between stages. Compared to both the patient group at the recovery stage and the control group, patients at the disuse stage recorded significantly lower MEPs, but only during motor imagery. In contrast, the H-reflex amplitudes were not significantly changed under any of the 3 conditions for both patients and control.

**Conclusions:** The present results indicated a strict parallelism between motor execution (the reduction of electromyography during mvc after immobilization) and motor imagery (the reduction of MEP-amps after immobilization). This parallelism suggests that a functional reorganization or decreased excitability in the cerebral cortex area involved in executing movement likely decreases the motor capability to produce voluntary muscular output after immobilization.

© 2003 International Federation of Clinical Neurophysiology. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

**Keywords:** Transcranial magnetic stimulation; Motor evoked potential; H-reflex; Motor imagery; Disuse; Immobilization

### 1. Introduction

A number of studies have pointed out the involvement of neurological factors [e.g. dysfunction at the neuromuscular junction (Grana et al., 1996), reduced motor unit activation (Duchateau and Hainaut, 1990; Seki et al., 2001), involvement of the spinal reflex loop (Eccles and McIntyre 1953; Anderson et al., 1999)] in the disruption of voluntary output following disuse. One such factor appears to be the intensity needed for the central command to produce maximal voluntary output (Enoka 1997; Kaneko et al., 1997; Suzuki et al., 1994; White and Davis 1984). This suggests a possibility that training solely at the level of the central

nervous system – that is, without actual muscular contraction, as is the case during motor imagery – can lead to the recovery of at least a little of the lost muscular output. A study is therefore necessary to demonstrate a concrete functional alteration in the central nervous system following muscular disuse, as this would help to establish a therapeutic theory by which to approach brain motor function without actual voluntary contraction.

A few studies demonstrated the reorganization of the primary motor cortex following disuse (Liepert et al., 1995; Zanette et al., 1997). Liepert reported that the target muscle's motor cortex area, observed at rest with a transcranial magnetic stimulation (TMS) technique, was smaller after muscular disuse. Zanette showed that the amplitude of motor evoked potentials (MEPs) after disuse

\* Corresponding author. Tel.: +81-298-61-6658; fax: +81-298-61-6660.  
E-mail address: f-kaneko@aist.go.jp (F. Kaneko).

## 重畳M波解析による疲労に伴う表面筋電図徐波化機構

山田 洋<sup>1)</sup> 木塚朝博<sup>2)</sup> 増田 正<sup>1)</sup> 横井孝志<sup>1)</sup>  
金子文成<sup>1)</sup> 金子公宏<sup>3)</sup> 岡田守彦<sup>4)</sup>

### MECHANISM FOR SLOWING SURFACE ELECTROMYOGRAPHY DURING FATIGUING CONTRACTION REVEALED BY SUPERIMPOSED M-WAVE ANALYSIS

HIROSHI YAMADA, TOMOHIRO KIZUKA, TADASHI MASUDA, TAKASHI YOKOI, FUMINARI KANEKO  
KIMIHIRO KANEKO and MORIHIKO OKADA

#### Abstract

We studied the mechanism for slowing surface electromyography (EMG) during fatiguing contraction using superimposed M-wave analysis. Seven healthy male subjects exerted 60% maximum voluntary contraction of isometric abductions in the left first dorsal interosseous muscle (FDI) until exhaustion. Simultaneously with voluntary contractions, the ulnar nerve was electrically stimulated at supramaximal intensity, and volitional EMG and superimposed M-waves were obtained. We examined the behavior of muscle fiber conduction velocity (MFCV) and median frequency (MDF) for both EMG, with the following results:

- 1) MFCV calculated from volitional EMG of FDI was about 6 m/s during 60% MVC.
- 2) The waveform of voluntary EMG detected from FDI slowed in all subjects during fatiguing contraction at 60% MVC, indicating fatigue had developed in the muscle.
- 3) As fatigue progressed, the waveform of the superimposed M-wave tended to decrease in amplitude and increase in duration.
- 4) As fatigue progressed, MDF and MFCV in volitional EMG decreased significantly ( $p < 0.01$ ). The rate of change was larger in MDF than in MFCV ( $p < 0.01$ ).
- 5) As fatigue progressed, MDF and MFCV in the superimposed M-wave decreased significantly ( $p < 0.01$ ). The rate of change was larger in MDF than in MFCV ( $p < 0.05$ ).

These results suggested that MFCV and other peripheral factors affected the slowing of volitional EMG. Elongation of the depolarization zone in muscle fiber is proposed as a peripheral factor.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003; 52: 29-42)

**key word**: muscle fiber conduction velocity, median frequency, FDI, maximum voluntary contraction

## I. 緒 言

非侵襲的な筋疲労の評価法として、表面筋電図法が従来広く用いられており、疲労進行に伴い、

- 1) 筋電図積分値の増大、および 2) 徐波化(周

波数の低域シフト)が生ずることがよく知られている<sup>1-4)</sup>、前者は試行差、筋差等の変動が大きいが、後者は比較的安定した結果を得ることから、筋疲労の評価法としてはほぼ確立しつつあり、中央周波数(Median Frequency: MDF)

1) 産業技術総合研究所人間福祉工学研究部門  
〒305-8566 つくば市東1-1-1

2) 筑波大学体育科学系  
〒305-8576 つくば市天王台1-1-1

3) 明治大学商学部  
〒168-8555 東京都杉並区水福町1-9-1

4) 筑波大学先端学際領域研究センター  
〒305-8577 つくば市天王台1-1-1

National Institute of Bioscience and Human Technology Higashi  
1-1-1, Tsukuba-shi, 305-8566

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba  
Tennodai 1-1-1, Tsukuba-shi, 305-8576

Meiji university the department of commercial science part  
time lecturer Eifukuchol-9-1, Suginami-ku, 168-8555

Center for Tsukuba Advanced Research Alliance, University of  
Tsukuba Tennodai 1-1-1, Tsukuba-shi, 305-8577

## 短期筋固定が最大随意収縮力に与える影響の Twitch Interpolation 法による解析

山田 洋<sup>1)</sup> 木塚朝博<sup>2)</sup> 増田 正<sup>1)</sup> 関 和彦<sup>3)</sup>  
横井孝志<sup>1)</sup> 金子文成<sup>1)</sup> 岡田守彦<sup>4)</sup>

### EFFECTS OF SHORT-TERM IMMOBILIZATION ON THE MAXIMUM VOLUNTARY CONTRACTION FORCE ANALYZED BY THE TWITCH INTERPOLATION METHOD

HIROSHI YAMADA, TOMOHIRO KIZUKA, TADASHI MASUDA, KAZUHIKO SAKI, TAKASHI YOKOI,  
FUMINARI KANEKO and MORIHIKO OKADA

#### Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of short-term immobilization on the maximum voluntary contraction (MVC) force. The first dorsal interosseus (FDI) of 10 healthy male adults was immobilized for 1 week using casting tape. Atrophy of the muscle was estimated from a cross sectional view of magnetic resonance images (MRI). To clarify the factors of a peripheral neuromuscular system contributing to the change in the MVC force, twitch force at rest was measured. The contribution of central factors was estimated from a voluntary activation (VA) index, which was obtained by the twitch interpolation method.

The MRI showed no significant changes in the cross sectional area. The MVC force declined after immobilization ( $p < 0.01$ ), and recovered after 1 week from the termination of immobilization ( $p < 0.01$ ). Both the twitch force at rest and the VA at MVC declined after immobilization ( $p < 0.01$ ), and recovered after 1 week ( $p < 0.05$ ).

The results indicate that the temporary decline of the MVC force was not accompanied by atrophy of the muscle. Furthermore the decline of the MVC was caused both by the deterioration of peripheral and central functions in the neuromuscular system. Possible factors in the peripheral and central neuromuscular systems affected by the immobilization were discussed.

(*Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 2003, 52: 51-64)

**key word**: voluntary activation, twitch force, cross sectional area, FDI, immobilization

#### 1. 緒 言

寝たきりや骨折などに伴う身体の不活動によって、筋・神経機能は低下し、筋力も減少する<sup>1,2)</sup>。この筋・神経機能には大脳の運動野、脊髄の運動ニューロン、運動終板、筋線維膜、収縮機構等、様々な要因が含まれる<sup>3)</sup>。このような不活動に伴

う筋・神経機能の低下を調べたこれまでの研究では、3週間以上の筋固定を行う長期の研究が多かった。なぜならば、これらの研究は、不活動に伴う筋の萎縮機構の解明<sup>4,5)</sup>や、筋線維組成の変化<sup>6,7)</sup>等に焦点をあてており、これらの変化が生じるのに筋の違いはあるものの、2~3週間かかるからである<sup>1,8)</sup>。

<sup>1)</sup>産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門  
〒305-8566 つくば市東1-1-1

<sup>2)</sup>筑波大学体育科学系  
〒305-8576 つくば市天王台1-1-1

<sup>3)</sup>ワシントン大学生理・生物物理学研究部門  
〒98195 シアトル市

<sup>4)</sup>筑波大学 TARA センター  
〒305-8577 つくば市天王台1-1-1

*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,  
Institute for Human Science and Biomedical Engineering Higashi  
1-1-1, Tsukuba-shi, 305-8566*

*University of Tsukuba, Institute of Health and Sport Sciences  
Tennodai 1-1-1, Tsukuba-shi, 305-8576*

*University of Washington, Department of Physiology and  
Biophysics Seattle, WA 98195, USA*

*University of Tsukuba, Center for Tsukuba Advanced Research  
Alliance Tennodai 1-1-1, Tsukuba-shi, 305-8577*

## 等尺性疲労収縮中の前脛骨筋より導出した筋線維伝導速度の加齢変化

山田 洋<sup>1)</sup> 岡田守彦<sup>2)</sup> 木塚朝博<sup>3)</sup> 金子文成<sup>4)</sup> 増田 正<sup>5)</sup>

**要旨** 本研究の目的は、等尺性疲労収縮中に前脛骨筋より導出した表面筋電図の筋線維伝導速度 (muscle fiber conduction velocity: MFCV) の変化を高齢者と若年者と比較することにより、加齢に伴う筋神経系の適応を評価することであった。63名の健康な女性 (若年者, n=24; 高齢者, n=39) が本研究に参加した。最大随意収縮 (maximal voluntary contraction: MVC, 5秒間) および最大下収縮中 (60%MVC, 疲労困憊まで) に MFCV を算出した。MVC中の背屈トルクと、MFCVを計算するための相互相関係数は、両群において差が認められなかった。MVC時のMFCVは、若年者で高齢者と比較して有意に大きかった ( $p<0.05$ )。最大下収縮中、全ての被験者において筋電図の振幅は増大し、徐波化した。これらは局所筋疲労の進行を示していた。疲労進行に伴い、MFCVは有意に低下し ( $p<0.01$ )、回帰解析より算出したMFCVの疲労による変化速度は、若年者と比較して高齢者で有意に小さかった ( $p<0.01$ )。これは、同じ相対強度の収縮で、高齢者は若年者ほど疲労しないことを意味していた。これらの結果から、高齢者は、加齢によるFT (fast twitch) 線維の選択的な萎縮に起因する筋神経系の劣化を処理するための運動適応戦略を持っていることが示唆された。

### はじめに

筋疲労に関する研究は、神経生理学において極めて重要な問題のひとつである。人口構造が急速に変化し、高齢化しつつある日本を含めた先進国において、疲労特性の把握は、社会経済的な重要性をもつ。これは、とりわけ、高齢者の日常生活行動に不可欠な移動に関連した下肢の筋にあてはまる。

筋疲労の生理学状態を評価するために、表面筋電図が従来広く用いられており、リアルタイム、かつ非侵襲的であるという利点をもつ。例えば、疲労進行に伴い、表面筋電図の振幅が増大し、周波数が低域にシフ

トするということが示されている<sup>1a,20)</sup>。近年、EMG振幅や周波数パラメータにくわえ、筋組織の代謝状態を反映する筋線維伝導速度 (muscle fiber conduction velocity: MFCV) が、他のEMG変数よりもその記録状態に影響を受けづらいという理由から、疲労評価に広く用いられるようになってきている<sup>24,26)</sup>。

しかしながら、MFCVを用いた若年者との比較による高齢者の筋疲労の特性は、いくつかの研究を除いてあまり調べられていない<sup>8,15,20)</sup>。これらの研究においても、計測される被験者は少なく、単に疲労前後の値の比較のみに焦点が当てられている。これらの研究の不十分さの理由は、実験において多数の若年被験者と高齢被験者を集めることが難しいだけでなく、フィールドにおいて精度の高いMFCV計測をすることが難しい点に起因すると考えられる。

本研究の目的は、加齢に伴う筋神経適応の非侵襲的

1) 東海大学体育学部  
2) 筑波大学先端学際領域研究センター  
3) 筑波大学体育科学系  
4) 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門  
5) 東京医科歯科大学疾患生命科学研究所  
受付日: 2003年1月17日  
採択日: 2003年3月8日

# 野球選手の変形性肘関節症 症例における筋力特性

Muscle strength characteristics in baseball players with elbow osteoarthritis

青山信一\*<sup>1</sup>, 村上恒二\*<sup>2</sup>, 車谷 洋\*<sup>2</sup>  
金子文成\*<sup>1</sup>, 松原麻子\*<sup>1</sup>, 澤田辰徳\*<sup>1</sup>

キー・ワード: elbow osteoarthritis, muscle strength characteristic, extension stress

変形性肘関節症, 筋力特性, 伸展ストレス

〔要旨〕野球選手の変形性肘関節症症例における筋力特性(肘関節屈曲, 伸展時の最大トルク, 最大トルク発揮角度, 最大仕事量)を肘関節に障害の既往のない社会人野球選手と比較し, 検討を行った。結果は, 最大トルクは屈曲, 伸展時とも両者間に有意な差はみられなかったが, 伸展時の最大トルク発揮角度および伸展時の最大仕事量は変形性肘関節症症例において有意に低値となった。

伸展時の最大トルク発揮角度の低値は, 投球時の肘伸展ストレスを減弱させるにあたり, より小さな関節arcで処理している可能性が示唆された。これらの結果は, 変形性肘関節症を有する野球選手にみられる投球終末時の疼痛と何らかの因果関係を有するものと考えられる。

## はじめに

野球は日本で最も人気のあるスポーツの1つである。野球の動作には投, 打, 走, 守などがみられるが, これらのうち投球動作は野球を構成する最も重要な要素である。

投球動作によって生じる肘関節部の障害を総称して野球肘<sup>1, 2)</sup> (baseball elbow)と呼び, 骨, 軟骨, 靭帯, 筋腱付着部の障害が含まれる。野球肘は肘関節のどの部位に負荷がかかって発生したかにより, 外側型, 内側型, 後側型に大別される。外側型は橈骨頭と上腕骨小頭部との圧迫により引き起こされ, 内側型は肘関節内側の過緊張, 後側型は肘関節伸展強制によりそれぞれ障害を引き起こす<sup>3)</sup>。

野球選手の変形性肘関節症<sup>3-5)</sup>の臨床症状は肘後側部の障害として肘頭, 肘頭窩にみられることがほとんどである。これは, 強い屈曲を要求される柔道などの競技とは異なり, 野球は肘関節の伸展側に過度の負荷が要求される競技特性によるものと考えられている。

野球を含め, 上肢を過度に使用するスポーツによる変形性肘関節症では, 伸展時の疼痛, 伸展可動域の制限が主訴となることが多い。特に競技レベルの現役選手にとって, 疼痛や関節可動域制限は競技スキルに関わる大きな問題となってくる。

しかし, 肘関節に障害がある野球選手に関する文献は, 整形外科領域, リハビリテーション領域において散見されるが, 筋力特性についての報告は非常に少ない。

そこで本研究の目的は, 野球選手の変形性肘関節症症例における筋力特性を肘関節に障害の既往のない社会人野球選手と比較検討し, 明らかにす

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院医学系研究科保健学

\*<sup>2</sup> 広島大学医学部保健学科

原著論文：第17回研修会選定優秀論文

# 膝前十字靭帯再建術後における 大腿四頭筋機能変化の要因と リハビリテーションプログラムへの応用

金子文成\*、中村祥和\*\*、川口浩太郎\*\*\*、  
浦辺幸夫\*\*\*、大成浄志\*\*\*

キーワード：膝前十字靭帯、大腿四頭筋、リハビリテーション

ORIGINAL ARTICLE

## Factors of Functional Disruption in Quadriceps Femoris Muscle Following ACL Reconstruction and Providing Logical Support for Rehabilitation Program Based on Evidence

Fuminari KANEKO\*, Yoshikazu NAKAMURA\*\*,  
Kotaro KAWAGUCHI\*\*\*, Yukio URABE\*\*\*,  
Kiyoshi ONARI\*\*\*

**Key words:** anterior cruciate ligament, quadriceps femoris muscles, rehabilitation

### ABSTRACT

It was demonstrated that the functional changes of human quadriceps femoris muscles on the two kind of performance levels (1.maximum voluntary contraction (MVC), 2.reaction time during MVC) following anterior cruciate ligament reconstruction. The

Morphological and physiological factors, for explanation in examined parameters in our previous studies, were discussed in the present article. The goal of this article was to indicate a part of the logical background of rehabilitation program to improve the disrupted quadriceps femoris muscles function during 2-4 months following ACL reconstruction.

\* 独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

〒734-8551 広島県広島市南区霞1-2-3

\*\* 広島共立病院リハビリテーション科

\*\*\* 広島大学医学部保健学科

\* National Institute of Bioscience and Human-Technology

1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8566

E-mail: f-kaneko@aist.go.jp

\*\* Hiroshima Kyoritsu Hospital

\*\*\* Institute of Health Science, Faculty of Medicine  
Hiroshima University

# 肘関節投球障害を有する 野球選手の肩関節筋力の検討

## An analysis of shoulder muscle strength in baseball player with elbow throwing disorder

車谷 洋<sup>1)</sup>, 村上 恒二<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>2)</sup>

Hiroshi KURUMADANI<sup>1)</sup>, Tsuneji MURAKAMI<sup>1)</sup>, Fuminari KANEKO<sup>2)</sup>

1) 広島大学医学部保健学科

Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hiroshima University

2) 独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Institute for Human Science and Biomedical Engineering Neuromuscular Assistive Technology Group.

**Key words** : Motion pain of elbow medial aspect, Shoulder external rotator muscles, Muscle strength characteristic

### 【要旨】

肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節周囲筋力について検討することを目的とした。肘 MCL 損傷群、肘 OA 群、肘 UND 群、および肘に障害のない対照群を対象とした。これらに対して、肩関節外旋筋力、内旋筋力を測定し検討した。肩関節外旋筋力において、対照群と肘 MCL 損傷群および肘 UND 群との間に有意差があり、肘 MCL 損傷群および肘 UND 群が有意に低値を示していた。肘関節投球時内側部痛を有する野球選手では肩関節外旋筋力が低下する傾向があると思われた。

### はじめに

肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節筋力に関する報告は散見される。しかしながら、肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節周囲筋力に関する報告は非常に少ない。本研究の目的は、肘関節投球障害を有する野球選手の肩関節外旋筋力、および内旋筋力について調査することである。

### 対象と方法

広島大学附属病院リハビリテーション部肩・肘スポーツ外来を受診し初診時に、肘関節内側副韧带損傷12名（以下 MCL 群と略す）、変形性肘関節症8名（以下 OA 群と略す）、および肘尺骨

神経障害10名（以下 UND 群と略す）と診断された野球選手を対象とした。また、肩関節、および肘関節に障害のない社会人野球選手18名を対照群とした。対象の身体的特徴は表1に示す。MCL 群、OA 群、および UND 群の対象は、肘関節投球時痛を訴えるのみで、肩関節投球時痛を訴える者はいなかった。肘関節投球時痛は、MCL 群では late cocking phase の後半からボールリリースにかけて、OA 群ではボールリリースからフォロースルーにかけて、UND 群では late cocking から acceleration phase にかけて生じていた。また、肘関節の疼痛は野球の投球動作以外の場面では出現せず、日常生活には全く支障がなかった。

これらに対して Cybex NORM を用い、等速

## 筋疲労による主動筋および拮抗筋脊髄運動ニューロン興奮性の変化 —誘発筋電図H波およびM波からの分析—

王 国祥<sup>1)</sup>, 大成浄志<sup>2)</sup>, 川口浩太郎<sup>2)</sup>, 金子文成<sup>3)</sup>, 趙 金花<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 広島大学大学院医学系研究科

<sup>2)</sup> 広島大学医学部保健学科

<sup>3)</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所

受付 平成13年11月1日

受理 平成14年1月21日

本研究では、筋疲労に伴う主動筋および拮抗筋脊髄運動ニューロン興奮性の変化を明らかにするため、等尺性足関節底・背屈運動前後のヒラメ筋H波およびM波の経時的な変化を観察した。対象は健康な男子10名とし、最大随意筋収縮(MVC)の50%の足関節等尺性運動を行った。その結果、(1)底屈運動によるヒラメ筋の疲労後、Hmax/Mmax(最大H波とM波の振幅比)は、安静時と比較して $57.37 \pm 12.97\%$ に低下し、この低下は運動終了30分後においても $74.90 \pm 10.89\%$ であった。このことから、筋疲労に伴い、筋を支配する脊髄運動ニューロンが長時間抑制されることが示唆された。(2)背屈運動による前脛骨筋の疲労後、拮抗筋であるヒラメ筋のHmax/Mmaxが、安静時と比較して $70.13 \pm 8.85\%$ に低下した。運動終了後、徐々に回復し、8分程で安静時のレベルに回復した。(3)前脛骨筋の疲労後、拮抗筋であるヒラメ筋のHthr(H波閾値)は安静時と比較して有意に増加した。(2)と(3)により、主動筋の疲労によって、主動筋のみならず運動を行っていない拮抗筋脊髄運動ニューロンも抑制を受けていることが明らかになった。

**Key words** : 筋疲労, 拮抗筋, 運動ニューロン, H波

筋疲労に伴う最大随意筋力の低下は多くの生理学的機序が複雑に絡み合っていることが知られている。すなわち、大脳での筋力発揮指令の量的な低下<sup>20)</sup>、主動筋における脊髄運動ニューロン興奮性の低下もしくは抑制性の増大<sup>4,13,20)</sup>、神経筋接合部不全<sup>20)</sup>および末梢感覚器からの求心性入力の変化<sup>20)</sup>等が報告されている。これらの中で、脳からの下行性運動指令と末梢感覚器からの求心性入力を整理・統合する脊髄反射機構が持つ意義は大きい。筋疲労による脊髄反射機構への影響に関する研究は、ヒトの脊髄反射電位—H波(Hoffmann reflex)または動物実験で脊髄単シナプス反射法を応用することにより数多く行われ、その筋を支配する運動ニューロンの興奮性が低下すると報告されている<sup>2,7,13)</sup>。また、Haywardら<sup>14)</sup>は除脳ネコにおいて内側腓腹筋を選択的に電気刺激することにより筋を疲労させた後、収縮させていなかったヒラメ筋の筋力も低下することを報告している。この協同筋として

のヒラメ筋の反射抑制は、疲労した内側腓腹筋の求心性入力と、Renshaw細胞の活動に由来するものであるが、筋からの求心性インパルスに依存するところが大きいと推察されている。

収縮筋のIa群線維からの求心性インパルスが、同名筋と協同筋の運動ニューロンに興奮作用を及ぼすとともに、拮抗筋の運動ニューロンを抑制して相反抑制を形成する<sup>20)</sup>。これは、関節を一定角度に保持するため、主動筋が収縮する際に、拮抗筋の弛緩を引き起こす神経反射機構として知られている。しかし、主動筋に筋疲労が生じた場合、相反抑制が働かない可能性があり、肉離れのような筋損傷を起こす原因の一つであると考えられる。一方、古くから疲労による動作回復速度の低下や、不規則性の増大などは、相反抑制のような神経反射回路の失調により巧緻動作を遂行することが困難になった結果であると推測されている<sup>17)</sup>。しかし、筋疲労により相反抑制を起こす神経反射回路の

# 身体部分慣性係数が歩行動作の力学的解析におよぼす影響

横井 孝志<sup>1)</sup>, 横澤 俊治<sup>2)</sup>, 山田 洋<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>1)</sup>, 佐藤紀久江<sup>3)</sup>

Effects of body segment inertia parameters on biomechanical analysis of walking movement

Takashi Yokoi<sup>1)</sup>, Toshiharu Yokozawa<sup>2)</sup>, Hiroshi Yamada<sup>1)</sup>, Fuminari Kaneko<sup>1)</sup>, Kikue Satoh<sup>3)</sup> (<sup>1)</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>2)</sup>Doctoral Program in Health and Sport Sciences, Univ. of Tsukuba, <sup>3)</sup>Doctoral Program of Comprehensive Human Sciences, Univ. of Tsukuba)

Effects of body segment inertia parameters (BSP) on biomechanical interpretation were investigated through the biomechanical analysis of walking at four speed levels.

Two subjects were asked to perform 15 walks at each speed level. The 15 walking trials in each speed level were measured using an automatic coordinate acquisition system and a force platform. Kinematic and kinetic variables were computed using five sets of BSP; 1) BSP 0: Average value for young adult athletes reported by Ae et al. (1992), 2) BSP 1: Average value for the elderly male reported by Okada et al. (1996), 3) BSP 2: Average value for the elderly female reported by Okada et al. (1996), 4) BSP 3: Average value for the aged cadavers reported by Chandler et al. (1975), 5) BSP 4: Average value for three-year-old children reported by Yokoi et al. (1986).

The significant differences of mechanical variables of walking movement appeared among BSP sets and among speed levels. However, the tendencies of differences in the mechanical variables among BSP sets were similar in all speed levels. Also, changes in the variables due to the increase in speed level were observed to have similar tendencies in five BSP sets. Therefore, as far as we apply one BSP to a certain subject and focus on relative characteristics of mechanical variables calculated by using a BSP set, the use of inappropriate BSP values may have little effect on the results and their interpretation obtained through the biomechanical analysis of human movement.

**Key words:** Body segment inertia parameters, Biomechanical motion analysis, Walking motion

## 1. はじめに

画像計測にもとづいた身体運動の生体力学的解析では、身体を剛体セグメントから成るリンク系(剛体リンクモデル)としてモデル化し、各セグメントの質量、重心位置、慣性モーメント等に関する係数(身体部分慣性係数, body segment inertia parameters; BSP)を与えることにより、関節トルクや生体内力等が推定されている(横井 1993, 阿江 1996, 阿江 1997)。このとき与える身体各セグメントの質量、重心位置、慣性モーメントについては、動作計測において用いる被験者の身体部分慣性特性を直接的に精度よく計測し、これを用いることが理想的であろう。しかしながら、直接計測することの煩雑さもあり、現状では既存の文献において提供されている BSP のうち、動作計測対象者の年齢、性別、体格に適していると考えられるものを用いて身体部分慣性特性を推定し、これを対象者の身体部分慣性特性として用いている。このとき、姿勢や体液移動等による身体各セグメントのサイズや形状の変化はないとの暗黙の仮定も設けられている。中には、例えば Schultz et al (1992) のように、若年者と高齢者の立ち座り動作の力学的解析において、両者に同一の BSP を適用しているものもしばしば見られる。

これまでの BSP は、屍体の直接計測、数学モデルによる推定等によって求められた成人、乳児、幼少年、高齢者の値が、例えば身体質量に対する比、セグメント長に対する比等の正規化したかたちで提供されている(松井 1956, Jensen 1986, 横井ら 1986, 阿江ら 1992, 岡田ら 1996)。このように正規化したかたちで係数を適用することにより、係数取得に用いた標本とは体格や身体プロポジションがやや異なる動作計測対象者の身体部分慣性特性を、正規化しない場合に比べて適正に推定できると考えられる。ところが、このような従来の方法では、

<sup>1)</sup>YOKOI Takashi, YAMADA Hiroshi, KANEKO Fuminari : 産業技術総合研究所

<sup>2)</sup>YOKOZAWA Toshiharu : 筑波大学体育科学研究科

<sup>3)</sup>SATOH Kikue : 筑波大学医科学研究科

**Key words:** 身体部分慣性係数, バイオメカニクス的動作解析, 歩行動作

(受付日: 2001 年 10 月 13 日, 受理日: 2002 年 2 月 19 日)

(9)

## 肩外旋動作に伴う表層筋群と腱板の筋活動様相

(筑波大学体育科学系) 木 塚 朝 博

(筑波大学体育科学研究科) 八 十 島 崇

(水戸赤十字病院) 埜 口 博 司

(産業技術総合研究所) 金 子 文 成

(筑波大学体育科学系) 白 木 仁, 宮 永 豊

### 1. はじめに

肩は日常生活動作やスポーツ動作における様々な場面において様々な機能を発揮することを求められている。そのために肩関節は、他の関節と比べて最も大きな可動域を持ち、多くの骨、関節包、腱、筋などが複雑に配置されている。狭義に肩関節とは、上腕骨頭と肩甲骨関節窩からなる肩甲上腕関節をさす。しかし、大きな可動域、様々な動きを理解するために、肩甲上腕関節、肩鎖関節、胸鎖関節の解剖学的構造、さらに肩甲骨胸部関節の機能的構造を加えた肩複合体 (shoulder complex) を肩関節と捉える考え方が一般的である (図1)。したがって、肩の機能性

を考える場合、肩甲上腕関節とそれに関わる筋群だけではなく、肩甲骨の動きとそれを支える筋群をも考慮しなければならない。

肩関節に関与する筋は、上腕骨と肩甲骨に付着する三角筋群、腱板 (棘上筋、棘下筋、小円筋、肩甲下筋)、肩甲骨と体幹の骨に付着する僧帽筋群、菱形筋、上腕骨と体幹の骨に付着する広背筋、大胸筋、さらに肩甲骨と前腕の骨に付着する上腕二頭筋、上腕三頭筋などである (図1)。腱板など深層部にある筋群は inner muscles と呼ばれ、主に肩甲上腕関節の安定化を図る stabilizer としての機能を、三角筋などの表層筋は outer muscles と呼ばれ、動作トルクに直接貢献する mover としての機能を有すると言われるが、常にそれだけであるわけではない。同一筋でも、動作角度、負荷強度によって、時に mover として、時に stabilizer としてその機能を果たしているために、肩はデリケート、あるいは神秘的ときえ言われてきた。

しかしながら、スポーツ障害、40・50肩、亜脱臼などの肩に関する治療やリハビリテーションの必要性増大から、また磁気共鳴画像 (MRI) の計測技術や埋入ワイヤー電極を用いた筋電図計測技術の発達により、その神秘性を掻こうとする流れが強くなってきた。

これまでに、肩のメカニズムを筋電図学的に明らかにしようとした研究の主なものとして、腱板の活動特性に関するもの<sup>1-6)</sup>、実際のスポーツ動作中の腱



図1 肩関節

## (4)

## 疲労筋電図を用いた筋・神経機能の非侵襲的評価

(産業技術総合研究所) 山田 洋, 増田 正, 横井孝志, 金子文成  
 (筑波大学体育科学系) 木塚朝博, 岡田守彦  
 (明治大学兼任講師) 金子公宏

## 1. はじめに

今日、筋力や筋持久力といった筋のパフォーマンスが筋線維組成に依存することは周知の事実である。例えば、速筋 (first twitch fiber ; FT 線維) が優位な者は収縮力が強く、瞬発力に富むが疲れやすい。これに対し、遅筋 (slow twitch fiber ; ST 線維) が優位な者はその逆の特性を持つ。この筋線維組成は、筋の代謝特性をはじめとする筋・神経機能を反映している。人の筋線維組成は主にニードルバイオプシー法によって調べられてきたが、この手法は侵襲的(観血的)であるという決定的な弱点があった。近年、磁気共鳴法を用いることによって非侵襲的に筋の代謝機能や動員動態を評価しようとする試みがなされている。磁気共鳴映像法 (magnetic resonance imaging ; MRI) では筋の形態や動員状態を、磁気共鳴分光法 (magnetic resonance spectroscopy ; MRS) からは筋の代謝機能を見積もることができる。また、近赤外線分光法やドップラー法等の新技术も開発されている。しかしながら、これらの装置はいずれも高価で大規模であるために、一部の研究に用いられるだけであり、誰でも手軽に用いることができるとは言い難い。

そこで我々は、これらの問題を解決するために筋・神経機能の評価法として、疲労筋電図に着目した。疲労進行に伴い表面筋電図の振幅は増大し、周波数は低域にシフト (徐波化) する。振幅増大は個人差が大きい。後者の周波数シフトは、ほとんどの被

験者において認められ、再現性も高いことから筋疲労の評価法としてほぼ確立されている。この周波数は誰でも手軽に計測でき、汎用解析ソフトも普及している。この周波数シフトは主として筋線維伝導速度の低下に起因することが報告されており<sup>1)</sup>、筋の代謝系能力を反映している<sup>2)</sup>。この周波数シフトの度合いについて、Komi and Tesch<sup>3)</sup> は、FT 線維の割合と疲労中に観測された表面筋電図平均周波数の低下速度の間の正の相関関係を示した。また、Sadoyama<sup>4)</sup> は多点表面電極を用いて計測された筋線維伝導速度の絶対値と FT 線維の割合に有意な正の相関関係があることを示し、筋線維伝導速度から筋線維組成を推定できる可能性を示唆している。これに対し、振幅増大は運動単位の動員や発火特性の変化により生じることが報告されている<sup>5,6)</sup>。

このように疲労筋電図の振幅情報からは運動単位の動員度を、周波数情報からは筋の代謝系能力や筋線維組成をある程度見積もることができるため、De Luca<sup>7)</sup> は表面筋電図計測を用いて筋線維組成を推定する *EMG biopsy* の可能性を唱えている。しかしながら、これら疲労筋電図の変化動態を詳細に検討し、これを筋線維組成や運動単位動員度の評価指標にしようとした試みはみられない。上述したように、これら表面筋電図の周波数特性値は比較的簡便で手軽に計測できるため、データベース化することによって体育・スポーツ科学、人間工学、リハビリテーション医学等の分野に広く応用できる可能性がある。本研究では、運動経験、加齢、不活動等の要因が疲労筋電図の変化動態に及ぼす影響を調べ、筋・神経機

# Electromechanical Delay After ACL Reconstruction: An Innovative Method for Investigating Central and Peripheral Contributions

Fuminari Kaneko, PT, PhD<sup>1</sup>

Kiyoshi Onari, MD, PhD<sup>2</sup>

Kotaro Kawaguchi, PT, PhD<sup>3</sup>

Kazuhiro Tsukisaka, MD<sup>4</sup>

Serge H. Roy, PT, ScD<sup>5</sup>

**Objectives:** The purpose of this study was to investigate the electromechanical properties of atrophied muscle in patients with anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and to examine the relationship of changes in these properties for a voluntarily elicited maximal isometric contraction and peripherally stimulated twitch contraction.

**Background:** It is not known if, following ACL reconstruction, a prolonged reaction time to a sudden stimulus is due to impaired proprioception in the knee joint, a prolonged processing interval in the central nervous system, or a greater elasticity in the series elastic component of the quadriceps femoris.

**Methods:** Seventeen patients were recruited 2 to 3 months following a unilateral ACL reconstruction. Both the involved leg (ACL-invo group) and the uninvolved leg (ACL-uninvo group) were studied. Twenty-two athletes (training group) and 18 control subjects (control group) were also tested. These subjects performed voluntary maximal isometric contraction (MVC) of the quadriceps femoris. Maximal twitch response was also elicited by a supramaximal electrical stimulation to the femoral nerve, and surface electromyograms were recorded from the vastus lateralis in all four groups.

**Results:** Total reaction time for MVC in the ACL-invo group (250.47 ms) was prolonged compared to that of the control and training groups. Twitch response in the ACL-invo group (25.26 ms) was prolonged compared to that of the other three groups. Premotor time during both MVC and twitch response did not differ among the four groups. Electromechanical delay during MVC (53.62 ms) and the evoked electromechanical delay in twitch response (20.04 ms) were prolonged in the ACL-invo group as compared to the other three groups.

**Conclusions:** Prolonged electromechanical delay in twitch response may be due to peripheral physiological disruptions (eg, stiffness of the series elastic component, changes of peripheral

muscle fiber-type composition, or a decrease in function of the excitation-contraction coupling process). A prolonged electromechanical delay in twitch response can also explain the prolonged electromechanical delay observed for MVC. These findings suggest that prolonged total reaction time in MVC, when secondary to a visual stimulus in atrophied human quadriceps femoris muscle after ACL reconstruction, may be principally due to prolongation of electromechanical delay produced by peripheral physiological alterations. However, the contribution of premotor time to prolonged total reaction time was not revealed. Our results do not completely eliminate the possibility that central nervous system processing time and other neural factors are involved in the prolongation of reaction time. *J Orthop Sports Phys Ther* 2002;32:158-165.

**Key Words:** anterior cruciate ligament, electromechanical delay, electromyography, muscle atrophy, series elastic component

<sup>1</sup> Research scientist, Neuromuscular Assistive Technology Group, Institute for Human Science and Biomedical Engineering, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Japan.

<sup>2</sup> Professor, Institute of Health Sciences, Hiroshima University School of Medicine, Hiroshima, Japan.

<sup>3</sup> Research associate, Institute of Health Sciences, Hiroshima University School of Medicine, Hiroshima, Japan.

<sup>4</sup> Physician, Division of Orthopaedics, Hiroshima Kyoritsu Hospital, Hiroshima, Japan.

<sup>5</sup> Associate professor, Neuromuscular Research Center, Boston University, Boston, MA.

This study was approved by the Institutional Review Board of the Faculty of Medicine at Hiroshima University.

Send correspondence to Fuminari Kaneko, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Institute for Human Science and Biomedical Engineering, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8566, Japan. E-Mail: f-kaneko@aist.go.jp

**A** reduction in muscle strength is often accompanied by muscle atrophy.<sup>2,6,13,20,23,25,28,30,31,33</sup> However, this reduction in strength may be relatively greater than the decrease

# 野球選手の肘関節周囲筋筋力特性

## —変形性肘関節症症例との比較—

The muscle strength characteristic around elbow joint in baseball players

— A comparison with elbow osteoarthritis players —

青山 信一<sup>1)</sup>, 村上 恒二<sup>2)</sup>, 清水 順市<sup>2)</sup>

Shinichi AOYAMA, Tsuneji MURAKAMI, Junichi SHIMIZU

金子 文成<sup>1)</sup>, 車谷 洋<sup>1)</sup>, 澤田 辰徳<sup>1)</sup>

Fuminari KANEKO, Hiroshi KURUMADANI, Tatsunori SAWADA

1) 広島大学大学院医学系研究科保健学

Graduate School of Medical Science, Hiroshima University

2) 広島大学医学部保健学科

Key Words : elbow osteoarthritis, maximum torque exertion angle, extension stress

**【要旨】**野球選手の肘関節周囲筋筋力特性を、肘関節に障害の既往のない選手と、変形性肘関節症（以下OA）と診断された選手との間で比較検討を行った。その結果、最大トルクは屈曲・伸展時とも両者間に有意な差はみられなかった。伸展時最大トルク発揮角度は、OA症例において有意に低値となった。これにより、OAを有する野球選手は、投球時の肘伸展ストレス減弱にあたり、より小さな関節arcで処理している可能性が示唆された。

### はじめに

投球動作によって生じる肘関節部の障害を総称して野球肘（baseball elbow）と呼び、骨、軟骨、靭帯、筋腱付着部の障害が含まれる<sup>1-2)</sup>。今回の研究では野球選手の変形性肘関節症（以下OA）について取り上げた。OAの臨床症状は肘後側部の障害として肘頭、肘頭痛にみられることがほとんどである<sup>3,4)</sup>。野球は肘関節の伸展側に過度の負荷が要求される競技であり、OAでは伸展時の疼痛、伸展可動域の制限が主訴となることが多い。特に競技レベルの現役選手にとって、疼痛や関節可動域制限は競技スキルに関わる大きな問題となってくる。しかし、肘関節の障害の有無によ

る肘関節周囲筋筋力特性については、これまでほとんど明らかにされていない。そこで本研究の目的は、野球選手の肘関節周囲筋筋力特性を肘関節に障害の既往のない選手とOAを有する選手との間で比較検討し、明らかにすることである。

### 対象

広島大学医学部附属病院リハビリテーション部肩肘スポーツ外来を受診し、OAと診断された野球選手10例（以下OA群）および肘関節に障害の既往のない社会人野球選手13例（以下健常群）を対象とした。OA群および健常群の身体的特徴と内訳は表1のとおりである。なお、OA群の診断時における理学所見として valgus extension

# 肘関節内側側副靭帯再建術後の リハビリテーション

Rehabilitation program for elbow medial collateral ligament reconstruction

金子文成\*<sup>1</sup>, 車谷 洋\*<sup>2</sup>, 村上恒二\*<sup>2</sup>

キー・ワード: Elbow, Medial collateral ligament injury, Rehabilitation  
肘関節, 内側側副靭帯損傷, リハビリテーション

【要旨】 肘関節内側側副靭帯再建術後は、再建靭帯の生着過程を十分に考慮し、段階的なプロトコールに従ったリハビリテーションを行うことが必要である。しかし、本邦においては靭帯再建術後早期から完全復帰までの靭帯再建術後リハビリテーションの内容について詳細に述べた論文は比較的少ない。本論文では、まず初めに靭帯再建術後リハビリテーションの科学的根拠となる生体力学および組織学的研究をレビューした。その後、それらの研究を基にして我々が実践してきた、段階的靭帯再建術後リハビリテーションプログラムを紹介するとともに、機能回復に関するデータを供覧した。

## はじめに

村上らはこれまでに肘関節内側側副靭帯再建（以下、靭帯再建）術後、スポーツ復帰の成績が比較的良好であることを報告してきた<sup>11,20</sup>。特に、靭帯再建後のスポーツ復帰を考えたときには、再建靭帯が動的な場面で生じる肘関節外反ストレスに抗した力学的強度を獲得するとともに、その外反ストレスから靭帯を保護する役割をこなす筋機能の獲得が重要であると考えられる。このため、段階的なプロトコールに従ったリハビリテーションを行うことが必要である。しかし、本邦においては靭帯再建術後早期から完全復帰までの靭帯再建術後リハビリテーションの内容について詳細に述べた論文は比較的少ない。そこで本稿では、リハビリテーションプログラム作成の過程で根拠となる生体力学的研究をレビューし、我々

が実践してきた靭帯再建術後プログラムを紹介するとともに、機能回復に関するデータを供覧する。

また、ここでは特に病院内における理学療法ではなく、外来による定期的な診察および理学療法の指導を中心に考えたリハビリテーションの内容とした。そのため、医療機関への頻繁な通院や理学療法士が徒手的に行わなくてはならないような理学療法の内容はできるだけ少なくできるように配慮した。

## ■ 投球動作と肘関節内側側副靭帯に生じるストレス

肘内側側副靭帯前方線維（以下、AMCL）は肘関節の primary stabilizer である<sup>19,26</sup>。このため、投球やテニスのストロークなどの投擲動作による靭帯損傷は肘関節内側側副靭帯（以下、MCL）のなかでもとりわけ AMCL に多いことが明らかになっている<sup>11,12,20~25</sup>。この原因となるストレスは、動作中の肘関節外反トルクにより生

\*<sup>1</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所

\*<sup>2</sup> 広島大学医学部保健学科

# 第19回ユニバーシアード 冬期競技大会－理学療法室活動報告と 今後の展望－

The present article describes the work of a physical therapist in the headquarters' medical office of the Japanese team during the 19th Winter Universiade Games

金子文成\*<sup>1</sup>, 大西祥平\*<sup>2</sup>

キー・ワード: Universiade, Physical therapy, Athletic trainer  
ユニバーシアード, 理学療法, トレーナー

【要旨】 第19回ユニバーシアード冬期大会における選手団本部理学療法室の活動を報告する。

まず理学療法室の運営, 処置部位やその内容, 処置件数などを資料として提示した。つぎに, 本大会においては選手団本部理学療法室は各選手団に帯同したトレーナーも協同利用できるようなオープンルーム化した。他のメディカルスタッフとの関わりの重要性および国内外の世界大会における今回のスポーツ医科学サポートシステムの有用性について考えた。ユニバーシアード大会は, トレーナーシステムを考える上でスポーツ界全体の縮図のような側面をもっており, このような大会においてシステムを模索していくことは重要であるものと思われた。

## はじめに

第19回ユニバーシアード冬期大会は1999年1月22日から1月30日に渡って, スロバキアで開催された。参加国数は40カ国, 総参加選手・役員は1,412名であった。そのうち, 日本選手団は選手78名(男性57名, 女性21名), 役員33名, そしてエキストラオフィシャル19名の合計130名であった。日本が参加した競技種目はスキー(アルペン, クロスカントリー, ジャンプ, ノルディック複合, スノーボード), スケート(フィギュア, ショートトラック), アイスホッケーであり, 今回はバイアスロン競技にのみ参加しなかった。

本部医務班は他の本部職員およびアイスホッケー選手団とともに残る競技団体選手団に2日先立って, 1月16日に出発した。このため現地到着

後は, まず医務室開設の準備を行うとともに, 選手村内の衛生環境を含めた住環境の把握に努め

表1 各競技に帯同したメディカルスタッフの詳細

競技	帯同	人数	医療資格等	
スキー	アルペン	トレーナー	1	コンディショニングコーチ
	クロスカントリー	トレーナー	1	柔道整復士, 鍼灸師, マッサージ師
	ジャンプ			
	ノルディック複合			
スノーボード	トレーナー	1	鍼灸師, マッサージ師 公認アスレティックトレーナー	
スケート	フィギュア			
	ショートトラック	医師	1	整形外科
アイスホッケー		医師	1	内科
		トレーナー	1	鍼灸師, マッサージ師

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院医学系研究科保健学

\*<sup>2</sup> 慶應義塾大学スポーツ医学研究センター

# 肘関節内側側副靭帯再建術後の 肘関節周囲筋の回復

## Recover of muscle strength following medial collateral ligament reconstruction surgery in elbow joint

車谷 洋<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>1)</sup>, 澤田 辰徳<sup>1)</sup>  
Hiroshi KURUMADANI, Fuminari KANEKO, Tatsunori SAWADA

田竈 慶一<sup>1)</sup>, 青山 信一<sup>1)</sup>, 村上 恒二<sup>2)</sup>  
Keiichi TAGOMORI, Shinichi AOYAMA, Tsuneji MURAKAMI

1) 広島大学大学院医学系研究科保健学

Graduate School of Medical Science, Hiroshima University

2) 広島大学医学部保健学科

Key Words : Medial Collateral Ligament Injury, Elbow Joint, Rehabilitation

**【要旨】**肘内側側副靭帯(MCL)再建術後の筋力回復を検討した。対象はMCL再建術前群、靭帯再建術後4.8ヶ月群、術後8.1ヶ月群、術後13.2ヶ月群、および対照群とした。検討には肘関節屈曲、伸展ピークトルク値、及び屈曲/伸展比を用い、各群間で比較検討した。肘関節屈曲筋力、伸展筋力ともに、術後4.8ヶ月群は術後13.2ヶ月群及び対照群に比して有意に低値を示していた。このことは、段階的リハビリテーションの影響が大きいものと考えられた。

### はじめに

野球の投球動作に起因する障害には、肘関節内側側副靭帯損傷、変形性肘関節症、遅発性尺骨神経障害などがある。中でも、肘関節内側側副靭帯損傷(以下MCL損傷と略す)は代表的な投球障害の一つであり、復帰までに長期間を要することが多い。MCL損傷は損傷の程度により、肘関節内側側副靭帯再建術が行なわれる。この靭帯再建術後リハビリテーションに関する報告は散見されるが<sup>1)</sup>、肘関節内側側副靭帯再建術前後の筋力特性に関する報告は非常に少ない。今回の目的は、肘関節内側側副靭帯再建術前後の肘関節周囲筋筋力の回復を検討することである。

### 対 象

対象は広島大学附属病院リハビリテーション部、肩・肘スポーツ外来を受診して、肘関節内側側副靭帯損傷と診断された野球選手14名(術前群)、靭帯再建術後4.8ヶ月症例9名(A群)、靭帯再建術後8.1ヶ月症例6名(B群)、靭帯再建術後13.2ヶ月症例6名(C群)、および全例都市対抗野球出場レベルの社会人野球選手27名(対照群)とした。術前群、術後4.8ヶ月症例、術後8.1ヶ月症例、術後13.2ヶ月症例、および対照群の身体的特徴を表-1に示す。

肘関節周囲筋等速性筋力測定にはCybex NORMを使用し、角速度は60deg/secとした。測定肢位は背臥位とした。測定時の肘関節関節可動域は全被検者、肘関節屈曲10°～屈曲120°の範

# 肩関節周囲筋の活動様相と 運動速度との関係について

## The relationship between electromyographic activity and movement velocity during arm elevation in shoulder joint

田籠 慶一<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>1)</sup>,

Keiichi TAGOMORI, Fuminari KANEKO

川口 浩太郎<sup>2)</sup>, 浦辺 幸夫<sup>2)</sup>, 大成 浄志<sup>2)</sup>

Kotaro KAWAGUCHI, Yukio URABE, Kiyoshi ONARI

1) 広島大学大学院医学系研究科保健学専攻

Graduate School of Medical Sciences, Hiroshima University

2) 広島大学医学部保健学科

Key Words : electromyography, velocity, shoulder

【要旨】本研究では上肢の挙上速度が肩関節周囲筋に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、健康肩を対象として、3種類の運動速度で上肢挙上運動を行い、肩関節周囲筋の活動様相を筋電図学的に検討した。挙上速度が速くなると、僧帽筋下部線維の筋活動開始時期が早くなるとともに、僧帽筋上・下部線維の筋活動最大値が早期に移行した。このことから挙上速度を速くすると、より早期に肩甲骨の上方回旋を行わせるように筋活動様相が変化することがわかった。

## 緒言

ヒトの運動形態を調節する神経機序はシナジイと呼ばれており、シナジイの選択は筋群の活動順序や賦活パターンに反映される<sup>1)</sup>。そのため、運動速度などのような運動環境の変化により筋活動様相は変化すると考えられる。特に上肢挙上運動においては肩甲骨・腕関節以外にも多くの関節が運動に関与するため多くの筋が運動に関与すると考えられ、運動速度によって筋群の活動様相がどのように変化するかは臨床的にも興味深い。

そこで本研究では、運動速度の違いにより肩関節周囲筋の活動様相がどのように変化するかを明らかにし、臨床応用のための対照データを得るこ

とを目的とした。

## 対象および方法

### 1. 対象

肩関節に障害の既往がない、健康な男性9名(平均年齢 $22.7 \pm 1.3$ )・9肩関節を対象とした。測定は全員の利き手である右肩関節で行った。

### 2. 方法

#### 1) 運動の設定

挙上運動は速度を30deg/sec, 180deg/sec, 最大努力での挙上(以下max)の3種類に分けて行った。運動速度を規定するためにメトロノームのリズムに合わせてできるだけ一定の速度で運動するよう指示した。なお、事前にメトロノームの

# Discrimination of athletic characteristics based on exercise physiology and serum biochemistry

Kotaro Kawaguchi<sup>1)</sup>, Fuminari Kaneko<sup>2)</sup>, Yusuke Hanafusa<sup>3)</sup>, Yukio Urabe<sup>1)</sup>, Kiyoshi Onari<sup>1)</sup> and Tsuneji Murakami<sup>1)</sup>

キーワード (Key words) : 1. Institute of Health Sciences, Hiroshima University Faculty of Medicine  
2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
3. Graduate School of Medicine, Hiroshima University

## ▶▶ ABSTRACT

The purpose of the present study is to determine whether athletic characteristics can be discriminated by changes in serum components during exercise which are considered to reflect systemic endurance capacity, muscle strength, and the energy metabolism system. Thirteen male long-distance athletes and 8 male short-distance and field athletes performed an incremental exercise test, muscle strength, and endurance test. They were also observed for changes in serum components during exercise. According to data analysis, the discriminant function thus obtained was:

$$Z = 0.8220 \times \text{peakVO}_2 + 0.0037 \times \text{AT} + 0.0010 \times \text{MVC} + (-0.0276) \times 60 \text{ deg/sec} + 0.2629 \times \text{MVC 50\% time} + (-0.8715) \times \text{UN} + 36.1659$$

(peakVO<sub>2</sub>: measured value of peak VO<sub>2</sub>, AT: % peakVO<sub>2</sub>, MVC: measured value of the isometric muscle strength, 60 deg/sec: peak torque of the isokinetic muscle contraction at 60 deg/sec, MVC 50% time: the time for the previously determined isometric muscle strength value to become less than 50%, UN: the increase rate of UN from the value at rest to the maximum value) .

Subjects were classified into the actual group correctly, while the erroneous discriminant rate was 0.73%. In particular, weighting of the discriminant coefficient of peakVO<sub>2</sub> and UN was large, indicating that these are useful as parameters for discriminating athletic characteristics.

## ▶▶ INTRODUCTION

It is well known that in athletic sports the results are largely dependent on physical strength and skill (11) . Ikai has demonstrated that from the standpoint of the ability to display energy, the three elements involved in physical strength are muscle strength, speed, and endurance (8) . A number of reports have been made on the muscle strength and endurance of athletes (2-4,7) , and a consistent relationship has been observed between slow twitch fibers and maximum oxygen consumption (V O<sub>2</sub>max) . It can therefore be understood that the muscle fiber type of athletes shows a characteristic pattern according to the type of sport.

Histochemical evaluation of specimens obtained by muscle biopsy is commonly employed in evaluating muscle fiber type (14) . Muscle biopsy, being an invasive procedure, constitutes a considerable burden on athletes, and thus, considerable difficulty is faced in its use in sport. From this viewpoint, Gerdle et al. (6) , Moritani et al. (13) , and Nagata (15) have developed non-invasive muscle fiber type evaluation procedures with the use of electromyography. It has become possible with these procedures to predict a muscle fiber type ratio, but as this muscle fiber type ratio is only one of the factors which expresses athletic characteristics, analysis from various angles is necessary to adequately ascertain athletic characteristics.

The purpose of the present study is to determine whether athletic characteristics can be discriminated by changes in serum components during exercise, which are considered to reflect systemic endurance capacity, muscle strength, and the energy metabolism system.

・所属：広島大学医学部保健学科<sup>1)</sup> 独立行政法人・産業技術総合研究所<sup>2)</sup> 広島大学大学院医学系研究科<sup>1)</sup>  
・広島大学保健学ジャーナル Vol. 1(1) : 78-84, 2001

## 廃用性筋力低下を呈する大腿四頭筋の電気力学的応答に関する研究\*

金子 文成<sup>1)</sup> 川口浩太郎<sup>2)</sup> 大成 淨志<sup>2)</sup> 月坂 和宏<sup>3)</sup>

### 要旨

本研究の目的は、電気力学的応答を明らかにすることにより、廃用性筋力低下を呈するヒト大腿四頭筋に関して、刺激が与えられた後に関節トルクを発生するまでの一連の応答過程における機能的変化を検索することである。対象は膝前十字靭帯再建術後2カ月を経過し、大腿の周径と筋力が有意に減少している男女10名とした。光刺激後、急速に等尺性最大随意収縮を行わせ、電気力学的応答を検討した。その結果 (1) 刺激に対して反応し筋張力が発生するまでの応答時間が有意に延長していた。これにより、これらの症例では視覚的な刺激に対する防御反応に遅れを生じる可能性が示唆された。(2) 大腿直筋で筋電図反応時間が延長したことから、大脳における運動のプログラミングが変化している可能性が示唆された。(3) 患側における電気力学的遅延の延長から、運動に参画する筋線維タイプの変化、直列弾性要素の変化、および筋収縮過程における機能的変化などが生じている可能性が示唆された。(4) (2) および (3) の結果に加え、今回検討した3筋における筋電図反応時間のばらつきが、筋張力の発揮効率を低下させ、廃用性筋力低下を引き起こす一つの原因であるものと考えられた。

キーワード 廃用性筋力低下、電気力学的応答、大腿四頭筋

### はじめに

膝関節手術後に大腿四頭筋における筋活動の様相が変化する現象は、1960年代後半には既に筋電図を用いて観察されていた<sup>1)</sup>。また、いくつかの研究により身体活動低下による神経機能の低下が示されており<sup>2-5)</sup>、廃用性筋力低下は筋量の減少によって引き起こされるだけでなく、神経機能の低下も関わっていることが明らかになっている。

このような神経機能の低下は、身体活動低下により筋量の減少以上に筋力が低下する<sup>6,7)</sup>。すなわち筋張力の発揮効率が低下する原因であると思われる。しかし、さらに神経筋接合部ではアセチルコリンの放出量の減少が

生じる<sup>8)</sup>ことや、アセチルコリン受容体が神経筋接合部以外で増加して分散することが報告されている<sup>9)</sup>。また、筋小胞体機能の変化<sup>10)</sup>、トロポニンCにおけるCa<sup>2+</sup>結合親和性の変化が認められている<sup>11)</sup>。このことから、筋張力の発揮効率低下は単に神経機能の低下によるだけでなく、神経からの興奮が筋に伝達され興奮収縮連関が生じる一連の過程全般が関わっていると考えられる。

また、筋により発生した運動エネルギーは緊張エネルギー (strain energy) として腱に一瞬蓄えられ、骨へ伝播される<sup>12)</sup>。このため、力学的模型で筋の直列弾性要素と表される<sup>13)</sup>腱の作用は筋張力の発揮効率に関わっているものと推測される。身体活動低下による腱への影響としては、腱に含まれるコラーゲン線維の減少や<sup>14)</sup>、コラーゲン線維合成に関与する酵素活性の低下<sup>15)</sup>をきたすという研究などが報告されている。その他の組織学的研究結果<sup>16)</sup>から考えても、身体活動の低下により直列弾性要素の機能低下が生じている可能性があるが推測される。

以上述べてきたように、大脳からの運動命令が筋に伝達され関節トルクとして発生するまでの一連の過程全般にわたって、身体活動低下による機能的変化が存在する可能性がある。しかし、臨床症例において上記過程全般

\* The Study for Electromechanical Response of Human Quadriceps Femoris following Disease

1) 広島大学大学院医学系研究科  
(〒734-8551 広島県広島市南区直1-2-3)  
Fuminari Kaneo, RPT, MS, Graduate School of Medicine, Hiroshima University  
2) 広島大学医学部保健科学科  
Kotaro Kawaguchi, RPT, MS, Kiyoshi Onari, MD, PhD, Institute of Health Sciences, Hiroshima University  
3) 広島県立病院整形外科  
Kazuhiro Tsukisaka, MD, Division of Orthopedics, Hiroshima Kyoritsu Hospital  
(受付日 1998年4月18日/受理日 1999年11月27日)

# 尺骨神経障害における筋力特性

## Muscle strength characteristics in the ulnar nerve disorder

車谷 洋<sup>1)</sup>, 金子 文成<sup>1)</sup>, 友村 奈津子<sup>1)</sup>

Hiroshi KURUMADANI Fuminari KANEKO Natsuko TOMOMURA

澤田 辰徳<sup>1)</sup>, 村上 恒二<sup>2)</sup>

Tatsunori SAWADA Tsuneji MURAKAMI

1) 広島大学大学院医学系研究科保健学

Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hiroshima University

2) 広島大学医学部保健学科

1, 2) 〒734-8551 広島市南区霞1-2-3

Key word: Ulnar nerve disorder, Muscle strength characteristic, Rehabilitation

【要旨】尺骨神経障害の筋力特性を検討するため、対照群（29名）と尺骨神経障害術前群（9名）及び尺骨神経障害術後群（6名）の投球側肘関節屈曲、伸展ピークトルク値及び屈曲/伸展筋力比を各群間で比較検討した。対照群と術前群には屈曲/伸展筋力比のみ有意差があったが、対照群と術後群の間には有意差はなかった。このことから、筋力回復の面では可及的早期からのリハビリテーションの効果があったものと考えられた。

### はじめに

先行研究において、正常な野球選手の肘関節周囲筋筋力特性を検討したものは散見されるが、尺骨神経障害を有する選手の筋力特性を検討したものはほとんどみられない。本研究の目的は、肘尺骨神経障害を有する野球選手の肘関節周囲筋の筋力特性を、尺骨神経障害群と対照群で比較検討することである。

### 対象

対象は広島大学附属病院リハビリテーション部、肩・肘スポーツ外来初診時に、肘関節投球時痛を訴え、肘尺骨神経障害と診断された観血的治療前の野球選手9名（以下術前群と略す）、観血的治療後の野球選手6名（以下術後群と略す）、および肘関節に障害の既往のない野球選手29名（以下対照群と略す）であった。

両群の身体的特徴および内訳は表1のとおりである。

術前群は、全例赤堀の分類の第I期で早期例であった。

痛みは、全ての症例において投球時に認められ、日常生活上で認められる症例はなかった。

### 方法

肘関節の屈曲および伸展筋力測定はCybex NORM™を使用し、角速度60deg/secにて実施した。測定肢位は背臥位とし、測定時には代償運動を可能な限り減少させるために、ストラップで体幹を固定する他に、検者による徒手的な固定も加えた。運動開始角度の決定のために、まず肘関節が最大伸展位となる位置を肘屈曲・伸展0°とした。関節可動域は全被検者、肘関節伸展-10°-屈曲120°の範囲とし、測定はCybexで3回の軽い練習と1回の重最大努力での練習に引き続いて

# 試合中における投球動作の変化について

## Analysis of movement of baseball pitching during game

友村奈津子<sup>1)</sup>，金子 文成<sup>1)</sup>，村上 恒二<sup>2)</sup>

Natsuko TOMOMURA Fuminari KANEKO Tsuneji MURAKAMI

大成 淨志<sup>2)</sup>，川口浩太郎<sup>2)</sup>，石橋 秀幸<sup>3)</sup>

Kiyoshi ONARI Kotaro KAWAGUCHI Hideyuki ISHIBASHI

1) 広島大学大学院医学系研究科

(Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hiroshima University)

2) 広島大学医学部保健学科

3) 広島東洋カープ

Key Words : Pitching motion, Number of pitching, Analysis of pitching

【要旨】本研究は3名のプロ野球投手を対象に、投球数の増加に伴う各関節運動の変化を経時的に捉えることを目的とした。2台のビデオカメラを用いて、すべての投球動作を前方と側方より撮影し、得られた画像より肘関節の高さ、体幹軸と下肢軸のなす角度、股関節屈曲角度および膝関節屈曲角度を計測し、投球数との相関を検討した。その結果、個人差はあるがすべての投手において何らかの角度変化が生じていることが認められた。

### はじめに

投球動作は下肢や体幹によって作り出された巨大なエネルギーが肩関節を通じて上肢からボールへと効率よく素早く伝達するという一連の動作であると考えられ、1回の投球動作だけでも肩関節や肘関節に大きな損傷を起こす可能性があるといわれている。投手は日頃の練習や実際の試合において100球近くあるいは100球以上にもおよぶ投球数を投げなくてはならず、繰り返し行われる投球によって身体には様々な変化がみうけられる。このような投球動作を繰り返すことによって生じる疲労により、体幹や下肢運動に何らかの変化が生じ、さらに上肢に対しても大きな変化を来し、投球障害が生じることが推測される。このため上肢を中心とした投球障害について、その発生メカニズムや障害の原因追究、さらには障害予防を理解する上で投球動作の分析は不可欠であり、画像分

析、EMG、加速度等の様々な手法で多くの研究が行われている<sup>1)~6)</sup>。しかしこれらの先行研究の多くは1回の投球動作について検討しているものであり、また擬似的な環境下において投球動作を分析しており、投球数の増加に伴う経時的な投球動作の変化について検討しているものはほとんどみられない。そこで本研究は実際の試合中における投球数の増加に伴う各関節運動の変化を、上肢だけでなく体幹・下肢にも着目して、経時的に捉えることを目的とした。

### 対象および方法

#### 1. 対象

対象は1999年4月から9月に行われたプロ野球二軍公式戦に先発登板したC球団の投手3名とした。対象者のプロフィールを表1に示す。

#### 2. ビデオ撮影

ビデオ撮影は実際の試合中におけるすべての投

# 膝前十字靭帯再建術後の膝の 伸展筋力と角度の関係について

## Relationship between knee extensor muscle strength after anterior cruciate ligament reconstructions and knee joint angles

中村 祥和, 尾方 恵子<sup>1)</sup>

Yoshikazu NAKAMURA Keiko OGATA

月坂 和宏<sup>2)</sup>, 金子 文成<sup>3)</sup>

Kazuhiro TSUKISAKA Fuminari KANEKO

1) 広島共立病院リハビリテーション科

Department of Rehabilitation, Hiroshima Kyoritu Hospital

2) 広島共立病院整形外科

3) 広島大学大学院医学科系研究科保健学

key words : Knee extensor muscle strength, Knee joint angles, Rehabilitation

【要旨】 ACL 再建術後2ヶ月の症例を対象に、膝屈曲角度の変化に伴う膝伸展筋力を測定した。患膝とともに大腿四頭筋の単収縮筋力は膝屈曲70°で最大となる動態を示した。患膝では膝屈曲70°以外の角度で有意な筋力低下を認めず、これは、ACL再建術や術後のリハビリテーショントレーニングが筋力の動態に影響を与えなかったことや、当院におけるリハビリテーションプログラムが関与したことによるものと考えられた。

### はじめに

昨年、先行研究として、当院における膝前十字靭帯 (ACL) 再建術前後の筋力評価を行った。その結果、膝伸展筋力は再建術前後で有意差はなかった (図1)。しかし、前回の測定にて対象とした筋力は、筋収縮とともに関節の角度が変化する等速性収縮にての評価であり、個々の関節角度での筋力ではなかった。

Ngら<sup>1)</sup>は正常な大腿四頭筋において、異なる関節角度、すなわち40°、60°、90°での最大随意収縮筋力を測定している (図2)。

その結果では、関節角度を変化させるに従って、大腿四頭筋の張力が変化するとされている。

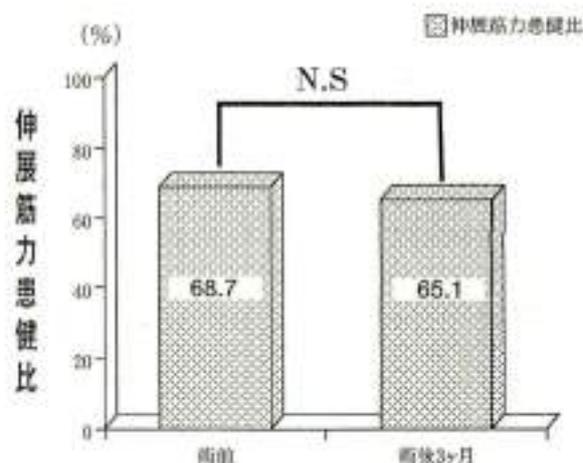


図1 ACL 再建術前後の膝伸展筋力 (当院)

## The Main Factor Causing Prolonged Reaction Time on Force Producing Process Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Fuminari KANEKO<sup>1)</sup>, Kiyoshi ONARI<sup>1)</sup>, Kotaro KAWAGUCHI<sup>1)</sup> and Kazuhiro TSUKISAKA<sup>2)</sup>

1) Institute of Health Sciences, Hiroshima University Faculty of Medicine

2) Division of Orthopedics, Hiroshima Kyoritsu Hospital

### ABSTRACT

This study investigated the electromechanical properties of atrophied human quadriceps femoris muscle during a voluntarily elicited maximal isometric contraction (MVC) and a peripherally stimulated twitch contraction. Nineteen patients were recruited 2-3 months following a unilateral anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. Both the involved leg as well as the uninvolved leg were studied. Maximal twitch response was elicited and surface electromyograms (EMG) were recorded from the vastus lateralis. Total reaction time (TRT) for both MVC and twitch on involved leg was prolonged (251.47 msec, 26.01 msec). This prolongation suggests an extended lag in avoiding injury such as during sports. Pre-motor time during both MVC and twitch (PMTmvc, PMTtwitch) did not differ between both groups. Electromechanical delay during MVC (EMDmvc) was prolonged on involved leg (53.42 msec), and also evoked twitch EMD (EMDtwitch) (20.04 msec) as compared to the opposit side. Prolonged EMDtwitch may be due to a decrease in stiffness of the series elastic component, changes of peripheral muscle composition to containing more slow type muscle fibers, or a decrease in function of the excitation-contraction (E-C) coupling process. A prolonged EMDtwitch can also explain the prolonged EMDmvc. These findings also suggested that prolonged TRTmvc to visual stimulus during MVC in atrophied human quadriceps femoris muscle after disuse was principally due to prolongation of EMDmvc. Prolonged EMDmvc may have resulted from decreased muscle stiffness, which was evident in the prolongation of the EMDtwitch.

**Key words:** Anterior Cruciate Ligament, Electromechanical delay, Disuse, Electromyography

A reduction in muscle strength is often accompanied by muscle atrophy<sup>2,3,11,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31</sup>, however this reduction in strength may be relatively greater than the decrease in the muscle mass due to atrophy<sup>12,27,31</sup>. Therefore, the loss of muscle strength is considered to be caused not only by the quantitative decrease in the muscle mass but also by a reduction in the efficiency of the muscle to generate force. Loss of muscle efficiency has been associated with factors that include the neuromuscular function and muscle stiffness<sup>4</sup>.

Karpakka et al reported that activities of prolyl 4-hydroxylase and galactosylhydroxylase which are used for estimating alterations in the rate of collagen biosynthesis under different experimental and clinical conditions, decreased after three weeks of immobilization<sup>28</sup>. The biochemical studies by Karpakka et al<sup>28</sup> and Nakagawa et al<sup>29</sup> indicated that decrease of collagen fiber thickness leads to decrease in the tensile

strength of series elastic components following disuse after orthopedic surgery in humans. Widrick and Fitts reported a reduction of muscle fiber stiffness following non-weight-bearing in rats<sup>32</sup>. A decrease in the stiffness of series elastic components may lead to a decrease in the efficiency of propagation of contractile tension to bones. This may result in a reduction in the muscle strength and delayed responses in physical activities. These studies have lead us to a hypothesis that alterations of electromechanical properties following disuse contributes significantly to the clinical findings in these patients.

Several studies have identified a proprioceptive deficit in knee articular structures following ACL reconstruction<sup>4,5,3,16,17,24,25</sup>. Lysholm et al showed significant deficits of postural control and prolonged reaction time in the ACL deficient group<sup>16</sup>. Though prolonged reaction time is commonly understood to be the result of a proprioceptive

# スポーツによる肘内側側副靭帯 損傷の病態

Ligament reconstruction for the medial collateral ligament of the elbow

村上恒二\*, 金子文成\*, 飯田朝美\*, 友村奈津子\*

キー・ワード: Ligament reconstruction, elbow joint, medial collateral ligament  
靭帯再建, 肘関節, 内側側副靭帯

【要旨】 スポーツによる肘内側側副靭帯前方線維 (AMCL) の損傷例37例に対して靭帯再建術を行った。術前のスポーツ種目は野球31例, 柔道3例, ラグビー1例, 槍投げ1例, セバタクロ1例であった。AMCLの損傷所見では剥離骨折を伴う症例が28例, 伴わない症例が6例, 異所性骨化が3例であった。損傷部位は起始部での損傷33例, 中央部での損傷2例, 付着部での損傷2例であった。術前の尺骨神経障害の合併は野球症例で30例中13例, 槍投げ1例, 脱臼症例6例中1例にみられた。靭帯再建法は起始部の損傷に対してはAMCL 遺残部を用いた靭帯再建を行った。靭帯中央部と付着部の断裂ではJobe法変法<sup>2)</sup>を用いて再建を行った。

## はじめに

投擲競技においては, 肘内側側副靭帯 (以下MCLと略す) に外反ストレスがかかることとなり, 内側側副靭帯前方線維 (以下AMCLと略す) の断裂を来すことがある。このようなAMCL損傷のうちスポーツ活動に支障を来す症例に対して, 長掌筋腱を用いて靭帯再建を行ったので, これら症例の病態を分析し報告する。

## 対 象

症例は1991年6月より1998年9月までに手術を行ったAMCL損傷計37例である。症例の内訳は, 男性35例, 女性2例, 右肘28例, 左肘9例である。手術時年齢は12歳から33歳, 平均18.2歳であった。術前のスポーツ種目については, 野球31例 (投球動作によるもの30例, 衝突によるもの1

例), 柔道3例, ラグビー1例, 槍投げ1例, セバタクロでの転倒によるもの1例であった (表1)。症例を年代別にみると, プロ野球選手が2例, 社会人チームの選手が3例, 大学生6例, 高校生19例, 中学生5例, その他1例で高校生が最も多かった (表2)。

術前の罹病期間については, 野球例は1から48ヵ月, 平均10.6ヵ月, 脱臼例は0.5から8ヵ月, 平均3.1ヵ月であった。

## 方 法

検討項目としては, 術前の単純X線所見の分析, 肘内側側副靭帯損傷における術中所見の分析, 尺骨神経障害の合併の有無で, さらに手術所見, 手術方法についても分析を行った。

## 結 果

### 1. 術前の単純X線所見の分析

内上顆での陈旧性剥離骨折による骨片は, 野球

\* 広島大学医学部保健学科

## 投球時に限定した痛みを有する野球投手における 等速性肩関節回旋筋力特性

金子文成\*<sup>1</sup>, 村上恒二\*<sup>2</sup>, 大成淨志\*<sup>2</sup>, 川口浩太郎\*<sup>2</sup>, 杉山裕之\*<sup>1</sup>

### はじめに

肩甲帯は3つの骨と4つの関節からなり、おのおのが靭帯により連結されることで構成されている<sup>16)</sup>。このうち狭義の肩関節である肩甲上腕関節においては、上腕骨頭に対する肩甲骨関節窩の面積が約1/3であり、肩関節周囲筋や関節包により安定が得られている<sup>16)</sup>。とくに関節包の張力方向と走行が一致している肩関節回旋筋腱板は、機能的に関節包の補助をなしているのではないかと考えられており<sup>15)</sup>、棘上筋、棘下筋、肩甲下筋、小円筋の4筋は dynamic ligaments and dynamic stabilizer であるといわれている<sup>8)</sup>。投球中はより大きい可動域で運動することを実現するためある程度の関節の弛緩が必要であり、かつ障害予防には安定性が必要不可欠であるという矛盾があることから考えて、野球投手の障害予防および治療には動的な安定化機構が重要である。Andrewsらは野球の投球動作の反復により受ける障害の発生機序としてもこれらの筋の役割を重要視しており<sup>2)</sup>、その性能(performance)を示すものとして等速性運動で得られる肩関節内旋および外旋筋力を測定している<sup>18)</sup>。野球選手の肩関節内旋および外旋筋力に関する研究はわが国においては鈴木ら<sup>14)</sup>をはじめとして、また海外においても多くの報告がある<sup>1,3,4,9,11,12)</sup>。これらの研究ではさまざまな測定肢位が用いられており、さらに他の研究によって測定肢位の違いで筋力の値も異なることが示されている<sup>5,6,10,13,17)</sup>。し

かし、障害を有する野球投手の muscle performance の特徴を検出するために、どの肢位が適切かという側面からの研究は非常に少ない。

そこで本研究では、等速性肩関節内旋および外旋筋力測定に多く用いられてきた2つの肢位(肩甲骨面で肩関節45°外転・肘関節90°屈曲、前額面で肩関節90°外転・肘関節90°屈曲)について、どちらの測定肢位が投球時に限定した痛みを有する野球投手の肩関節回旋筋群がもつ performance の特徴を検出しやすいかについて検討した。

### 対象および方法

対象は広島大学付属病院リハビリテーション部、肩・肘スポーツ外来初診時に、投球時に限定する肩甲上腕関節周囲の痛みを訴え、いわゆる野球肩と診断された野球投手10名(障害群)、および上肢に既往のない野球投手5名であった(対照群)。競技レベルは社会人実業団とプロ野球であり、障害群および対照群に含まれる内訳と両群の身体的特徴を表-1に示す。

表-1 障害群および対照群の身体的特徴と内訳

	障害群	対照群
年齢(歳)	23.4±3.9	21.6±2.6
身長(cm)	179.3±4.1	176.8±4.2
体重(kg)	75.4±7.7	75.0±4.2
競技レベルの内訳(人)		
社会人実業団選手	7	3
プロ野球選手	3	2

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院 医学系研究科保健学

\*<sup>2</sup> 広島大学医学部 保健学科

## スポーツによる有鉤骨鉤部骨折の病態と治療

村上恒二\*, 金子文成\*, 杉山裕之\*, 飯田朝美\*

### はじめに

スポーツに起因する有鉤骨鉤部骨折については比較的まれなものとされてきた。そしてその治療法と予後に関してのまとまった報告はいまだみられない。今回、スポーツによる有鉤骨鉤部骨折の治療法と予後について自験例に検討を加えたので若干の考察を加えて報告する。

### 症例

症例は1983年より1997年10月までに著者が直接治療を行った38例39手である。その内訳は左手が27例、右手が10例、両手の受傷が1例であった。また、利き手側の受傷は8手、非利き手側が31手であった。受傷時年齢は16歳から55歳にわたり、20歳代が22例と最多をしめていた。症例のなかで最多をしめる野球例19例では平均受傷時年齢は21.1歳であり、一方ゴルフによる16例では37.5歳とより高い年齢での受傷がみられ、20歳代から50歳代にかけて幅広く受傷がみられていた(表-1)。

### 有鉤骨鉤部骨折の受傷原因

スポーツによる受傷原因については、振り動作によるものが36例と最も多い。その内訳については野球17例、ゴルフ16例、テニス、卓球、バドミントンが各1例であった。他の受傷原因としては野球のスライディングによるもの1例、二塁手が逆シングルでだしたグラブにライナーが直撃した

表-1 スポーツにおける有鉤骨鉤部骨折の受傷時年齢

年齢	野球	ゴルフ	テニス	卓球	バドミントン	水球
0-14						
15-19	5			1		1
20-24	11	4				
25-29	3	2	1		1	
30-34		1				
35-39						
40-44		5				
45-49						
50-54		2				
55-59		2				
60-64						
65-69						
計	19	16	1	1	1	1
平均年齢	21.1	37.5				

(1983.10~1997.10)

表-2 スポーツによる有鉤骨鉤部骨折の受傷原因

1) 振り動作によるもの(36)	
野球	17例
ゴルフ	16
テニス	1
卓球	1
バドミントン	1
2) 転倒によるもの	1(野球・スライディング)
3) 強打	1(野球・ボールの直撃)
4) 不明	1(水球・回し込み)

(1983.10~1997.10)

\* 広島大学医学部 保健学科

## 投球動作による肩関節内旋・外旋筋力の変化について

杉山裕之<sup>\*1</sup>, 村上恒二<sup>\*2</sup>, 金子文成<sup>\*1</sup>, 三浦雅史<sup>\*1</sup>  
飯田朝美<sup>\*1</sup>, 大成浄志<sup>\*2</sup>, 川口浩太郎<sup>\*2</sup>

### はじめに

等速性運動機器による筋力測定は広く行われているが、スポーツ障害の予防、あるいはスポーツ障害のリハビリテーションにおける競技復帰の1つの指標として有効であると思われる。

野球選手に対しても等速性運動機器を用いた筋力測定が行われてきた。とくに投手に関しては肩関節、肘関節における障害の発生頻度が高く、測定もこれらの関節を中心としたものが多い。われわれも投手を対象に測定を行ってきたが、投球時のみ疼痛を認める投手は、患側肩関節外旋/内旋筋力比は健側のそれよりも低値を示す傾向が認められた。これらの症例では、筋力測定時には疼痛を認めないため、この筋力比の変化は投球動作の反復による疲労の影響が推測される。本研究では投球動作と肩関節回旋筋群の疲労の関係について、等速性運動機器による求心性の肩関節内旋、外旋筋力を指標として検討した。

### 対象

対象は肩に障害のない野球経験のある健康成人男性18名とした。身長は $173.4 \pm 4.9$ cm、体重は $65.2 \pm 6.1$ kg、年齢は $23.4 \pm 3.6$ 歳であった。

### 方法

測定機器はKIN-COM AP (Chattecx社製)を使用し、角速度は60deg/sec, 180deg/secの2種類とした。測定肢位は背臥位で、肩関節外転90度・肘関節屈曲90度で行った。運動範囲は内旋・外旋のそれぞれの最大可動域の70%とした。筋力測定はまず投球前に行い、その後50球の投球を1ステージとして、4ステージ、すなわち合計200球の投球をし、各ステージ終了直後の筋力を測定した。投球は各ステージとも3人を一組とし、1人10球の投球を行うごとに次の被検者と交代するという方法で行った。なお測定の前にはそれぞれの角速度について3回ずつのウォーミングアップを行った。測定は求心性の肩関節内旋、外旋筋力とし、peak torque値を指標として検討を行った。

### 結果

#### 1. 肩関節内旋筋の peak torque 値

60deg/secにおいては、投球前と投球100球後、150球後、200球後において有意に低下が認められた。また投球50球後と投球100球後、150球後、200球後においても有意な低下が認められた(図-1)。180deg/secにおいては、投球前と投球100球後、150球後、200球後において有意に低下が認められた。また投球50球後と投球200球後、投球100球後と投球200球後においても有意な低下が認められた(図-2)。

#### 2. 肩関節外旋筋の peak torque 値

60deg/secにおいては投球前と投球100球後、

\*1 広島大学大学院 医学系研究科保健学

\*2 広島大学医学部 保健学科

## 等速性筋力測定における妥当性の検討

—求心性収縮と遠心性収縮の比較から—

三浦雅史・金子文成・杉谷圭子

(広島大学大学院医学系研究科保健学)

大成淨志・浦辺幸夫・川口浩太郎

(同医学部保健学科)

**要旨** 7名の男性を対象に、求心性収縮、遠心性収縮における筋力測定を同一対象者に対して4日ごとに5回繰り返し行い、何回目の筋力測定がその個人の有するピークトルク(PT)として妥当性があるかを検討した。PTは求心性収縮で1～5回目まで有意な変化を認めなかったが、遠心性収縮では1回目に対し3回目以降で有意に高い値を示した。よって、遠心性収縮における筋力測定では注意を要することが示唆された。

**Key words** : ピークトルク (peak torque), 健康男性 (healthy male), 筋力評価 (evaluation of strength)

### 緒言

等速性運動機器は1960年代にアメリカの理学療法士によって開発され、スポーツ医・科学の分野で筋力評価やトレーニング法の発展に大きな貢献を果たしている。われわれは等速性運動における筋力測定では、主にピークトルク (peak torque) を筋力評価の指標として用いている。ピークトルクの再現性について検討した諸家の報告<sup>1)</sup>によると、求心性収縮 (concentric contraction, 以下 CON) および遠心性収縮 (eccentric contraction,

以下 ECC) による筋力測定は再現性のあることが提示されている。しかしながら、このような報告ではテストおよび再テスト間の級内相関関係の大きさからピークトルクの信頼性について論じている。一方、臨床場面における筋力測定では、等速性運動に対する不慣れなどの理由で必ずしも初回の測定から本人の有する最大のピークトルクが発揮されず、複数回の筋力測定の後には得られたピークトルクが高値となることをしばしば経験する。このようなことは、筋力評価を誤るばかりか筋力評価などを基に立案する運動療法プログラム

Reliability of measurements of isokinetic test of muscle strengths —compare with concentric contraction and eccentric contraction—

Masashi MIURA, Fuminari KANEKO, Keiko SUGIYA, Kiyoshi ONARI, Yukio URABE, Kotaro KAWAGUCHI

連絡先: 〒734-0037 広島市南区霞 1-2-3 広島大学大学院医学系研究科保健学 三浦雅史 電話 082-257-5420

## 萎縮筋の最大随意収縮時における筋活動動態の 筋電図学的検討

金子文成<sup>1)</sup>, 大成浄志<sup>2)</sup>, 浦辺幸夫<sup>2)</sup>, 川口浩太郎<sup>2)</sup>,  
三浦雅史<sup>1)</sup>, 月坂和宏<sup>3)</sup>, 尾方恵子<sup>4)</sup>

### 緒 言

筋力低下は2週間以上の活動性低下により生じることが報告されている<sup>1)</sup>。また長期間の活動性低下により筋量の減少や筋断面積の減少が認められる<sup>2)</sup>。筋力は筋の断面積や筋量に比例する<sup>3, 4)</sup>ことから考えると、筋萎縮に伴い筋力低下が生じることが予想される。しかし長期活動性の低下による筋量の減少と、筋力低下を比較したSuzukiらの研究により、筋力低下の割合は筋量が減少する割合以上に生じていることが明らかにされ、筋力低下の原因は筋萎縮のみならず神経筋機能の変化にも原因があると考えられている<sup>5)</sup>。このような神経筋機能の変化を捉えるためには、筋の形態的な変化と筋力の低下を検討するだけでは不十分であり、電気生理学的な手法が必

要であると思われる。しかし、長期活動性低下により萎縮した筋を対象に筋電図学的手法を用いた研究は少ない。そこで本研究では長期間の活動性低下による萎縮筋について、最大努力下での筋活動を表面筋電図により検討することを目的とした。

### 方 法

#### A. 対象

対象はスポーツ活動中に膝前十字靭帯 (ACL) 損傷を受傷し、ACL再建術を受けた女性12名であり、年齢は $25.4 \pm 4.6$ 歳、身長は $159.1 \pm 7.6$ cmそして体重は $49.3 \pm 6.8$ であった。ACL再建術は関節鏡視下で行われ、再建靭帯には患側の半腱様筋腱と薄筋腱を採取し、それらの腱でLeeds-Keio人工靭帯を挟み込んだものが使用された。このため今回検討した大腿四頭筋に対する手術侵襲はなかった。

#### B. 測定

測定は術後4ヶ月に実施し、大腿部周径、等尺性膝関節伸展筋力(筋力)、および筋電図(EMG)を測定した。大腿周径はテープメジャーを用いて膝蓋骨上縁から上方10cm(Above Patella:AP10)、15cm(AP15)で計測した。計測は全ての被験者に対して同一の検者が行った。筋力測定はKIN-COM APを用いて、端座位にて膝関節90°屈曲位で測定した。最大随意努力下で5秒間の等尺性膝伸展運動を行わせ、筋収縮中は常に検者により声かけられた。この時のEMGを内側広筋斜走線維(VMO)、外側広筋(VL)、大腿直筋(RF)より導出した。EMGの導出には直径10mmの銀-塩化銀電極を用い、電極中心間距離を25mmとして双極導出にて行った。なお、電極を貼付

- 1) 広島大学大学院医学系研究科保健学専攻  
(〒734-0037 広島市南区霞 1-2-3)  
Fuminari Kaneko, PT, Masashi Miura, PT:  
Graduate School of Medical Sciences, Hiroshima  
University
- 2) 広島大学医学部保健学科  
Kiyoshi Onari, MD, Yukio Urabe, PT, Kotaro  
Kawaguchi, PT: Institute of Health Sciences,  
School of Medicine, Hiroshima University
- 3) 広島共立病院整形外科  
Kazuhiro Tsukisaka, MD: Division of Orthopedics,  
Hiroshima Kyoritsu Hospital
- 4) 広島共立病院リハビリテーション科  
Keiko Ogata, PT: Division of Rehabilitation,  
Hiroshima Kyoritsu Hospital  
(受付日 1997年8月29日/受理日 1997年12月10日)

# 11 ACL 再建術後の膝関節屈曲筋力と当院における

## リハビリテーションプログラムについて

広島共立病院リハビリテーション科： 峠 智子 尾方 恵子

広島共立病院整形外科： 月坂 和弘

広島大学大学院医学科系研究科保健学： 金子 文成

### Key words

ACL、等速性筋力、膝関節

#### 【はじめに】

当院における膝前十字靭帯（以下、ACL）再建術は、患側から採取した半腱様筋を4折りにし、移植腱として使用している。ACL再建術時に同側の自家半腱様筋腱を使用した場合の膝関節屈曲筋力はいくつかの研究により深い屈曲角度で限局して低下していることが認められている。我々も臨床経験上同様の事を認めたことから、筋力低下予防目的の筋力増強訓練を積極的に工夫しながら実施してきた。本研究では、当院において早期から積極的な屈曲筋力増強訓練を実施した症例を対象に、膝関節屈曲筋力の回復について検討する事を目的とした。

#### 【対象】

当院にて、ACL再建術を行い、術後4か月を経過した症例11名。全例女性で平均年齢27.3歳、平均身長159.8 cm、平均体重58.7kgであった。

#### 【リハビリテーション】

術後2日目よりCPM、SLR開始、腹臥位、坐位で膝屈曲の自動運動を開始した。

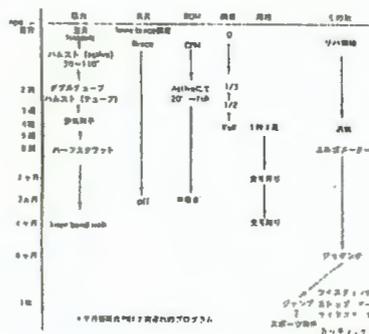


図1 当院におけるリハビリテーションプログラム

2週目から部分荷重開始、ダブルチューブを用いた膝伸筋力増強訓練、レッグカール等を行った。そして3週目からクローズキネティックチェーンでの運動を徐々に行わせ、満4週で全荷重歩行を許可した。（図1）

#### 【測定方法】

KIN-COM APを使用し、角速度60 deg./sec.で行った。測定は端坐位（図2-a）、腹臥位で行った。（図2-b）

端坐位での運動範囲は屈曲30°から90°ま

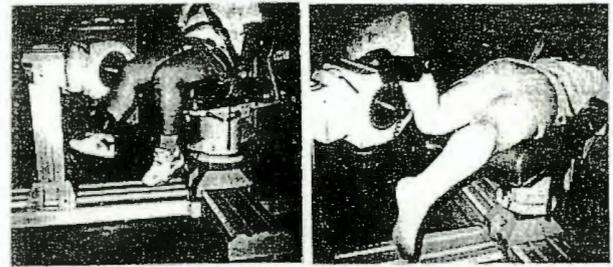


図2 測定肢位

での範囲とし、ピークトルク及び60°でのトルク（以下60°トルク）を健側と患側で比較、腹臥位での測定は屈曲30°から120°までの範囲とし、ピークトルク及び100°でのトルク（以下100°トルク）を健側と患側で比較した。角度の違いにより筋力の低下度合いが事なるかどうかを検討するために端坐位ではピークトルクと60°トルク、腹臥位ではピークトルクと100°トルクの患側/健側比を比較した。これらの比較に対する統計処理はpaired t testを用いた。

#### 【結果】

端坐位においてピークトルク、60°トルク共に患側で有意に低下していることが認められた。腹臥位においてピークトルク、100°トルク共に患側で有意に低下していることが認められた。端坐位で測定した場合のピークトルク38.83±8.04°と60°トルクの患側/健側比の比較に有意差は認められなかった。腹臥位においてピークトルク32.94±4.22°と100°トルクの患側/健側比に有意差が認められた。（図4）

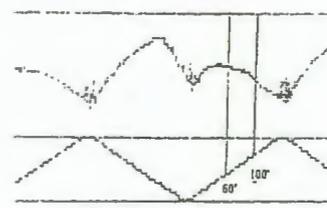


図3 膝屈曲トルクの分析項目

## 27 Does muscle fatigue influence electromyogram ?

Graduate School of Medical Sciences, Hiroshima University.

Masashi MIURA, RPT Fuminari KANEKO, RPT

Institute of Health Sciences, Hiroshima University of School of Medicine.

Kiyosbi ONARI, MD Yukio URABE, RPT Kotaro KAWAGUCHI, RPT

**Key Words :** muscle fatigue, electromyogram, isometric strength, integrated electromyogram, mean power frequency.

Muscle fatigue has various kinds of symptoms, decrease in strength is thought to be a major problem in many clinics. Most studies of muscle fatigue have reported about EMG changes over a short period of time, but not much is known about EMG changes over a long period. In this study, we defined muscle fatigue was decreased muscle strength. The purpose of this study was investigated the relationship between muscle fatigue and EMG analysis, to evaluate the changes in mean force and EMG of knee extensors for 6 days.

### 【Materials and Methods】

The subjects were five healthy males. All subjects were dedicated right knee quadriceps muscle. They had no history of injury in the lower extremity. Average of datas were age  $23.6 \pm 1.5$  year (range, 22 to 26), height was  $170.2 \pm 2.3$  cm (range, 169.0 to 174.2) and weight was  $64 \pm 5.3$  kg (range, 57.5 to 72.0). All subjects let them to know a purpose of this experiment, and then got agreements. We measured strength of knee extensors during isometric maximal contraction for each six days. We used KIN-COM AP. The subjects were asked to hold the knee in 60 degrees flexed for 5 seconds. This test was carried out for 5 times. The resting time was given to the subjects for 10 seconds during each test. At the same time we recorded surface EMG of the rectus femoris(RF), vastus medialis(VM), and vastus lateralis(VL). We asked the subjects to report each test when ever they felt any pain.

After the initial isometric test, the subjects were asked to repeat the isokinetic exercise in sitting position for 10 times as one set. Angular velocity was 60 degrees per second and the exercise range was 90 to 10 degrees in flexed position. The subjects were given 10 seconds for the testing during the experiment. The muscle fatigue was judged when the subjects could not complete one set exercise.

EMG recordings were taken from three muscle locations(RF, VM, VL). Bipolar surface electrodes were consistently placed over the mid region of each muscle

group oriented along the muscle belly. The raw EMG signals were stored in data recorder. The digitization of the analog signals was performed at a sampling frequency of 2000 per second with Mac Lab analog to digital converter. Analysis of data was done on a personal computer. The EMG signals were processed by integration (IEMG) and by calculating mean power frequency (MPF)(Fig 1).

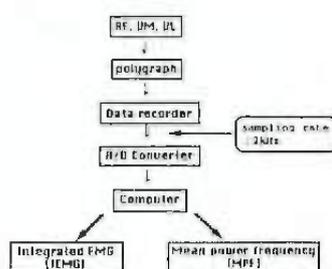


Fig 1. EMG recording

EMG signals and force curve that was provided by isometric test recorded in data recorder. On the basis of peak force, mean force was calculated for front and back 0.5 seconds, total sum of 1 second. IEMG and MPF were calculated during the same 1 seconds(Fig 2).

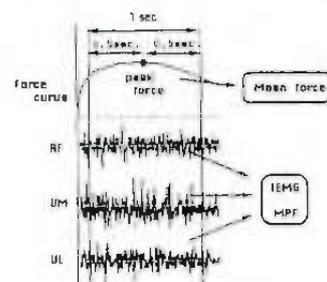


Fig 2. Data analysis

Changes in mean force, IEMG and MPF were compared using one way repeated measures ANOVA and Tukey test.

### 【Results】

The mean repeated isokinetic exercise until exhaustion of the extensors were  $228 \pm 25$  times (range, 190 to 260). Muscle soreness was not reported during this study. Changes of mean force is shown on Fig 3. In initial test, the mean force was 431 N. On the 1st day after initial test, it was 345 N. Mean force decreased about 20%. On the 2nd day after, it was 353

---

---

## 26 Electromyographic study for shoulder internal and external rotators during isokinetic shoulder rotation

Institute of Health Sciences, School of Medicine, Hiroshima University

Fuminari KANEKO, RPT      Kiyoshi ONARI, MD      Yukio URABE, RPT

Kotaro KAWAGUCHI, RPT      Masashi MIURA, RPT

---

---

key words : EMG, shoulder, isokinetic

Isokinetic muscle strength of shoulder internal rotators and external rotators has been studied by many investigators. Many of these studies used peak torque (P<sub>k</sub>T) as the parameter for analysis. Although isokinetic testing is used for shoulder dysfunction,<sup>(1,3,5,6,8,9,10)</sup> a standard profile of normal muscle activity for shoulder rotators during isokinetic testing has yet to be established. So, it is not clear whether P<sub>k</sub>T reflects rotator muscle function.

The purpose of this study was thus to examine normal muscle activity during isokinetic exercise in relation to how peak torque is generated, and to reconsider for availability of P<sub>k</sub>T as parameter for shoulder rotator function.

### 【Methods】

#### *Subjects*

We studied five subjects for isokinetic testing and EMG examination. They had no history of injury in the upper extremity, nor were they athletes. Their age, height and weight show at the slide. The right side was the dominant side for all subjects.

#### *Isokinetic Examination*

The dominant shoulder of each subject was examined with a KIN-COM AP isokinetic dynamometer at an angular velocity of 60 degrees per seconds. Each subject was

examined in supine with the shoulder abducted to 90 degrees and the elbow flexed to 90 degrees. The forearm was positioned midway between supination and pronation. We selected this particular position because it roughly simulated a throwing motion and thus would be applicable to assessment of a throwing shoulder. With the subject supine, we set 0 degrees as the vertical position of the forearm. Isokinetic trials began from 70% of the passive range of motion at both internal and external rotation. The subject initially performed four submaximal repetitions and only one maximal contraction as an isokinetic warmup, to minimize any learning effect before actual testing.

#### *EMG*

EMG activity was recorded via bipolar platinum wire electrodes. The insertion sites of these electrodes were based on Delagi et al.<sup>2)</sup> for the infraspinatus, teres major, and teres minor. Before insertion of the electrodes into the teres major and teres minor, these muscles were distinguished by palpation. For the subscapularis, fine wire electrodes were inserted following a method described by Kadaba<sup>4)</sup>. EMG signal, torque, and joint angle were recorded online by an FM tape recorder. The analog signals were subsequently digitized at 2000 samples per second by a Mac Lab analog-to-digital converter. Analysis of data was done on a personal

紹介

## 第12回アジア競技大会広島選手村診療所 理学療法室の活動\*

川口浩太郎\*\* 梶村政司 門田正久  
金子文成 佐々木真 弓削類  
浦辺幸夫 佐々木久登 富樫誠二

### 要旨

(社)広島県理学療法士会は、第12回アジア大会組織委員会より依頼を受け、選手村診療所内に理学療法室を設け理学療法サービスを行った。約4週間の開村期間中に延べ541名の理学療法士が参加し、34ヶ国の延べ731名の選手が理学療法室を利用した。処方されたスポーツ外傷の内容は筋疲労に対するものが179件(外傷種類別分類の約60%)と圧倒的に多かった。急性外傷後の処置も約27%含まれていた。治療目的は疲労回復、リラクゼーション、除痛などが多かった。理学療法の内容はマッサージ、超音波治療、ストレッチングなどの順に多く、総数は1,512件にのぼった。参加した理学療法士の感想では「語学力不足」や「スポーツ理学療法に対する勉強不足」という項目が多くあげられた。これらは、効果をすぐに出すということが期待されるスポーツ選手に対する理学療法を、公用語である英語を用いて行わなければならないためであろう。

本大会はわが国における国際的なスポーツ大会で理学療法士の活動が最も大がかりにかつ組織的に行われた最初のものとして位置づけられる。

キーワード アジア競技大会, スポーツイベント, スポーツ外傷

### はじめに

アジア競技大会は4年に一度開催されるアジアのスポーツの祭典で、日本が参加する国際大会の

中ではオリンピックより大きな選手団が形成される。1994年の第12回アジア競技大会は10月2日から16日までの2週間、広島市の広島広域公園を中心に広島県全域で開催された。(社)広島県理学療法士会(以下、士会)ではアジア競技大会組織委員会の依頼を受け、選手村診療所で参加各国の選手に対し理学療法サービスを行う機会を得た。

わが国の理学療法士は国内で開催された冬のアジア大会、冬のユニバーシアード大会、神戸ユニバーシアード大会などの国際大会にかかわってきたが、今回は最大規模の活動が行われた大会となった。

\* Physical Therapy Services in the Village Medical Center of the 12th Asian Games Hiroshima 1994

\*\* (社)広島県理学療法士会, アジア競技大会選手村診療所理学療法室, 世話人

Kotaro Kawaguchi, RPT, Masaji Kajimura, RPT, Masahisa Monden, RPT, Fuminari Kaneko, RPT, Makoto Sasaki, RPT, Lui Yuge, RPT, Yukio Urabe, RPT, Hisato Sasaki, RPT, Seiji Togashi, RPT : Hiroshima Physical Therapy Association (Dept. of Physical Therapy, Village Medical Center)

(受付日 1995年12月23日/受理日 1996年5月25日)

# 前額面における足関節角度と外反筋力の関係

広島大学大学院医学系研究科保健学専攻  
三浦 雅史, 金子 文成, 杉谷 圭子  
広島大学医学部保健学科

浦辺 幸夫, 川口浩太郎, 大成 浄志 (MD)

Key Words : ankle sprain, ankle eversion, peroneal muscles

## 【はじめに】

足関節内反捻挫（以下、捻挫）は最も多いスポーツ外傷の一つに挙げられる。捻挫受傷後の理学療法では、足関節内反方向に加わる外力に対抗する目的で足関節外反筋である腓骨筋の筋力強化が行われている。Baumhauerら<sup>1)</sup>がprospective studyとして行った捻挫のRisk Factorに関する調査では、足関節外反筋力低下を第一に挙げ、腓骨筋の重要性を述べている。腓骨筋はこのように重要視されているが筋力発揮に関する分析は十分に行われていないのが現状である。

我々は、捻挫予防および再発予防の視点から身体活動時の腓骨筋の筋活動<sup>2)</sup>やテーピング施行時の腓骨筋の筋活動<sup>3)</sup>について筋電図学的に検討してきた。その結果、腓骨筋は足関節外反位で活動が高く、逆に足関節内反位では活動が低くなることを確認している。このことは身体活動時に不意に足関節内反位をとった場合、筋による予防的な制御が期待しにくくなることを予測させる。しかしながら、このような腓骨筋の筋活動がどの程度の関節トルクになり、足関節運動をコントロールしているかは不明である。先行研究<sup>4) - 8)</sup>においても、これら前額面における足関節肢位と外反筋力発揮の関係についての報告はほとんどない。

本研究では足関節内・外反角度の違いによる足関節外反筋力の発揮動態を明らかにすることを目的とする。



図1 Test position<sup>4) - 8)</sup>

## 【方法】

対象は下肢に器質的、機能的な障害のない健康な男性6名12肢とした。年齢は $22.6 \pm 0.6$ 歳、身長は $171.1 \pm 2.1$ cm、平均体重は $57.8 \pm 4.1$ kgであった。なお、全例ともに定期的なスポーツ活動は行っていなかった。

足関節外反の筋力測定は等尺性収縮および等速性運動で行った。測定機器はチャタヌガ社製KIN-COM APを使用した。Test positionは諸家<sup>4) - 8)</sup>で頻繁に用いられている肢位を選択し、端座位で膝関節屈曲 $90^\circ$ 、足関節底・背屈中間位とした(図1)。

等尺性収縮での足関節外反筋力測定の手順を以

# 高校女子バスケットボール選手の膝伸展筋力に関する考察

広島大学医学部保健学科 金子 文成・浦辺 幸夫  
川口浩太郎・三浦 雅史  
大成 淨志  
兼山整形外科 藤田 知子  
大瀬戸リハビリ整形外科 利根川恒雄・上野原 稔  
中村 彩子・大瀬戸政司

## 【はじめに】

バスケットボールでは、特に女子選手において膝関節の外傷が多い<sup>1)2)3)4)</sup>。外傷が回復した後に、競技復帰するためには膝関節周囲筋の筋力が十分に獲得されていることがその条件の一つになると同時に、筋力増強は再損傷の予防につながると考えられる。浦辺ら<sup>5)</sup>は女子バスケットボール選手の膝伸展筋力が競技レベルにより差があることを示しており、この点からも膝関節周囲筋の筋力獲得が重要となる。

しかしながら、膝関節に外傷の多い女子バスケットボール選手の膝伸展筋力に関して、中学生、大学生についての報告はあるが、高校生に関しては極めて少ない。我々は、競技復帰する際にふさわしい筋力の指標として左右差を用いるだけではなく、健側も含めて競技レベルに応じた筋力を獲得することが重要であると考え、平成6年度より継続して広島市内の高校女子バスケットボール選手のメディカルチェックを行ってきた。

本研究の目的は、メディカルチェックの結果から広島市内の高校女子バスケットボール選手がどの程度の膝伸展筋力を有するかを確認し、膝関節の外傷の既往や競技成績との関連を分析することにある。

## 【方法】

### 1) 対象

対象は広島市内A、B、C、D、E校、5校の女子バスケットボール選手70名である。年齢、身長、体重についてそれぞれの平均値と標準偏差は、年齢

15.8 ± 0.6歳、身長161.3 ± 6.7cm、体重53.3 ± 5.7kgだった。

### 2) 筋力測定

膝伸展筋力はSakai社製、等速性筋力測定機Mustranを使用し、角速度60 d/sで測定した。ピークトルクの単位はft・lbsとし、以下の分析にはピークトルクを体重で除し百分率で表した値を体重比(%BW)として用いた。

### 3) 統計処理

左右の膝伸展筋力及び外傷の既往がある選手の外傷を受けた側と受けていない側との統計的分析には対応のあるt検定を用い、5校それぞれの筋力の違いの有意性を一元配置分散分析(ANOVA)により検定した。更に、有意差が認められた場合にはFisher法にて多重比較を行った。

## 【結果】

70名の左右140肢における膝伸展筋力は62.4 ± 13.7%BWだった。右膝伸展筋力は61.7 ± 14.1%BW、左は63.1 ± 13.4%BWで有意な左右差は認められなかった。

70名中、膝関節周囲及び膝伸展機構に外傷の既

表1 膝関節周囲及び伸展機構の外傷の内訳

外傷	人数
内側側副靭帯損傷	4名
半月板損傷	4
膝内障	3
大腿四頭筋肉離れ	3
膝前十字靭帯損傷	1
膝蓋骨脱臼	1

報 告

## 肩関節回旋運動時の筋活動にたいする運動肢位の影響\*

藤澤宏幸<sup>1)</sup> 鈴木克憲<sup>2)</sup> 浦島貴子<sup>3)</sup>  
金子文成<sup>4)</sup> 綿谷美佐子<sup>5)</sup>

### 要旨

本研究の目的は、運動肢位によってことなるとされる最大筋トルクが、筋活動量の変化によるものか、または上腕骨長軸と筋走行の成す角度および筋長が変化するため(運動力学的要因)なのかを明らかにすることである。健康男性6名の右肩関節を対象に、肩関節内外旋運動時の最大筋トルクと回旋筋群の筋電図を、肩関節90度外転位および90度屈曲位の二つの肢位で測定した。外旋運動時の最大筋トルクは90度外転位で有意に大きかったが、内旋運動時の最大筋トルクに有意な差はなかった。筋活動量は両肢位で有意な差がなかった。以上の結果より、運動肢位による外旋運動時の最大筋トルクの変化は、運動力学的要因が主因と思われた。

キーワード 肩関節回旋運動、筋電図、筋トルク

### はじめに

肩関節回旋運動は、すべての肩関節運動に関与し、日常動作では何らかの複合運動としてみられる。このように、回旋運動は肩関節機能を評価する上で重要な運動であるが、筋電図学的手法を用いた研究<sup>1)</sup>は、他の肩関節運動<sup>2-4)</sup>と比較して少ない。

一方、肩関節回旋運動時の筋トルクに関する報告は多数みられ<sup>5-7)</sup>、最大筋トルクは運動肢位により変化することが報告されている<sup>8)</sup>。最大筋トルクが運動肢位により変化する要因としては、筋活動量の変化に代表される神経生理学的要因、そして上腕骨長軸と筋走行の成す角度および筋長の変化に代表される運動力学的要因の二つが考えられる。しかし、肩関節回旋運動に関して基本的な肢位で筋トルクと筋活動量をもとに検討した報告はこれまでなく、どちらが主因であるのかは明らかにされていない。そのため、腱板損傷後の理学療法や、肩関節回旋筋に関する一般的トレーニングに際して、どのような肢位や運動が良いのかは未だ不明な点が多い。

以上の背景をもとに、本研究の目的とするところは、等尺性内旋および外旋運動における筋トルク値および筋活動量について、肢位による影響を明らかにし、理学療法における臨床上の基礎データとすることである。

### 方 法

#### 1) 被検者

肩関節疾患の既往のない、健康青年男性6名の右肩関節を対象にした。利き手は、全被検者とも右手であった。

\* Effect of Posture on the Activity of Shoulder-Rotator Muscles during Isometric Internal and External Rotation

<sup>1)</sup> 北海道大学医学部附属病院登別分院リハビリテーション部 (〒059-04 北海道登別市登別東町3-9)  
Hiroyuki Fujisawa, RPT: Dept. of Rehabilitation, Noboribetsu Branch Hospital, Hokkaido University School of Medicine

<sup>2)</sup> 北海道大学医学部整形外科教室  
Katsunori Suzuki, MD: Dept. of Orthopaedic Surgery, Hokkaido University School of Medicine

<sup>3)</sup> 高館病院リハビリテーション室  
Takako Urashima, RPT: Dept. of Rehabilitation, Toya Hospital

<sup>4)</sup> 登別厚生年金病院リハビリテーション室  
Fuminari Kaneko, RPT: Dept. of Rehabilitation, Noboribetsu Koseinenkin Hospital

<sup>5)</sup> 札幌南整形外科病院理学療法科  
Misako Wataya, RPT: Dept. of Physical Therapy, Sapporo Minami Orthopaedic Hospital

(受付日 1994年3月10日/受理日 1994年10月25日)