上・下肢運動の自動化水準におよぼす運動学習の影響
— サッカー選手とバスケットボール選手の比較 —

外 山 寛 藤 原 勝 夫

THE INFLUENCE OF MOTOR LEARNING ON AUTOMATIZED
LEVELS OF UPPER AND LOWER LIMBS
— A COMPARISON BETWEEN SOCCER AND
BASKETBALL PLAYERS—

HIROSHI TOYAMA and KATSUO FUJIWARA

Abstract

A study was conducted to investigate the influence of motor learning on functional specialization of the upper and lower limbs by comparing automatized levels in upper and lower limb movements between 17 soccer (S group) and 14 basketball (B group) players at a university. They carried out transitory palmar flexion of both hands while stepping and performing alternate flexion-extension movements of both ankle joints, and transitory plantar flexion of both feet while performing alternate flexion-extension movement of both shoulder joints and both wrist joints. The automatized levels of the upper and lower limb movements were evaluated by the degree of interference between the upper and lower limb movements.

It was shown that automatization of lower limb movements was more advanced than that of upper limb movements in both groups. The automatized levels of stepping in the S and B groups showed no significant difference, and were similar to those of university students in general obtained in our previous study. However, the automatized levels of ankle joint movements in both groups were higher than those for university students in general.

In both groups, the insertion of transitory palmar flexion was restricted to within the phase where the degree of interference was small during the stepping and ankle joint movement. However, this tendency was not clear in the trial where transitory plantar flexion was superimposed on shoulder joint and wrist joint movements.

As for the difference between the groups, the S group showed a higher automatized level of ankle joint movement than the B group. On the other hand, the B group showed higher automatized levels of both upper limb movements than the S group, and this tendency was especially evident for shoulder joint movement.

These results suggest that the change in the automatized level of upper and lower limb movements by specific motor learning is added to the functional specialization of the upper and lower limbs acquired by daily basic motor learning in an upright position.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1994, 43 : 45~57)

key words : Motor learning, Sports player, Automatized level, Upper limb movement, Lower limb movement

I. 緒 言

ヒトは進化の過程で直立二足性を獲得することにより、下肢は体を支持し移動する機能を果たし、上肢はその機能から解放されて多様で緻密な

作業動作ができるというように、機能分化が生じたものと考えられている⁸⁾。個体発生の過程での上肢と下肢の機能分化については、下肢では姿勢保持や歩行に代表されるような自動的な調節が多くなり、それとは対照的に、上肢では上位中枢が

より強く関与するもとの随意的な調節が多くなっているととらえることができる²⁵⁾。

運動調節は、運動を繰り返し行うことで自動化されると考えられている^{1,25)}。自動化した運動では、運動パターンの変動が少ないことや、他の身体部位の運動による干渉が小さいという現象が認められている^{1,4,22)}。この場合には、いずれも連続的な周期運動が対象となっている。このような調節様式の変化は、中枢神経系の階層性との対応でとらえられ、学習によって上位中枢に依存したのから下位中枢に依存したものへ移行することによってもたらされると考えられている^{13,25)}。

我々はこれまでに、自動化水準が明らかに異なると考えられる歩行様の下肢運動である足踏み運動、および普段その運動が単独で行われることが少ないと考えられる左右交互の足関節のみの屈伸運動(足関節運動)を取り上げ、一過性の両側上肢運動を併行した場合の干渉度を検討してきた³²⁾。その結果、下肢運動を単独で行った場合の周期の変動が、自動化水準が低いと考えられる足関節運動で大きいことが確認された。また、その運動の周期は、上肢運動の挿入によって顕著に変化するという結果を得た。この結果は、周期運動に対する一過性の運動の干渉度によって、運動の自動化水準を明確に評価できることを示すものと考えられた。前報では、上・下肢の運動間の干渉度を指標として、一般大学生における上肢運動と下肢運動の自動化水準を検討した³⁵⁾。その結果、上述した上・下肢の機能分化を裏付けるように、下肢運動の自動化が上肢運動に比べて極めて進んでいることが示された。さらに幼児を対象とした先行研究では、歩行様下肢運動の自動化水準が、4歳児では著しく低く、6歳児で成人とほぼ同じ水準に達するという結果を得た³³⁾。また、散歩を保育のカリキュラムに取り入れている保育園の幼児(5歳)は、そうでない保育園の幼児に比べて、歩行様下肢運動の自動化が進んでいるという知見も得た³⁴⁾。これらの幼児を対象とした研究結果から、歩行様下肢運動は長期間にわたる学習によってより自動化されるものであると推察された。

身体の複数部位の運動が同時に行われる場合の

調節に関する研究においては、上肢ないし下肢の左右の運動が対象となっているものが多い。それらの研究では、反応時間^{17,23)}、筋出力^{11,24,37,38)}、中枢メカニズム^{9,31)}、および運動調節の訓練による変化^{1,4,5,27)}について検討されている。また、上肢の左右の協応能ないし上肢と下肢の協応能の発達を検討した研究^{15,16,18,39)}や、上・下肢間の運動調節における反射的連関に焦点をあてた研究^{6,20)}もなされている。このように、様々な観点から検討が加えられているが、上・下肢の機能分化に焦点を当て、運動学習という観点から運動の自動化について検討した報告は見あたらない。

歩行・走行などの日常生活にとって基本的な運動に加えて、スポーツ活動を通じて特有の四肢の運動を学習することもなされている。例えば、サッカーでは下肢によるボール操作が積極的に行われるが、上肢をボール操作に直接的に使用することは少ない。一方、バスケットボールでは、下肢による移動運動に加えて、上肢によるボール操作が頻繁に行われる。このようなサッカーないしバスケットボールを長期間学習した競技者では、上・下肢の運動の自動化水準が大きく異なることが十分予想される。

そこで本研究は、サッカー部ないしはバスケットボール部に長期間所属している大学生を対象に、上・下肢の運動間の干渉度を分析し、運動の自動化水準におよぼす運動学習の影響について検討した。

II. 方 法

A. 被験者

被験者は、サッカー部ないしバスケットボール部に所属し、練習を続けている男子大学生であり(以下、サッカー部選手はS群、バスケットボール部選手はB群と略す)、その被験者数はS群が17名、B群が14名である。両群の年齢、身長、体重、運動部活動の継続年数について、平均値と標準偏差値(以下、SDと略す)を表1に示した。被験者が運動部に加入した年齢は、S群が6~12歳(9.4±1.64歳)であり、B群が7~13歳(11.8±1.42歳)であった。これらの被験者は、過去に楽

Table 1. Age, height, weight and experienced years in sport club of S and B groups.

		Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Expe. Yr. (years)
S group (N=17)	mean	19.9	173.3	67.7	10.6
	S. D.	1.00	4.49	4.48	1.50
B group (N=14)	mean	19.8	179.8	69.9	8.0
	S. D.	1.37	4.02	5.12	1.81

器演奏などのリズムカルな運動学習を特別に経験したことがなく、しかも他のスポーツクラブに所属したことがない者である。またS群に、ゴールキーパーは含まれていない。

B. 測定方法

被験者には、実験Ⅰにおいて、足踏みおよび左右交互による足関節屈伸の周期運動（以下、足踏み運動と足関節運動と略す）時に、両側同時の掌屈運動を1回挿入することを行わせた。また実験Ⅱにおいて、矢状面での左右交互の肩関節および手関節の屈伸運動によるタッピングの周期運動（以下、肩関節運動と手関節運動と略す）時に、両側同時の底屈運動を1回挿入することを行わせた（図1）。試行は全て椅座位で行い、上肢と下肢の周期運動は毎分150回の頻度（周期は400 msec.）とした。実験手順は、図2に示すように、電子メトロノーム音を3秒間聞かせた後、これに合わせて周期運動を5秒間行わせた。その後電子メトロノーム音を消去し、周期運動を8秒間継続させた。挿入運動は、電子メトロノーム音を消去してから3秒後に口頭による合図を行い、それをもとに被験者に任意のタイミングで実施させた。試行数は、いずれの実験においても1分間の休息をはさんで、3回とした。

上・下肢の接地タイミングは、タッチ・スイッチ（ヒルタ ME, TH-501）によって検出した。タッチ・スイッチは、両側の手掌中央部および母指球から小指球にかけて装着した。これらのデータは、データ・レコーダー（TEAC, XR-5000）に記録した。後刻、周期運動を開始してから5秒目以降の8秒間のデータを4 msec. のサンプリング間隔でA/D変換し、パーソナル・コンピューター

Experiment I

Stepping

Ankle joints movement

Experiment II

Shoulder joints movement

Wrist joints movement

Fig. 1. Measurements of automatized level in lower limb movement (upper panel) and upper limb movement (lower panel).

(SORD, M 68)に取り込んだ。そのデータを用いて、周期運動における左右交互の接地の瞬間の時間間隔、および挿入運動の実施時点を分析した。また、周期運動と挿入運動の履行状況について、

Fig. 2. Experimental schedule.

同データから判断した。

統計処理上の検定は、危険率5%未満をもって有意とした。

III. 結 果

A. 下肢の周期運動時に掌屈運動を挿入する試行(実験Ⅰ)

図3に、足踏み運動における接地時間間隔(以下、Step Interval; SIと略す)の平均値とSDを示した。なお、3試行の平均値を各被験者の代表値とした。横軸にはステップの順序を示しているが、掌屈運動挿入相のステップを0とし、それ以前のステップを(-)、それ以降のステップを(+)とした。対照値(Control)は、電子メトロノーム音を消去してから掌屈運動の挿入合図がなされるひとつ前までのSI値である。S群とB群に共通する傾向として、ステップ(-1)のSIの短縮と、ステップ(0)のSIの延長が認められた。各SI値を対照値と比較した結果、S群ではステップ(-1)のSIの短縮が、B群ではステップ(-1)のSIの短縮およびステップ(0)のSIの延長が、有意であった。なお群間の比較では、各ステップのSI値、ステップ(-1)に対するステップ(0)のSI値の比、およびステップ(-1)とステップ(0)のSIの和に有意差が認められなかった。

足踏み運動で指示された周期を、左右それぞれの足の接地時点から40msec.ごとに区分し、挿入された掌屈運動の各時相ごとの相対度数を、図4に示した。なお、全試行数は、S群が51試行(17名×3試行)であり、B群が42試行(14名×3試行)である。両群とも、掌屈運動の挿入が右足ないし左足の接地直前から直後に集中して行われ、それ以外の時相では極めて少なかった。

図5に、足関節運動におけるSIの平均値とSDを示した。対照値と比較した場合に、S群ではステップ(0)のSIの延長が、B群ではステップ(-1)のSIの短縮と、ステップ(0)のSIの延長が、有意であった。また、各ステップのSI値について群間の差の検定を行ったところ、B群におけるステップ(-1)のSI値のみが有意に短かった。

図6に、足踏み運動と同様の方法で、足関節運動において挿入された掌屈運動の各時相ごとの相対度数を示した。足踏み運動と同様に、両群とも掌屈運動の挿入が右足ないし左足の接地直前から直後に集中して行われた。

足踏み運動と足関節運動の比較では、B群でのみ、足関節運動におけるステップ(-1)のSI値が有意に短かった。

Fig. 3. Changes of step interval on the stepping in S and B groups. An arrow mark shows the case when transitory palmar flexion of both hands is superimposed on the stepping. (* : $p < 0.05$)

Fig. 5. Changes of step interval on the ankle joints movement in S and B groups. An arrow mark shows the case when transitory palmar flexion of both hands is superimposed on the ankle joints movement. (* : $p < 0.05$)

Fig. 4. Insertion phases of transitory palmar flexion of both hands while stepping in S and B groups.

Fig. 6. Insertion phases of transitory palmar flexion of both hands while performing the ankle joints movement in S and B groups.

Fig. 7. Typical patterns that the nonfulfillment of the task (solid circle) for the upper and lower limb movements appeared simultaneously in S group. Pattern A and B show the nonfulfillment of the task for the upper limb movement, and pattern C for the lower limb movement. The left panel shows the combination of pattern A and C. The right panel shows the combination of pattern B and C.

Table 2. Cumulative frequency of each interference pattern in S and B groups. The total of trial number in each periodic upper limb movement are 51 times for S group and 42 times for B group.

pattern	Shoulder joints movement				Wrist joints movement			
	A	B	C	A or B + C	A	B	C	A or B + C
S group	31.4%	7.8%	60.8%	23.5%	27.5%	11.8%	35.3%	23.5%
	*		*	*	*		*	*
B group	4.8%	0.0%	14.3%	0.0%	7.1%	2.4%	11.9%	0.0%

* : $p < 0.05$

B. 上肢の周期運動時に底屈運動を挿入する試行(実験 II)

肩関節運動と手関節運動時に一過性の底屈運動を挿入する試行では, 指示した運動とは異なり, 両側上肢の同時運動(以下, パターンAとする), 一側上肢の連続運動(以下, パターンBとする), および左右交互の足関節屈伸運動を上肢運動の周期と同期して繰り返すという干渉現象(以下, パターンCとする)が認められた. 3試行の中で, このような上肢ないし下肢の運動不履行が, 1度でも認められた被験者数の割合は, S群では肩関節運動で88.2%であり, 手関節運動で70.6%であ

った. これに対して, B群では肩関節運動と手関節運動のいずれにおいても28.6%と少なく, それぞれの人数の割合はS群との間に有意差が認められた. さらにS群でのみ, 上肢の運動不履行(パターンAないしB)と, 下肢の運動不履行(パターンC)が同時に現れた(図7). この現象は, 肩関節運動で64.7%, 手関節運動で52.9%の被験者に認められた.

また, 運動不履行の認められた試行数の割合は, Sでは肩関節運動で76.5%であり, 手関節運動では51.0%であった. これに対し, B群では肩関節運動と手関節運動のいずれにおいても19.1%

と少なく、それぞれの割合はS群との間に有意差が認められた。表2は、肩関節運動と手関節運動における各パターンの累積出現率を示したものである。S群では、B群に比べて各パターンが頻繁に出現した。この傾向は肩関節運動と手関節運動のパターンAおよびCで有意であった。また、両群に共通してパターンCが最も多くみられた。そこでパターンCの累積出現率を他のパターンのそれと比較した。その結果、S群では肩関節運動におけるパターンCの累積出現率がパターンAおよびBより有意に高く、手関節運動におけるパターンCの累積出現率はパターンBより有意に高かった。B群では、肩関節運動のパターンCの累積出現率がパターンBに比べて有意に高かった。肩関節運動と手関節運動の比較では、S群でのみ肩関節運動におけるパターンCの累積出現率が有意に高かった。

図8に、肩関節運動において、上・下肢の運動を指示どおりに履行することができた試行における、左右手掌の接地時間間隔（以下、Contact Interval ; CI と略す）の平均値とSDを示した。両群とも、対照値に比べてステップ(0)のCIが有意に延長した。またS群とB群を比較すると、ステップ(0)のCI値、ステップ(-1)に対するステップ(0)のCI値の比、およびステップ(-1)とステップ(0)のCI値の和については、S群の平均値とSDが大きい傾向にあり、SDにのみ有意差が認められた。

図9に、肩関節運動で指示された周期を、左右それぞれの手掌の接地時点から40msec.ごとに区分し、挿入された底屈運動の各時相ごとの相対度数を示した。白ぬきで示したのは、肩関節運動と底屈運動が履行できた試行であり、網かけで示したのは、肩関節運動ないし底屈運動の履行ができなかった試行である。両群とも、肩関節運動と底屈運動が履行できた試行では、底屈運動の挿入が右ないし左の手掌接地直前から直後に多く行われた。一方、指示した運動が履行できなかった試行では、底屈運動の挿入がそれ以外の時相でも行われた。

手関節運動において、上・下肢の運動が履行で

Fig. 8. Changes of the time interval between alternate contacts on the shoulder joints movement in S and B groups. An arrow mark shows the contact interval that transitory plantar flexion of both feet is superimposed on the shoulder joints movement. This data is composed of the trial to be able to conduct the indicated tasks. (* : $p < 0.05$)

Fig. 9. Insertion phases of transitory plantar flexion of both feet while performing the shoulder joints movement in S and B groups. The trial which is observed either pattern A, B or C is shown with shaded bar.

きた試行では, 対照値と比較した場合, 両群ともステップ(-1)のCIの短縮とステップ(0)のCIの延長が有意に認められた(図10). 群間の比較では, ステップ(0)のCIのSDがS群で有意に大きかった.

図11に, 肩関節運動と同様の方法で, 手関節運動において, 底屈運動が挿入された各時相ごとの相対度数を示した. 肩関節運動と同様に, 両群とも, 上・下肢の運動が履行できた試行では, 底屈運動の挿入が右ないし左の手掌接地直前から直後に多く行われた. 一方, 指示した運動が履行できなかった試行では, 底屈運動がそれ以外の時相でも挿入された.

肩関節運動と手関節運動の比較では, S群でのみ, 肩関節運動において, 指示された運動が履行できない試行数の割合が有意に高く, さらに運動を履行できた試行におけるステップ(0)のCIのSDが有意に大きかった.

IV. 考 察

前報において, 一般大学生男子を対象として同様の実験を行っているので, その結果を加味して本研究の考察を行う.

本研究では, 両群に共通した結果として, 上肢の周期運動時に底屈運動を挿入した試行(実験Ⅱ)でのみ, 上肢の運動不履行(パターンA, B)や, 下肢の運動不履行(パターンC)が認められた. この結果は, 両群とも, 上肢運動の自動化水準が下肢運動に比べて低いことを示すものと考えられる. このことは, 前報の一般大学生男子を対象として行った研究でも認められた.

このような上肢運動と下肢運動の自動化水準の違いに関係していると考えられる組織学上の知見としては, 大脳皮質運動野と感覚野に占める上肢の領域が下肢に比べて極めて広いこと^{26,40)}や, 上肢筋を支配する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あるいは皮質脊髓路が多く接続していること²⁹⁾, および下肢筋は上肢筋に比べて遅筋線維の割合が高いということなどがあげられよう²⁸⁾. 遅筋線維には筋紡錘が多く含まれている¹²⁾ことや, 遅筋線維を支配する運

Fig. 10. Changes of the time interval between alternate contacts on the wrist joints movement in S and B groups. An arrow mark shows the contact interval that transitory plantar flexion of both feet is superimposed on the wrist joints movement. This data is composed of the trial to be able to conduct the indicated tasks. (*: $p < 0.05$)

Fig. 11. Insertion phases of transitory plantar flexion of both feet while performing the wrist joints movement in S and B groups. The trial which is observed either pattern A, B or C is shown with shaded bar.

動ニューロンでは、Ia 求心線維からの入力によって誘発される興奮性と抑制性のシナプス後電位の最大振幅値が大きい^{3,7,19)}ということが知られている。このような知見をもとに、下肢筋は上肢筋に比べて筋伸張刺激に対する閉ループ制御が機能しやすく、筋出力の自動制御機構が発達していると指摘されている¹⁴⁾。

この他に本研究では、S群とB群に共通して、足踏み運動に対する掌屈運動の干渉度が極めて小さいという結果も得られた。その足踏み運動におけるSIの変化を一般大学生男子で得られている結果と比較したところ、有意差は認められなかった。足踏み運動は、ヒトの基本的なロコモーション様式である二足歩行時の下肢の運動に類似しており、スポーツ活動の内容を問わず、一般の人も含め、多くの人にとって高度に自動化された運動であることを示すものと考えられる。

足関節運動の自動化水準について、足踏み運動との比較を通じて考察すると、次のような特徴が考えられる。足関節運動では、足踏み運動に比べて、ステップ(-1)のSIの短縮とステップ(0)のSIの延長が大きい傾向にあった。しかし、その程度はS群とB群で異なっていた。そこで足関節運動におけるこのふたつのSI値について、一般大学生男子を含めて3群の比較を行った。その結果、ステップ(-1)のSIの短縮は、一般大学生男子>B群>S群の順に大きく、一般大学生男子とB群でのみ、足関節運動と足踏み運動の間で有意差が認められた。一方、ステップ(0)のSIの延長は、一般大学生男子>S群>B群の順に大きく、一般大学生男子でのみ、足関節運動と足踏み運動の間で有意差が認められた。また、ステップ(-1)に対するステップ(0)のSI値の比は、一般大学生男子>B群>S群の順に大きく、一般大学生男子でのみ、足関節運動と足踏み運動の間で有意差が認められた。これらの結果から、S群・B群では足関節運動の自動化水準が一般大学生男子より高いこと、中でもS群の水準は高く、足踏み運動と同程度であることが考えられる。

上肢運動の自動化水準については、足関節運動と大きく異なることを示す次のような結果が得ら

れた。肩関節運動と手関節運動時に底屈運動を挿入した場合では、運動不履行の認められた人数および試行数の割合が、S群>一般大学生男子>B群の順に高かった。3群の差を運動不履行の認められた試行数の割合でみると、肩関節運動では3群全ての間で有意であり、手関節運動ではS群と一般大学生男子の間を除く群間で有意であった。さらにS群でのみ、大きな干渉とみなされる運動不履行が上肢と下肢で同時に生じた。これらの結果から、B群では肩関節と手関節の運動の自動化水準が一般大学生男子より高いこと、そしてS群では肩関節と手関節の運動の自動化水準が一般大学生男子を下回っており、その傾向は肩関節運動で顕著であると考えられる。

このようにS群とB群の間には、足踏み運動を除いて上・下肢の運動の自動化水準に大きな差異が認められた。このことはについては、次のようなスポーツ活動における運動様式の特徴が関係しているものと考えられる。サッカーとバスケットボールでは、各種のフットワークが繰り返し行われる。その中には、上肢運動とは比較的独立した足関節を中心とする調節が多く含まれているように思われる。それに加えてS群では、足関節を中心としたボールのコントロールが連続して頻繁に行われる。このように、足関節運動の自動化が進んでいると考えられるS群とB群には、スポーツ活動において、足関節を中心とする連続的な運動が上肢運動とは独立してなされるという共通点があるように思われる。また、本研究結果からして、肩関節運動と手関節運動の自動化が進んでいると考えられるB群では、バスケットボールにおいて、肩関節や手関節の連続的な運動が下肢運動とは比較的独立して頻繁に行われる。そのような上肢運動の一例に、ドリブル動作があげられよう。これらのことから、上肢と下肢それぞれの連続的な運動を比較的独立して繰り返すことで、その身体部位の運動が自動化されると推察することも可能のように思われる。

一方、S群では、肩関節運動と手関節運動の自動化水準が一般大学生男子を下回り、中でもその傾向が肩関節運動で著しかったという結果につい

ては、次のようなことが考えられる。S群の上肢運動の特性として、走運動の中で上肢を連続して運動する場合、下肢運動と連動することが極めて多く、その中でも肩関節の運動は下肢運動との連動が強いものと考えられる²¹⁾。このように、上肢運動の自動化水準が上肢の部位によって異なるという現象に対応する機構としては、ひとつには四肢の近位筋が遠位筋に比べて四肢間の反射的連関が強い^{6,20)}ことが考えられる。

また上記の結果は、足関節運動のように周期運動が自動化していても、その運動を一過性に行い、自動化していない他の周期運動と組み合わせる場合には、大きな干渉が生じることを示している。すなわちS群では、足関節運動の自動化が上肢運動に比べて進んでいることが示されたにもかかわらず、その運動を一過性に行い、自動化水準の低い上肢運動時に挿入した場合には、上肢や下肢の運動不履行が認められた。その中で、下肢の運動不履行が最も頻繁に現れた。この結果は、自動化している周期運動であっても、それが一過性に行われる場合には、上位中枢が関与するとされる随意的な調節がなされることを示すものと考えられる。このことは、運動の開始に先立って、大脳基底核、視床などの下位中枢とともに、大脳皮質の運動野や連合野などの上位中枢でニューロンの活動が認められるという報告²¹⁾からも推察される。一方、緒言でも述べたように、自動化水準の低い周期運動においては、上位中枢が強く関与することが推察されている^{13,25)}。したがって、随意的な一過性の運動と自動化水準の低い周期運動を併行することで、上位中枢での調節に混乱が起こり、運動の不履行が生じたものと推察される。また、運動不履行が上肢のみならず下肢にも現れたことから、上・下肢が連動する経路のあることが考えられる。その経路は明確ではないが、ひとつの可能性として、四肢間の反射回路があげられよう。四肢間反射では、下行性の活動が強く現れると指摘されており^{10,20,30)}、上肢運動の周期と連動した下肢運動の不履行が頻繁に現れるという結果と関係があるように思われる。また、下肢運動の不履行は、B群に比べてS群で多く認められた。

既に述べたように、S群では、上肢を連続して運動する場合、下肢運動と連動することが極めて多いと推察される。その運動を頻繁に行うことで、S群では、上・下肢の運動の反射的連結が一層強固になっていると推察することも可能のように思われる。

次に、一過性の運動の挿入時相について考察する。下肢の周期運動では、S群・B群ともに、掌屈運動の挿入が左右足の接地直前から直後に集中した(実験Ⅰ)。我々はこれまでに、光信号によって一過性の上肢運動を足踏み運動の各時相で挿入させる方法を用いて、足踏み運動に対する上肢運動の干渉度とその挿入時相との関係について検討してきた³⁶⁾。その研究では、上肢運動を左右足の接地直前から直後に挿入した場合には、足踏み運動の周期の変化が小さく、それ以外の時相では有意に短縮するという結果を得た。実験Ⅰで多くみられた掌屈運動の挿入時相は、上記の研究で下肢運動の周期の変化が小さい時相と一致する。一方、下肢に比べて自動化が進んでいないことが示された上肢の周期運動では、左右手掌の接地直前から直後のみならず、他の時相でも一過性の底屈運動が挿入された(実験Ⅱ)。その中で、左右手掌の接地直前から直後の時相以外で底屈運動が挿入された試行では、多くの場合に上肢ないし下肢の運動が履行できないという顕著な干渉がみられた。この結果は、上肢の周期運動でも一過性の下肢運動の挿入時相が干渉の大きさに影響することを示すものと考えられる。そして、実験Ⅰと実験Ⅱの結果からは、自動化した上・下肢の運動では、干渉の小さい時相で他肢の運動を組み合わせるという特性のあることが推察される。

この他に、上・下肢が連動しているような運動の自動化水準について、また一過性の運動の強度が周期運動への干渉の大きさにどの程度影響するかについては、今後の検討課題とする。

V. ま と め

特定の四肢の運動を長時間にわたり学習しているサッカー部選手とバスケットボール部選手(S群とB群)を対象に、上・下肢の運動間の干渉度

を把握し、運動の自動化水準におよぼす運動学習の影響について検討した。被験者には、足踏み運動および左右交互の足関節屈伸運動時に両側同時の掌屈運動を一過性に挿入する試行と、左右交互の肩関節および手関節の屈伸運動時に両側同時の底屈運動を一過性に挿入する試行を行わせた。上肢運動と下肢運動の自動化水準は、一過性の運動の挿入による周期運動の周期の変化の程度、および一過性の運動と周期運動の履行の可否によって評価した。

1. S群とB群において、下肢運動の自動化水準が上肢運動に比べて高いことが示された。ただし、その自動化水準は、足踏み運動では既に報告した一般大学生と同程度であり、足関節運動では一般大学生よりも高いものであった。

2. 両群とも、足踏み運動と足関節運動では、掌屈運動の挿入が干渉の小さい時相で行われた。しかし、肩関節運動と手関節運動時に底屈運動を挿入する試行では、そのような傾向は認められなかった。

3. S群は、B群に比べて、足関節運動の自動化水準の高いことが示された。一方、B群はS群に比べて肩関節運動と手関節運動の自動化水準の高いことが示され、その傾向は肩関節運動で顕著であった。

4. 以上のことから、直立二足性を基本とする日常の運動学習によって獲得されたヒト特有の上・下肢の機能分化に加えて、特定の四肢の運動学習によって、その部位の自動化水準が変化すると考えられた。

(受付 平成5年1月22日)

参 考 文 献

- 1) Bahrick, H. P. and Shelly, C. (1958) : Time sharing as an index of automatization. *J. Experi. Psychol.*, **56**(3), 288-293.
- 2) Ballesteros, M. L. F., Buchthal, F. and Rosenfalck, P. (1965) : The patterns of muscular activity during the arm swing of normal walking. *Acta Physiol., Scand.*, **63**, 296-310.
- 3) Burke, R. E., Rymer, W. Z. and Walsh, J. V. (1976) : Relative strength of synaptic input from short-latency pathways to motor units of defined type in cat medial gastrocnemius. *J. Neurophysiol.*, **39**, 447-458.
- 4) Cohen, L. (1970) : Interaction between limbs during bimanual voluntary activity. *Brain*, **93**, 259-272.
- 5) Coyle, E. F., Feiring, D. C., Rotkis, T. C., Cote III, R. W., Roby, F. B., Lee, W. and Wilmore, H. J. (1981) : Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exerc. Physiol.*, **51** (6), 1437-1442.
- 6) Delwaide, P. J., Figiel, C. and Richelle, C. (1977) : Effects of postural changes of upper limb on reflex transmission in the lower limb. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, **40**, 616-621.
- 7) Dum, R. P. and Kennedy, T. T. (1980) : Synaptic organization of defined motorunits types in cat tibialis anterior. *J. Neurophysiol.*, **43**(6), 1631-1644.
- 8) 藤原 知 (1974) : 人体解剖学序説. 初版, 医歯薬出版, 東京.
- 9) Gazzaniga, M. S. and Sperry, R. W. (1966) : Simultaneous double discrimination response following brain bisection. *Psychonom. Sci.*, **4**, 261-262.
- 10) Gernandt, B. E. and Shimamura, M. (1961) : Mechanisms of interlimb reflexes in cat. *J. Neurophysiol.*, **24**, 665-676.
- 11) Henry, F. M. and Smith, L. E. (1961) : Simultaneous vs. separate bilateral muscular contractions in relation to neural overflow theory and neuromotor specificity. *Res. Quart.*, **32**(1), 42-46.
- 12) 伊藤文雄 (1989) : 筋感覚からみた運動制御. 名古屋大学出版会, 名古屋, 36-38.
- 13) 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* (Taylor, J. Ed., 1932), Hodder and Stoughton, London, 422-443.
- 14) 神田健郎 (1988) : 運動の生理学 (新生理学大系第10巻, 佐々木和夫, 本郷利憲編集). 初版, 筋と神経の

- 相互作用, 医学書院, 東京, 388-404.
- 15) 狩野広之, 吉川英子(1953): 運動能の発達と同検査法の標準化(その1). 労働科学, **29**(11), 593-599.
 - 16) 狩野広之, 吉川英子(1953): 運動能の発達と同検査法の標準化(その2). 労働科学, **29**(11), 637-646.
 - 17) Kasai, T. and Komiyama, T.(1986): EMG-reaction time of the biceps brachii in bilateral simultaneous motions. *Percept. Motor Skills*, **63**, 455-460.
 - 18) 岸本 肇, 馬場桂一郎(1980): 幼児の運動機能の発達に関する一考察. 体育学研究, **25**(1), 47-58.
 - 19) Kuno, M. and Miyahara, J. T. (1969): Analysis of synaptic efficacy in spinal motoneurons from "quantum" aspects. *J. Physiol.*, **201**, 479-493.
 - 20) Lloyd, D. P. C. (1942): Mediation of descending long spinal reflex activity. *J. Neurophysiol.*, **6**, 435-458.
 - 21) Meyer-Lohmann, J., Hore, J. and Brooks, V. B. (1977): Cerebellar participation in generation of prompt arm movements. *J. Neurophysiol.*, **40**, 1038-1050.
 - 22) 大築立志(1978): スポーツとスキル(宮下充正編). サイバネティックスからみたスキル. 初版, 大修館, 東京, 67-165.
 - 23) Ohtsuki, T. (1981): Increase in simple reaction time of knee extension induced by simultaneous bilateral performance. *Percept. Motor Skills*, **53**, 27-30.
 - 24) Ohtsuki, T. (1983): Decrease in human voluntary isometric arm strength induced by simultaneous bilateral exertion. *Behav. Brain Res.*, **7**, 165-178.
 - 25) Paillard, J. (1960): The patterning of skilled movements. In., Field, J.(Ed.), *Handbook of physiology*, American Physiological Society, Washington, 1679-1708.
 - 26) Penfield, W. and Boldrey, E. (1937): Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, **60**, 389-443.
 - 27) Rube, N., Secher, N. H. and Lodberg, F. (1980): The effect of habituation and training on two and one leg extension strength. *Acta Physiol. Scand.*, **108**, 8 A.
 - 28) 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.
 - 29) Sherrington, C. S. and Laslett, E. E. (1903): Observations on some spinal reflexes and the interconnection of the spinal segments. *J. Physiol.*, **29**, 58-96.
 - 30) Shimamura, M. and Livingston, R. B. (1963): Longitudinal conduction systems serving spinal and brainstem coordination. *J. Neurophysiol.*, **26**, 258-272.
 - 31) Stefano, M. D., Morelli, M., Marzi, C. A. and Berlucchi, G. (1980): Hemispheric control of unilateral and bilateral movements of proximal and distal parts of arm as inferred from simple reaction time to lateralized light stimuli in man. *Exp. Brain Res.*, **38**, 197-204.
 - 32) 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**(1), 44-52.
 - 33) Toyama, H., Fujiwara, K., Asai, H. and Yamashina, T. (1990): Interference of upper limbs exercise to the periodic lower limbs exercise in children. In., Brandt, T., Paulus, W., Bles, W., Dieterich, M., Krafczyk, S. and Straube, A.(Eds.), *Disorders of Posture and Gait 1990*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 329-332.
 - 34) 外山 寛, 藤原勝夫(1990): 幼児における歩行様下肢運動の自動化水準に及ぼす散歩の影響. 金沢経済大学人間科学研究所報 telos, **7**, 43-50.
 - 35) 外山 寛, 藤原勝夫(1991): 上肢運動と下肢運動間の干渉. 金沢大学教養部論集(自然科学篇), **28**, 39-47.
 - 36) Toyama, H., Fujiwara, K., Asai, H. and Yamashina, T. (1992): Effect of insertion phases of unilateral shoulder flexion and extension on periodic lower limb exercise. In., Woollacott, M. and Horak, F. (Eds.), *Posture and gait: control mechanisms (vol. I)*, University of Oregon Books, Oregon, 242-245.
 - 37) Vandervoot, A. A., Sale, D. G. and Moroz, J. (1984): Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exerc. Phys.*

- iol., **56**(1), 46-51.
- 38) Van Soest, A. J., Roebroek, M. E., Bobbert, M. F., Huijing, P. A. and Van Ingen Schenau, G. J. (1985) : A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **17**(6), 635-639.
- 39) 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.
- 40) Woolsey, C. N. (1963) : Comparative studies on localization in precentral and supplementary motor areas. *Int. J. Neurol.*, **4**(1), 13-20.