

## 上肢運動と下肢運動間の干渉

外山 寛<sup>1)</sup>・藤原 勝夫<sup>1)</sup>

### Interference between upper limbs exercise and lower limbs exercise

Hiroshi Toyama<sup>1)</sup> and Katsuo Fujiwara<sup>1)</sup>

(Received April 30, 1991)

#### Abstract

A standing posture lead to a functional specialization of the upper and lower limbs. We have reported that the automatized leve of lower limbs exercise could clearly be evaluated by the interference degree of the upper limbs exercise to the periodic lower limbs exercise. The purpose of this study was to investigate the difference of automa-tized levels of the upper limbs exercise and lower limbs exercise by an analysis of interference degree between the exercises of the upper limbs and lower limbs.

Ten male subjects, aged 18 to 21 years old, perticipated in this study. To evaluate the automatized level of the lower limbs exercise, the subjects performed a single palmar flexion with both hands during the stepping and the alternate plantar flexion of both feet. To evaluate the automatized level of the upper limbs exercise, they performed a single plantar flexion with both feet during the alternate palmar flexion and the alternate shoulder flexion with right and left side. All traials were carried out 3 times under each condition with sitting position. The results were :

- 1) When the palmar flexion was inserted into the lower limbs exercise, the change of step intervals was significantly greater in the plantar flexion than that in the stepping.
- 2) For many subjects, the remarkable interference phenomena that the alternate upper limbs exercise was interrupted and the lower limbs exercise, was repeatedly inserted were observed when the plantar flexion was inserted into the upper limbs exercise.
- 3) The interference upon the lower limb was frequent when the plantar flexion inserted into the alternate shoulder flexion. However, there was no difference of the frequency in the interference appearance between the upper limb and lower limb when the plantar flexion inserted into the alternate palmar flexion.

These results may suggest that the automatized level is lower in the upper limbs exercise than in the lower limbs exercise and the interference degree of lower limbs exercise to the periodic upper limbs exercise differs with a part of the upper limb.

**Key Words :** Automatizaton—Interference—Upper limbs exercise—  
Lower limbs exercise—Functional specialization

<sup>1)</sup> 金沢大学教養部保健体育研究室

Department of Health and Physical Education, College of Liberal Arts, Kanazawa University.

## 1 緒 言

運動を調節様式から見た場合、一方の極にはいわゆる反射的あるいは自動的な運動があり、他方の極には随意的な運動があると見なすことができる<sup>10)</sup>。多くの運動はその中間に位置している。運動調節においては、運動に伴う感覚情報が重要なものの一つとされ、その処理は多重ループを介して為されていると仮定される<sup>4), 11), 14), 20)</sup>。運動の調節は、学習によって大脳皮質など上位中枢に依存したものから下位中枢に依存したものへと移行し、自動化されると考えられ<sup>4), 16), 17)</sup>、自動化した運動には他の部位の運動による干渉が少ないと推察されていた<sup>15)</sup>。そこで我々は、これまでに成人男女を対象に、下肢の周期運動として足踏み運動と左右足交互の底屈運動を取り上げ、上肢運動の干渉程度を比較してきた<sup>21), 22)</sup>。歩行様の下肢運動である足踏み運動は、底屈運動に比べて成人では自動化が進んでいると推察される。それらの研究では、上肢運動の挿入による底屈運動の周期の変化が、足踏み運動に比べて極めて大きいことが示された。したがって、下肢運動の自動化水準は、上肢運動による周期的下肢運動への干渉程度から評価することが可能であると考えられた。

一方ヒトにおいては、直立二足歩行の獲得によって、下肢が体を支持し移動する機能を果たしており、上肢は体の支持と移動から解放されて多様な作業動作を行うことができるというように、両者に機能分化が生じている。上肢と下肢の運動調節を比較すると、上肢は視覚情報などの上位中枢が関与するもとで随意的に調節されていることが多く、下肢では歩行運動に代表されるような周期的運動が自動的になされることが多い。このことから、上肢運動と下肢運動の自動化水準が大きく異なることも十分に予想される。

そこで本研究は、上肢運動と下肢運動間の干渉程度を指標として、両者の自動化水準の差異を検討した。

## 2 方 法

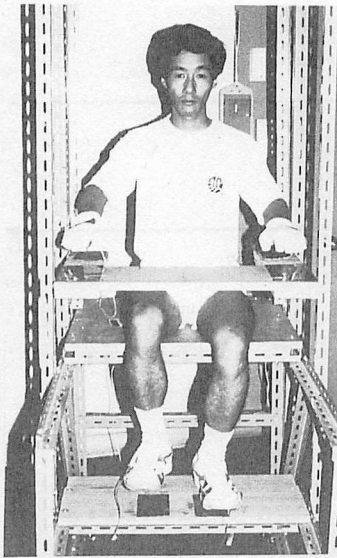
被験者は、ここ5年以上特定のスポーツ競技団体に加入しておらず、かつ過去に楽器演奏などのリズムカルな運動学習を経験していない成人男子10名とした。その年齢は $19.4 \pm 0.80$ 歳(平均値 $\pm$ 標準偏差値)、身長は $170.2 \pm 3.63$ cm、体重は $63.2 \pm 9.18$ kgであった。

### 実験Ⅰ 下肢運動に対する上肢運動の干渉

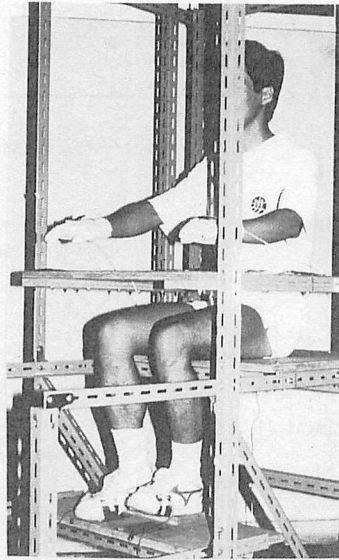
測定は、図1に示すように椅座位で行った。上肢は台上に置き、肘関節を $90^\circ$ 屈曲位に保持した。下肢の運動は、足踏みと左右足交互の底屈の周期運動(それぞれ、足踏み運動、底屈運動とする)とし、これに両側同時の掌屈運動を1回挿入した。

### 実験Ⅱ 上肢運動に対する下肢運動の干渉

測定は、実験Ⅰと同様に椅座位で行った(図2)。上肢の運動は、左右側交互の肩関節屈曲と掌屈の周期運動(それぞれ、肩屈曲運動、掌屈運動とする)とし、これに左右足同時の底屈運動を1回挿入した。膝関節角度と足関節角度は、 $90^\circ$ に保持した。

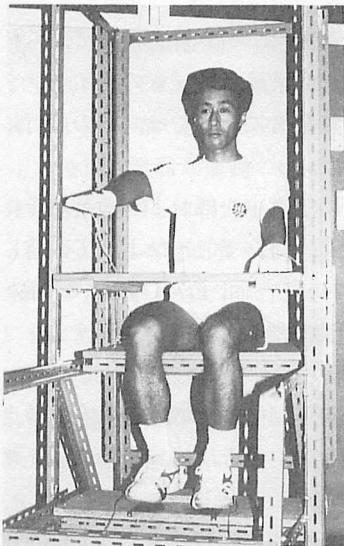


**Stepping**

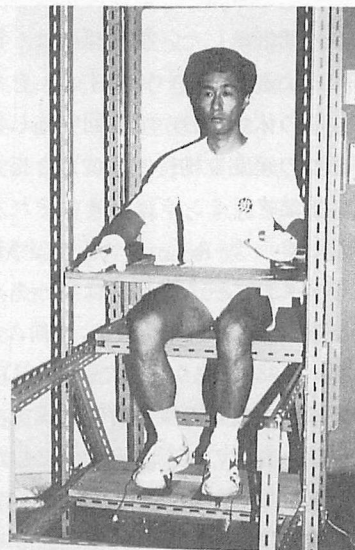


**Plantar flexion**

Fig. 1 Measurement of automatized level of periodic lower limbs exercise.



**Shoulder flexion**



**Palmar flexion**

Fig. 2 Measurement of automatized level of periodic upper limbs exercise.

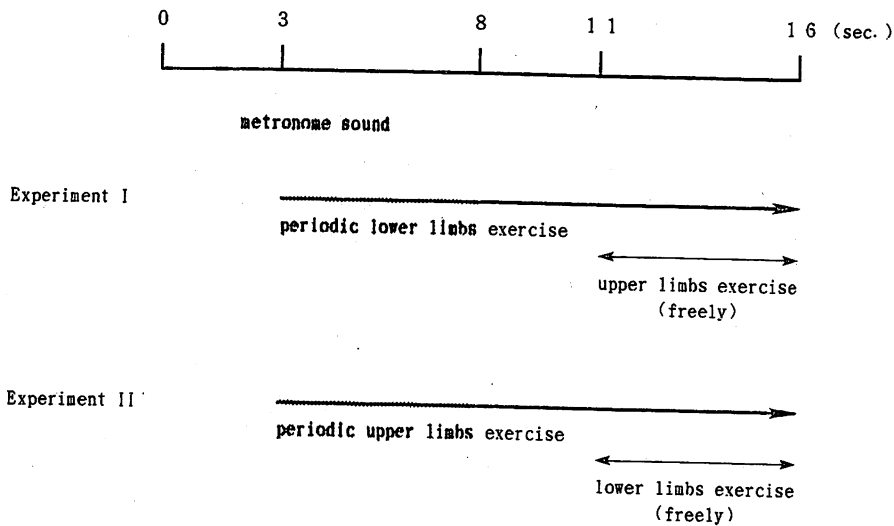


Fig. 3 Experimental schedule.

上肢ないし下肢の周期運動は、いずれも毎分150回の頻度とした。図3に、実験の手順を示した。まず、椅座位にて電子メトロノーム音を3秒間聞き、周期運動の頻度を把握した。これに続けて、周期運動を電子メトロノーム音に合わせて5秒間行い、さらに電子メトロノーム音の無い条件下で8秒間継続した。挿入運動は、電子メトロノーム音を消してから約3秒後に出される検者の口頭による合図（いいですよ）をもとに、被験者の任意のタイミングで実施した。各試行は、1分間の休息をおいて3回実施した。被験者に対しては、どの試行においても、可能な限り周期運動の頻度を維持することを指示した。

上肢と下肢の接地タイミングは、それぞれ左右の手掌中央部および両足の母指球から小指球にかけて装着したタッチ・スイッチ（ヒルタME製，TH-501）によって確認した。これらのデータは、電子メトロノーム音と共にデータ・レコーダー（TEAC社製，XR-5000）にテープ・スピード4.76cm/sec.で記録し、後刻A/D変換器を介してパーソナル・コンピュータ（SORD社製，M68）に取り込んだ。A/D変換のサンプリング間隔は、4 msec.とした。周期運動については左右交互の接地時間間隔を、挿入運動についてはその実施時点を分析した。各被験者の成績は、3回の試行の平均値とした。なお、分析には、周期運動を開始してから5秒目以降のデータを用いた。

統計処理上の検定は、危険率5%未満をもって有意とした。

### 3 結 果

#### 実験 I 下肢運動に対する上肢運動の干渉

図4に、足踏み運動と底屈運動に上肢運動を挿入した試行における左右足の接地時間間隔(以

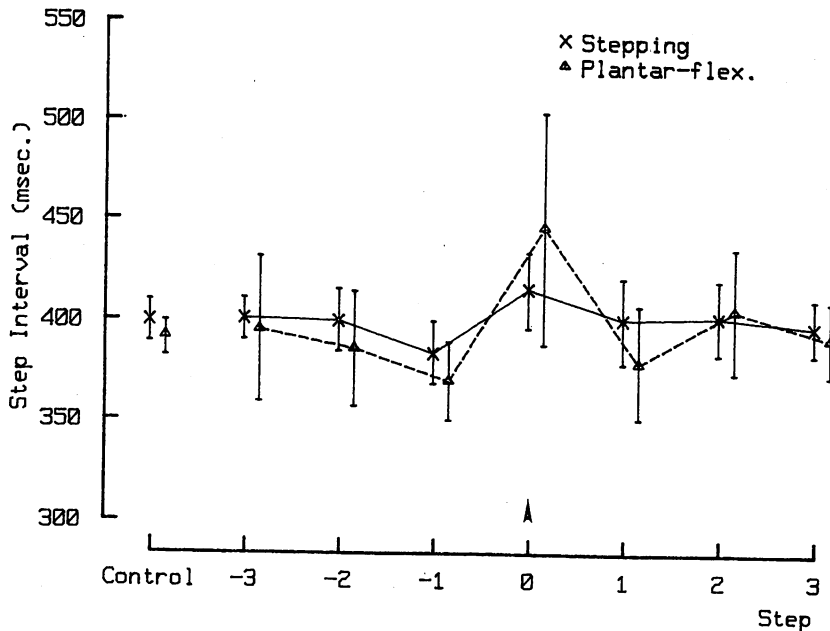


Fig. 4 Changes of step intervals on stepping and plantar flexion. An arrow mark shows the enforcement of the upper limbs exercise.

下, Step Interval; SI とする) の平均値と標準偏差値を示した。図中の矢印は上肢運動の挿入された SI であり, その前後 3 回の値を示した。横軸の Control は, 検者による上肢運動の挿入合図がなされる前の SI である。足踏み運動でも底屈運動でも, 上肢運動が挿入される 1 つ前の SI の短縮と, 挿入時の SI の延長が認められた。底屈運動で, この変化は顕著に認められた。差の検定の結果, 足踏み運動では, Control 値 ( $399.7 \pm 10.38 \text{ msec.}$ ) に対して上肢運動が挿入される 1 つ前の SI ( $383.1 \pm 15.61 \text{ msec.}$ ) は有意に短く, 上肢運動の挿入された SI ( $416.3 \pm 19.03 \text{ msec.}$ ) は有意に長かった。底屈運動でも, Control 値 ( $391.2 \pm 8.67 \text{ msec.}$ ) に対して上肢運動が挿入される 1 つ前の SI ( $369.8 \pm 19.73 \text{ msec.}$ ) は有意に短く, 上肢運動の挿入された SI ( $446.8 \pm 58.20 \text{ msec.}$ ) は有意に長かった。足踏み運動と底屈運動の比較では, 底屈運動の方が上肢運動が挿入される 1 つ前の SI が有意に短く, かつ挿入時の SI が有意に長かった。また, 上肢運動の挿入される 1 つ前の SI に対する挿入時の SI の比率は, 足踏み運動では  $1.09 \pm 0.065$ , 底屈運動では  $1.21 \pm 0.123$  であり, 底屈運動の方が有意に大きかった。しかし, 2 つの SI を合計した値には, 2 種の下肢運動間に有意差が認められなかった (足踏み運動  $799.4 \pm 25.18 \text{ msec.}$ , 底屈運動  $816.6 \pm 71.77 \text{ msec.}$ )。

#### 実験 II 上肢運動に対する下肢運動の干渉

上肢の周期運動に下肢運動を挿入する試行では, 下肢の周期運動に上肢運動を挿入する試行では見られない大きな干渉が認められた (図 5)。すなわち下肢運動の挿入によって, 上肢の周期運動が両側の同時運動 (被験者 T. O. の肩屈曲運動, および被験者 N. A. の掌屈運動: 以下

(Sub. T. O.)

(Sub. N. A.)

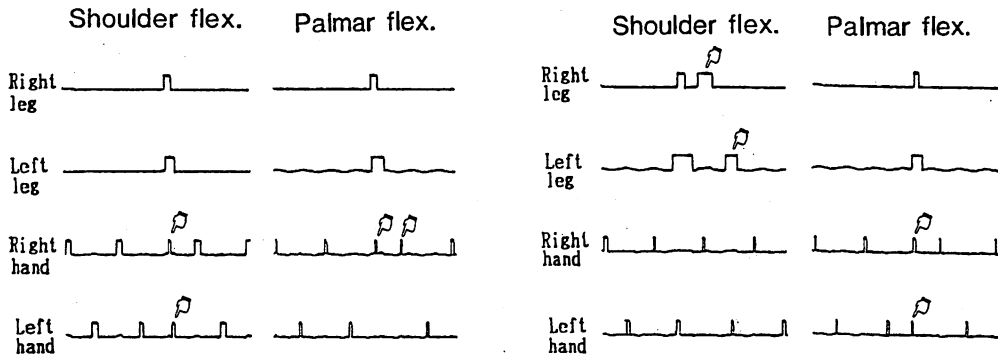


Fig. 5 Patterns of interference on the lower limbs exercise inserted into the periodic upper limbs exercise.

Table 1 Cumulative frequency of each interference pattern.

	PATTERN		
	A	B	C
Shoulder flexion	6	1	10
Palmar flexion	5	2	5

パターンAとする) になったり, 一側の連続運動 (被験者 T. O. の掌屈運動: 以下パターンBとする) になったりする現象が認められた。あるいは, 挿入を1回と指示した下肢運動でも上肢運動に合わせて連続する現象 (被験者 N. A. の肩屈曲運動: 以下パターンCとする) が認められた。それぞれの干渉パターンは, 肩屈曲運動と掌屈運動による試行を3回行う中で同一被験者に複数回認められた。表1に, 各パターンの累積出現頻度を示した。肩屈曲運動では, パターンAとBに比べてパターンCの出現頻度が最も多く, 度数の検定において有意差が認められた。しかし掌屈運動では, 各出現頻度に有意差は認められなかった。また, 上述の干渉現象が1度も認められなかった被験者は, 肩屈曲運動では2名, 掌屈運動では4名であった。

#### 4 考 察

運動に伴う感覚情報は各種の中枢へ入力され, 多重ループを形成していると考えられている。そして, 同一の運動であっても, 習熟程度の違いによって個々の中枢が運動調節に参与する程度には差異があると考えられる。最近の研究に, これを裏付けられる報告がみられる。子供の姿勢調節能を検討した報告では<sup>26)</sup>, 2~3歳児では上位中枢の制御を要する視覚に依存

した長潜時の調節がなされ、7～10歳児では学習によって成人と同様な前庭や固有受容器に依存した短潜時の調節がなされていることが示されている。姿勢調節の自動化が幼児期に進むこと<sup>5),7),8)</sup>や、運動学習によって自動的な姿勢調節能が向上すること<sup>6)</sup>を示唆する報告もみられる。また、体操選手やダンサーの姿勢調節が非運動者に比べて視覚情報よりも固有受容器性の入力に依存して行われているとの知見もある<sup>2),3)</sup>。これらの知見からは、運動の調節は習熟するにつれて下位中枢を中心としたものへ移行し、自動化されると考えられる。我々はこれまでに、歩行運動の発達過程にある幼児において、足踏み運動に対する上肢運動の干渉程度が成人に比べて極めて大きいという結果を報告した<sup>24)</sup>。これは、歩行様下肢運動の自動化水準が、成人と幼児で異なることを具体的に示すものと考えられる。

本研究では、椅座位にて下肢の周期運動に上肢運動を挿入する試技を行ったが、立位で行った先行研究<sup>21),22)</sup>と同様に、足踏み運動でも底屈運動でも、上肢運動の挿入されたS Iが延長し、その直前のS Iが延長する現象が認められた。そして、その変化の程度は、底屈運動で有意に大きかった。直立二足歩行は、ヒトの基本的なロコモーション様式であり、成人におけるその下肢の運動調節は高度に自動化されていると考えられる。体移動を実際に伴う歩行時の下肢運動に対する上肢運動の干渉程度は、極めて小さいことが確認されており<sup>23)</sup>、歩行様下肢運動である足踏み運動も自動化が進んでいると考えられる。それに比べて、足関節のみの運動である底屈運動は、普段行うことが少ない。したがって、足踏み運動に比べて底屈運動の調節には、上位中枢の関与の程度がより大きいものと考えられる。一方、運動の開始に先行するニューロン活動の変化を検討した知見からは、大脳基底核、視床などの下位中枢とともに大脳皮質運動野や大脳皮質連合野といった上位中枢でのニューロン活動が認められ<sup>13)</sup>、運動の開始に上位中枢が関与することが示されている。同様な状況が、上肢運動を挿入する場合にみられると推察される。これが、底屈運動の調節に影響を及ぼし、周期に大きな変化が現れたものと推察される。底屈運動に比べて自動化水準の高い足踏み運動では、運動調節における下位中枢の関与が強く、上肢運動による干渉が小さく現れたものと推察される。

一方、上肢の周期運動に下肢運動を挿入する試行では、下肢の周期運動に上肢運動を挿入する試行とは著しく異なる結果が得られた。すなわち、肩屈曲運動でも掌屈運動でも、下肢運動の挿入によって上肢の周期運動が両側の同時運動（パターンA）や一側の連続運動に変化する現象（パターンB）が認められ、さらには、1回と指示した下肢運動の挿入を上肢運動に合わせて連続する現象（パターンC）も認められた。このような干渉パターンは、下肢の周期運動に上肢運動を挿入する試行では1例も認められず、上肢運動に対する下肢運動の干渉が下肢運動に対する上肢運動の干渉に比べて極めて大きいことを示している。よって、多くのヒトにおいて、上肢の運動調節は下肢に比べて自動化されていないものと考えられる。この結果は、上肢の運動調節が下肢の運動調節に比べて上位中枢の関与が強いことによって生じたものと考えられる。上肢と下肢の機能分化を示す、次のような組織学的知見が報告されている。上位中枢である大脳皮質運動野に占める上肢の領域は、下肢に比べて極めて広いこと<sup>12),18)</sup>、また上肢の運動ニューロンには、緻密な運動の制御に重要な働きを有する錐体路が多く接続している<sup>27)</sup>。さらに、上肢と下肢の筋線維組成を比較すると、上肢は下肢に比べて速筋線維の割合が多い<sup>19)</sup>。これ

は、上肢の運動が、上位中枢の制御を要する視覚情報のもとでの単発的な運動が多いことを反映しているように思われる。本研究の結果は、このような組織学的知見に加えて、上肢と下肢の周期運動の中枢による制御様式自体に大きな差異があることを示すものであると考えられる。

さらに肩屈曲運動では、下肢運動と上肢の周期運動の干渉が、下肢に頻繁に認められた（パターンC）。上肢と下肢の運動をいずれも周期運動とし、その両者を組み合わせた場合にも、下肢の運動調節により大きな変化の生じることが報告されている<sup>25)</sup>。このような結果は、脊髄における上肢と下肢の神経的結合が、下肢から上肢へのものに比べて上肢から下肢へのものの方が強いこと<sup>9)</sup>と関連しているように思われる。しかし、掌屈運動では、上肢と下肢に現れた干渉の出現頻度に有意差は認められなかった。この結果は、上肢の部位によっても下肢運動と上肢の周期運動の干渉程度が大きく異なることを示すものと考えられる。

## 5 結 論

一般成人男子10名を対象として、上肢運動と下肢運動間の干渉程度を把握し、上肢と下肢の運動調節における自動化水準の差異を検討した。下肢運動に対する上肢運動の干渉程度を評価する試行では、下肢の動作として足踏みと左右足交互の底屈の周期運動を行い、これに両側同時の掌屈運動を1回挿入した。上肢運動に対する下肢運動の干渉程度を評価する試行では、上肢の動作として左右交互の肩関節屈曲と掌屈の周期運動を行い、これに両足同時の底屈運動を1回挿入した。全ての試行は、椅座位で行った。運動調節の自動化水準は、挿入運動による周期運動の周期の変化の大きさを評価した。結果は、以下のとおりであった。

1 下肢の周期運動に上肢運動を挿入した場合、上肢運動の挿入時に左右足交互の接地時間間隔が延長し、その1歩前の接地時間間隔が短縮した。この変化は、底屈運動が足踏み運動に比べて有意に大きかった。

2 上肢の周期運動に下肢運動を挿入した場合には、多数の被験者において、上肢の周期運動が両側の同時運動や一侧の連続運動に変化する現象が認められ、さらには、1回と指示した下肢運動の挿入を上肢運動に合わせて連続する現象も認められた。これらの現象は、下肢の周期運動に上肢運動を挿入する試行では、1例も認められなかった。

3 肩屈曲運動に下肢運動を挿入する試行では、下肢運動に現れる干渉が上肢運動に現れる干渉に比べて頻繁に認められた。一方、掌屈運動に下肢運動を挿入する試行では、上肢と下肢に現れる干渉の頻度に有意差は認められなかった。

以上の結果は、多くのヒトにおいて上肢運動の自動化水準が下肢運動に比べて低いこと、上肢の部位によって下肢運動と上肢の周期運動の干渉程度に差異のあることを示すものと考えられた。



## 参 考 文 献

- 1) Cordo, P. J. and Nashner, L. M. (1982) Properties of postural adjustments with rapid arm movements. *J. Neurophysiol.*, 47, 287-302.
- 2) Debû, B. and Woollacott, M. (1988) Effects of gymnastics training on postural responses to stance perturbations. *J. Motor Behav.*, 20, 273-300.
- 3) Dewitt, G. (1972) Optic versus vestibular and proprioceptive impulses measured by posturo-metry. *Agressologie*, 13 b, 72-79.
- 4) Fitts, P. M. and Posner, M. I. (1967) *Human performance*. Wadsworth Publishing, Belmont.
- 5) 福岡茂之, 藤原勝夫 (1988) 成人と6歳児における床振動時の立位姿勢調節の学習. *姿勢研究*, 8, 73-81.
- 6) 藤原勝夫, 池上晴夫 (1984) 床振動時の立位姿勢の応答特性. *体育学研究*, 29, 251-261.
- 7) 藤原勝夫 (1986) 幼児における床振動時の立位姿勢調節能. *姿勢研究*, 6, 19-28.
- 8) Fujiwara, K., Toyama, H., Asai, H. and Yamashina, T. (1990) Development of the adaptability of postural control during floor vibration. *Disorders of Posture and Gait 1990*, Brandt, Th., (ed), Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 185-189.
- 9) Gernandt, BO E., Shimamura, M. (1961) Mechanisms of interlimb reflexes in cat. *J. Neurophysiol.*, 24, 665-676.
- 10) Jackson, J. H. (1898) Relations of different divisions of the central neurons system to one another and to parts of the body. *Lancet*, In *Selected writings of John Hughlings Jackson*, vol. II (Tailor, J. ed.), (1932), Hodder and Stoughton, London, 422-443.
- 11) Marsden, C. D., Merton, P. A. and Morton, H. B. (1972) Servo action in human voluntary movement. *Nature (Lond.)*, 238, 140-143.
- 12) 松波謙一 (1983) *脳の科学 I* (中村嘉男, 酒田英夫編), 初版, 運動の脳皮質性制御, 朝倉書店, 東京, 272-276.
- 13) Meyer-Lohmann, J., Hore, J. and Brooks, V. B. (1977) Cerebellar participation in generation of prompt arm movements. *J. Neurophysiol.*, 40, 1038-1050.
- 14) Milner-Brown, H. S., Stein, R. B. and Lee, R. G. (1975) Synchronization of human motor unit: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 38, 245-254.
- 15) 中村隆一, 細川徹 (1988) 運動学習 1, 学習理論 1, 運動学習の基礎. 理・作・療法, 22, 35-40.
- 16) 大塚立志 (1988) 「たくみ」の科学, 初版, 随意運動制御の基礎理論. 朝倉書店, 東京, 180-225.
- 17) Paillard, J. (1960) *Handbook of physiology*, section 1: Neurophysiology, vol. III, The patterning of skilled movements. In, Field, J. (ed), American Physiological Society, Washington, 1679-1708.
- 18) Penfield, W. and Rasmussen, T. (1950) *The cerebral cortex of man*. Macmillan, New York.
- 19) Saltin, B., Henrikson, J., Nygaard, E. and Andersen, P. (1977) Fiber type and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 301, 3-29.
- 20) Tatton, W. H., Forner, S. D., Gerstein, G. L., Chambers, W. W. and Liu, C. N. (1975) The effect of postcentral cortical lesions on motor responses to sudden limb displacements in monkey. *Brain Res.*, 96, 108-113.
- 21) 外山寛, 藤原勝夫 (1989) 自動化水準の異なる下肢運動に対する上肢運動の干渉の性差. *金沢大学数産部論集 (自然科学篇)*, 26, 39-46.
- 22) 外山寛, 藤原勝夫 (1990) 自動化水準の異なる下肢の周期運動に対する上肢運動の干渉. *体力科学*, 39, 44-52.
- 23) 外山寛, 藤原勝夫, 浅井仁, 山科忠彦 (1990) 歩行運動の周期に対する単発の両側上肢運動の干渉. *姿勢研究*, 10, 143-148.
- 24) Toyama, H., Fujiwara, K., Asai, H. and Yamashina, T. (1990) Interference of upper limbs exercise to the periodic lower limbs exercise in children. *Disorders of Posture and Gait 1990*, Brandt, Th., (ed), Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 329-332.
- 25) 渡辺俊男, 川原ゆり (1976) 四肢動作にみられる協応能の発達. *体力科学*, 25, 118-128.
- 26) Woollacott, M., Debû, B. and Mowatt, M. (1987) Neuromuscular control of posture in the infant and child: is vision dominant? *J. Motor Behav.*, 19, 167-186.
- 27) 矢部京之助 (1973) 運動の生理学 (猪飼道夫編), 初版, 運動の制御, 杏林書院, 東京, 54-107.