四肢動作にみられる協応能の発達

渡 辺 俊 男* 川 原 ゆ り**

THE STUDY ON THE DEVELOPMENT OF THE COORDINATION WITH HAND AND FOOT

TOSHIO WATANABE AND YURI KAWAHARA

In order to investigate the development of cooperatively responding ability the subjects were made to carry out synchronous and alternate beating of colateral or contralateral hand and foot.

1. The synchronous beating of colateral hand and foot developed earlier than of contralateral hand and foot. In addition, hand-foot cooperative response developed to higher degree at the right side than at the left.

2. The hand-foot cooperative movement developed later in alternate beating with hand and foot than synchronous one. Development of alternate movement was earlier in the contralateral hand and foot than in the colateral and foot. Twenty percent of the adult subjects could not carry out alternate beating with colateral hand and foot.

3. A coefficient of variation in time intervals of beating was decreased with advanced age, but smaller in the synchronous movement than in the alternate one. The coefficient was the largest in the alternate movement of colateral hand and foot in little child. However, it was smaller in both synchronous and alternate movements in the subjects older than 13 years old.

The above findings indicate that the beat movement differs in difficulty depending upon different combinations of hands and feet. This may be determined by the relationship between spinal reflex of four limbs and inhibition of it by the higher system. A movement which needs stronger inhibition and selection of a greater number of reflexes needs a longer time to be mastered. Children can not perform the most difficult colateral alternate movement until the age of 14 or 15 years.

(J. Physical Fitness Japan 1976, 25 : 118~128)

I. 結 言

手や足の働きは、単独に行なわれるばかりでなく、相互の協応によって行なわれることが多い。四肢にあらわれる巧緻性は、この協応の仕方にも由来している。そこで、簡単な叩打動作を組み合わせた実験から、協応の機序を明らかにしようとした。

四肢を用いた叩打動作は、従来の報告をみても、急速反復叩打（タッピング、ステッピング）を対象としたものが多い。久保、河崎⁹⁾や梅沢¹⁷⁾らは、急速反復叩打動作の発育に伴う変化を測定しており、浅見¹⁾は急速反復叩打を手および足とを組み

合わせて行ない、協応の程度を発達段階的に検討している。

猪飼³⁾⁴⁾は、急速反復叩打と頸反射との関連や四肢の協同叩打から、四肢の反射的な連関の存在を認めている。また、猪飼、山川⁵⁾⁷⁾は、疲労の影響や筋電図による検索を加え、急速反復叩打と脳幹、小脳系の関係を求めている。

急速反復叩打を手動作の制御の対象として取り扱った研究は、森清、西岡¹⁰⁾¹¹⁾によって行なわれており、急速反復叩打を二点の目標点間で行ない、二点叩打点の運動方向による情報処理能力の差異や、誤反応の出現率について報告している。手動作の方向性、運動時間に関しては、Smith¹⁸⁾

* 横浜国立大学教育学部運動生理学教室 *Yokohama National University, Dept. of Education.*

** 日本女子大学体育学教室 *Japan Women's University*

14)15)16)らの一連の研究が報告されている。

これらの研究で取り扱われた叩打は、最高速度の叩打で行なう急速反復動作としており、叩打速度を随意に調節して、動作の制御に着目した研究は少ない。

四肢の運動は、C.S. Sherrington¹²⁾ が去脳動物で示したように、四肢の反射的な連関が内在しており、たとえ随意的な運動でも、反射的要因の、認められることは、福田²⁾ や猪飼³⁾ によっても検証されている。

そこで、本研究では、上肢および下肢による叩打動作を、随意的な速さと叩打力で発揮せしめ、随意動作にみられる上、下肢の協応とこれに内在する反射の連関と両者の秩序関係を検討しようとした。

II. 実験方法および手順

四肢の協応を検討するために、後に述べるような左右の手および足による叩打動作を組み合わせさせて実験を行なった。

叩打動作は、第1図に示すように、被検者を椅座位にし、上腕を体側にそわせて肘関節を 90° に屈曲せしめ、手掌面で叩打を行なわせた。下肢は膝関節を 90° に屈曲させ、足蹠面で叩打を行なわせた。

Fig. 1 Schematic illustration of experimental apparatus

手および足による叩打の強さ、叩打時間間隔の導出のために、叩打面の裏にペーパーストレインゲージを貼付し、その際の歪量を記録した。

手による叩打板は、30cm×26cm、厚さ4mmの板を用い、中央に叩打しやすい直径4cmの凸部を設置した。足による叩打板は、10cm×20cm、厚さ15mmの板を用いた。歪量の測定は、三栄

測器製の歪増幅器(1206B)およびレクタグラフを用いて行なった。

叩打動作は、手および足ともに20回行なわせた。叩打の強さ、叩打間隔は、被検者の叩打しやすいものとしたが、20回の叩打中その強さ間隔を一定に行なうよう指示した。また各種の手足の組み合わせ動作を行なう場合にも、動作によって叩打の方法を変えないように指示し、配慮した。しかし、毎回の叩打の強さ、時間間隔については、被検者にフィードバックされない。

叩打の方法は、手および足の協応を検討するために、次のような動作プログラムを組み実験を行なった。各動作のプログラムの間には、適宜休息を挿入し、ひきつづき行なう動作への影響を排除するようにした。

- (I) ……上肢または下肢の一侧肢による叩打動作、すなわち右手叩打動作、左手叩打動作、右足叩打動作、左足叩打動作である。以後この動作を単独動作という。
- (II A) …同側の 上肢と 下肢による 同時叩打動作、すなわち、右手と右足による同時叩打動作、あるいは左手と左足による同時叩打動作をいう。以後この動作を同側同時動作という。
- (II B) …異側の 上肢と 下肢による 同時叩打動作、すなわち、右手と左足の同時叩打動作、あるいは左手と右足の同時叩打動作をいう。以後この動作を異側同時動作という。
- (III A) …同側の 上肢と 下肢との 交互叩打動作、すなわち、右手と右足を交互に叩打する動作、あるいは左手と左足を交互に叩打する動作をいう。以後この動作を同側交互動作という。
- (III B) …異側の 上肢と 下肢との 交互叩打動作、すなわち、右手と左足を交互に叩打する動作、あるいは左手と右足を交互に叩打する動作をいう。以後この動作を異側交互動作という。

以上の動作プログラムを行なわせて、上、下肢の協応の程度を測定した。

動作時の動作様式を検討するために、成人の被検者を対象として、手および足の主働筋およびその拮抗筋から筋電図を導出した。上肢では、M.

Tab. 1 Percentage of co-operation with hand and foot

Age	Synchronous beating				Altenate beating			
	RH-RF	LH-LF	RH-LF	LH-RF	RH-RF	LH-LF	RH-LF	LH-RF
2	22.2	11.1	11.1	22.2	0	0	11.1	11.1
4	42.9	42.9	42.9	42.9	0	14.3	42.9	14.3
5	83.3	58.3	75.0	66.7	25.0	16.7	83.3	50.0
7	100.0	100.0	90.0	100.0	20.0	20.0	90.0	80.0
9	90.0	90.0	80.0	80.0	20.0	20.0	90.0	70.0
11	100.0	90.0	90.0	100.0	50.0	30.0	90.0	100.0
13	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	70.0	100.0	100.0
15	100.0	100.0	100.0	90.0	60.0	60.0	90.0	80.0
A	100.0	100.0	100.0	100.0	80.0	80.0	90.0	100.0
RH : Right Hand		RF : Right Foot		LH : Left Hand		LF : Left Foot		A : Adult (%)

biceps brachii と M. triceps brachii から、下肢では、M. tibialis anterior と、M. gastrocnemius から表面電極を介して測定した。

被検者は、3, 4, 5才児（保育園児）、7, 9, 11才（小学校 1, 3, 5年生）、13, 15才（中学校 1, 3年生）および成人（20～22才）の年齢層を対象とし、各年齢とも男女各5名（3, 4, 5才児は若干人数が異なる）の計88名を用いた。

III. 実験結果

(1) 上・下肢の協応度

叩打動作における上下肢の協応をみるために、動作が指示された動作プログラムの様式すなわち同時あるいは交互叩打に合致して遂行されているかを叩打時の記録から検討した。

手および足による20回の叩打を、同時に、ある

いは交互に協応させて行なわせたとき、全被検者のうち、この動作のできた者の割合を示したものが、第1表および第2図であり、その結果をまとめると下表のようである。

以上のように、手および足の協応の度合を発達年齢的にみると、同側肢で手、足同時に叩打する動作が最も早く発達し、7才でほぼ協応が完成する。しかし、異側肢で同時に叩打しうるのは11才であって、やや発達がおそくなる。手、足を交互に動作させる場合は、異側肢の場合には、11才で協応しうるが、同側肢では発達がおそく、成人でも協応しえない場合もみとめられた。

(2) 叩打間隔時間

手および足を協応させて同時あるいは交互に叩打する動作を、20回等間隔として連続叩打せしめた結果、その叩打間隔は被検者が等間隔で叩打し

	同 側 動 作	異 側 動 作
	同側の手及び足による動作	異側の手及び足による動作
同時動作	(1) 7才ではほぼ完全にできる (2) この動作は右側の方の発達が早く、3～5才ではほぼできるようになる	(1) 11才頃になるとほぼ完全にできる
交互動作	(1) 3才まではできない (2) 5才児でできる者の多い順序は〔右手・右足〕＞〔右手・左足〕＞〔左手・右足〕＞〔左手・左足〕である (3) 7才でこれのできるものは20%である (4) 成人でもできないものがある (5) 左・右の差はみられない	(1) 異側肢による交互動作は、同側肢による場合よりも発達が早い (2) 11才ではほぼ完全にできるようになる (3) 右手と左足の組み合わせの方が左手と右足の組み合わせよりも協応がよい
	同側よりも異側の方がよく発達している。

Fig. 2 Percentage of co-operation with hand and foot

ているつもりでも、必ずしも一定の間隔で叩打されていない。そこで、間隔時間とばらつき度を検討した。第2表および第3図にそれぞれの年令における、各動作時の時間間隔とそのばらつきを変動係数で示した。

手および足のいずれか一方だけで叩打する単独動作では、3才児の場合、やや時間が短縮され、早いテンポで叩打されている。また足に比して手の動作がやや早いテンポで叩打されている。また、9才児では手足ともにテンポがおそくなっている。しかし、任意に叩打の速さをとらせたものであっても、いずれの年令も概して動作間隔時間は0.5~0.6秒、すなわち1秒間に2回前後のテンポで叩打が行なわれることが多い。

手および足で同時に叩打する場合、3才児では手と足を同期させて叩打することはできない。また同側肢、異側肢による叩打動作の場合とも、叩打間隔時間は手と足では異っている。しかし、7才以上になると、同時叩打ができるようになり、手と足の叩打間隔時間はほぼ同じになって、手と足の動作の同期がみとめられた。

手と足の交互叩打動作では、同側肢、異側肢ともに、3, 4才児では叩打間隔時間が短かく、5才児が最も長い。次いで年令とともに叩打間隔時間が短縮されてくる。

交互叩打動作では、同時叩打動作に比して動作が困難であるため、3才児、4才児では交互叩打のパターンがくずれ、同時に叩打してしまう場合が多く、そのために叩打間隔が5才児よりも短くなっている。

5才児になると、手および足の叩打間隔を延長することによって、交互叩打のための調節を行な

Fig. 3 The mean values of interval time in several beatings

Tab. 2 The mean values of interval time and coefficient variations in several beatings

		AGE	Beating by hand or foot		Synchronous beating				Altenate beating			
					colateral		contra- lateral		colateral		cntralateral	
			$\bar{x}$	C	$\bar{x}$	C	$\bar{x}$	C	$\bar{x}$	C	$\bar{x}$	C
HAND	RIGHT	3	0.40	13.0	0.40	12.5	0.48	14.9	0.77	25.1	0.65	20.7
		4	0.50	7.0	0.51	11.2	0.51	13.4	0.85	20.6	0.86	19.9
		5	0.53	5.6	0.50	6.7	0.51	8.3	1.32	25.6	1.18	12.4
		7	0.54	7.1	0.52	6.5	0.52	6.3	1.03	19.5	1.00	9.7
		9	0.73	4.7	0.66	6.8	0.63	5.8	0.96	15.4	0.89	7.4
		11	0.54	4.3	0.51	5.4	0.52	5.7	0.90	11.4	0.84	6.1
		13	0.57	4.1	0.51	4.7	0.57	4.5	0.85	4.8	0.82	3.7
		15	0.54	3.7	0.47	4.5	0.48	4.5	0.83	6.4	0.74	3.8
		A	0.55	3.4	0.51	3.8	0.50	4.7	0.78	6.3	0.74	4.4
	LEFT	3	0.38	11.6	0.44	18.1	0.45	13.3	0.55	26.6	0.65	19.7
		4	0.46	9.6	0.54	13.9	0.54	11.9	0.81	21.9	0.88	20.8
		5	0.50	8.1	0.51	8.3	0.49	8.5	1.21	25.5	1.18	15.2
		7	0.50	6.3	0.54	7.7	0.52	7.4	1.00	21.3	0.96	10.7
		9	0.70	5.0	0.65	6.8	0.61	5.1	0.97	14.4	0.89	6.3
		11	0.53	5.2	0.49	6.9	0.51	6.4	0.86	17.2	0.81	5.9
		13	0.56	3.8	0.60	4.9	0.58	4.8	0.83	7.1	0.81	4.7
		15	0.53	4.1	0.51	5.0	0.47	4.6	0.76	6.1	0.73	5.9
		A	0.54	3.0	0.50	4.5	0.48	4.3	0.77	5.7	0.74	3.6
FOOT	RIGHT	3	0.45	11.3	0.46	13.7	0.49	12.2	0.69	21.7	0.66	20.9
		4	0.46	9.6	0.51	11.5	0.53	13.1	0.83	17.0	0.76	23.9
		5	0.50	8.1	0.50	7.3	0.49	7.6	1.22	27.9	1.06	17.0
		7	0.52	7.5	0.51	5.8	0.52	7.3	1.04	19.4	0.97	9.1
		9	0.70	6.6	0.66	6.8	0.61	6.7	0.96	14.2	0.89	5.2
		11	0.52	5.7	0.51	5.1	0.51	5.6	0.87	12.6	0.82	5.2
		14	0.55	4.5	0.51	5.2	0.58	4.9	0.85	4.8	0.81	5.1
		15	0.49	5.1	0.47	5.3	0.47	5.1	0.82	5.2	0.73	6.4
		A	0.54	3.7	0.51	4.4	0.48	4.5	0.80	5.1	0.74	4.0
	LEFT	3	0.48	11.5	0.53	18.1	0.54	12.2	0.64	22.9	0.74	17.7
		4	0.48	10.6	0.56	10.5	0.54	11.5	0.79	21.6	0.80	18.5
		5	0.49	8.4	0.51	8.0	0.51	7.5	1.16	28.0	1.18	10.2
		7	0.52	8.5	0.54	8.6	0.53	7.5	1.01	21.2	0.99	8.8
		9	0.66	6.6	0.65	6.4	0.63	7.0	0.97	13.5	0.88	7.5
		11	0.50	6.3	0.48	7.0	0.52	6.4	0.89	11.7	0.84	5.3
		13	0.53	4.7	0.59	4.8	0.57	5.0	0.84	7.9	0.82	4.6
		15	0.47	4.9	0.51	5.6	0.48	5.2	0.74	6.8	0.73	4.3
		A	0.53	3.9	0.50	4.6	0.50	4.3	0.78	5.5	0.76	3.9

(sec.) (%)

A-ADULT C-COEFFICIENT VARIATION

Fig. 4 The coefficient variation of interval time in several beatings

い、年齢が進むにつれて、間隔がしだいに短縮されてくる。5才児の叩打間隔の延長は、協応のより困難であった交互叩打時の方が著しいことからみても、叩打間隔の延長は動作の困難度を示すものといえよう。

第2表および第4図は、いずれも叩打間隔時間の変動係数によって、叩打のばらつき度をみたものである。

単独動作では、年齢が進むにつれて、手および足ともに変動率は少なくなる。また、手は足に比して間隔時間のばらつきが少なく、リズムのとりやすいことがみとめられる。

3才児、4才児の同時叩打動作では、同側肢で行なった場合の変動率は、単独動作の場合よりも大きい。

5才児以上の被検者では、単独動作の場合と同様な傾向を示し、年齢とともに、変動率が減少してくる。

異側肢による場合も、同側肢の場合と同様3、4才児の変動が大きく、5才児以上で年齢にともなう変動の減少がみられる。

11才では同側交互叩打動作の間隔の変動率が、同側同時叩打動作の場合よりも高いが、異側肢による場合、交互動作の変動が同時動作の変動率より高い値を示すのは、7才までである。

また、同側肢による場合は、異側肢に比して、いずれの年齢でも変動率が高くなっており、最も変動率の高い年齢も同側肢による場合が5才であ

Fig. 5 The coefficient variation of interval time in several beatings

Tab. 3 The change of beat force in several beatings

	Beating by hand or foot	Synchronous beating		Altenate beating	
		colateral	contralateral	colateral	contralateral
Right hand	2.0	1.6	1.7	2.1	1.9
Left hand	2.1	1.8	1.9	2.2	2.1
Right foot	5.1	5.3	5.9	6.9	8.2
Left foot	4.9	4.9	5.6	7.2	8.1

(kg)

Tab. 4 The ratio of force of altenate and synchronous beating to force of one hand or foot beating

	Synchronous beating		Altenate beating	
	colateral	contralateral	colateral	contralateral
Right hand	-20.0	-15.0	+ 5.0	- 5.0
Left hand	-14.3	- 9.5	+ 4.8	0.0
Right foot	+ 3.9	+15.7	+35.6	+60.8
Left foot	0.0	+14.3	+46.9	+65.3

(%)

るのに対して、異側肢では4才となっており、発達の程度に差異がみとめられる。

単独動作、同時動作、交互動作にみる叩打間隔時間の変動率が、それぞれの年齢層によって、どのような差異がみられるかを検討するために図示したものが第5図である。

3才児、4才児では、いずれの叩打動作においても、叩打間隔のばらつきが大きく、とくに交互叩打動作ではその傾向が著しい。また、3才児では同側肢を用いる叩打の場合、同時叩打、交互叩打動作ともに、左側に変動の大きい傾向がみられる。

5才、7才児では、単独叩打動作、同時叩打動作の変動が減少するが、同側肢による交互叩打間隔の変動率は減少しない。しかし、交互叩打でも、異側肢による場合には、その変動率に減少がみられた。同側肢による交互叩打の変動率は、11才頃まで他の動作に比して大きな値を示すが、13才以上は、各動作間における変動率の差異がみとめられなくなる。

(4) 叩打力の変化

叩打力は、叩打時の板の歪量から換算して算出するため、一定の場所を叩打しえない幼児、児童の場合には、叩打部位による歪量の変動を生じるものである。したがって、叩打力の検討は、動作

様式が安定した成人の被検者を対象として行なった。

単独叩打動作、同時叩打動作、交互叩打動作における手および足によって発揮された叩打力は、第3表に示す通りである。

手による叩打力は、単独叩打動作、交互叩打動作ではほぼ同じ強度であるが、同時叩打動作ではやや叩打力の減少がみとめられた。

足による叩打では、単独動作に比して、異側肢による同時叩打動作および同側肢、異側肢による交互叩打動作において、叩打力の増加がみとめられた。

単独動作時の叩打力に対する各叩打動作時の叩打力の割合を示したものが第4表である。単独動作に比して、同時叩打および交互叩打ともに足による叩打力が手による叩打力よりも増加している。また、手足ともに、交互叩打の方が、同時叩打よりも叩打力の強いことが示されている。

(5) 叩打時の筋電図

単独動作、同時叩打動作、交互叩打動作ともに叩打間隔時間や、そのばらつきに差異の認められない成人を対象として、叩打時の筋電図を導出した。手および足の叩打動作に關与する筋およびその拮抗筋の筋電図は、第6図右手および第7図右足に示す通りである。

Fig. 6 EMG in beating action by hand

Fig. 7 EMG in beating action by foot

手による叩打動作では、主働筋の *M. biceps brachii* における筋放電が、単独、同時、交互叩打動作によってやや異なった様相を示している。すなわち、同時動作に比して、交互動作に筋放電の増加が認められる。この傾向は足による叩打時に著明であり、*M. tibialis anterior*, *M. gastrocnemius* とともに、同時動作よりも、交互動作の方が筋放電が増加しており、また異側肢による動作の場合よりも、同側肢による場合の方が、同時動作、交互動作ともに筋放電の増加がみとめられた。

IV. 考 察

四肢は軀幹に比して位置移動の多様性、随意運動の微動性、巧緻性を有し、その機能の分化が著しい。日常の使用頻度や行動様式によって、左右の相違も顕著であり、四肢に求められる機能は、それぞれの分化に加えて時空間にわたる協応能である。四肢の運動は、大脳皮質を介した随意運動に加えて、脊髄レベルあるいは脳幹、小脳系における反射的な調節が内在し、これによって四肢の機能は相互に関連しあっている。

したがって本実験においても、上肢・下肢の協応の組みたてを随意運動として取り扱いながらも、この随意運動に内在する髄節性のあるいは節間性の脊髄反射の関与を見すぐすることはできない。このような動作の発揮に際してみられる四肢の機能は、久保、川崎⁹⁾らが指摘するように、発育に伴う脳幹、小脳系の発達と関わるものであるから、四肢の機能の検索には、発育段階的な検討が必要であり、また有効であろう。

この実験で上肢、下肢に課した動作は、同側肢を用いるか異側肢を用いるか、あるいは同期か非同期かといった空間的、時間的な組み合わせをのぞけば、いずれの動作プログラムにおいても、随意的な速度による単純な叩打動作である。このような動作においては、年齢が進むにつれて叩打間隔のばらつきが減少し、短い叩打間隔で手足を協応しうることが認められた。

四肢動作の協応とその発達は、上肢、下肢の機能の分化と、意図した動作のステレオタイプ化の進行過程を検討することによってとらえることができる。

上肢と下肢を同期させて叩打させる同時動作で

は、異側肢を用いて動作した場合は11才頃より同期がほぼ完成し、動作間隔のばらつきが減少して動作のステレオタイプ化が進むが、同側肢では発達は7才と早くなっている。

叩打動作が手足で協応しえない3才児では、同側肢の場合、右側優位に発達し、異側肢の場合には、右手との組み合わせが、左手との組み合わせよりも協応の発達がよいことがみられる。動作の発達は、右側とくに右側の上肢からはじまってくるものと考えられる。

同時叩打動作では、動作の開始にあたって、同期して腕、脚をまず屈曲し、ついで伸展することによって叩打を行うもので、動作の発動は屈筋の収縮を主とした屈曲動作である。同側肢で行なう場合は、上、下肢にみられる屈曲反射の拡張によって屈曲する随意動作の発揮が容易になるのに対して、異側肢で行なう場合では、屈曲反射時にみられる交叉性伸展反射が異側肢の屈曲を抑制するため、同側肢によるよりも、動作が困難になるものと思われる。しかし、11才以後では、同側肢、異側肢による叩打動作の間に差異がみられなくなる。すなわち、年齢が進むにつれて、歩行動作によって疎通された両肢にまたがる二重の相反抑制によって、あるいは潜在する前後肢反射の関与によって回路が疎通され、交叉性の異側肢動作も、同側肢と同様な動作が可能になったものと思われる。

手足の協応および叩打間隔時間の変動率からみた場合、交互動作は同時動作に比して発達がおそく、同側肢の交互叩打では成人でも手足の協応の乱れがみとめられ、この動作が困難であることが示された。交互動作では、叩打のくり返しが手と足と交互になされるため、手または足の動作は1回毎に足または手が抑制され、反復動作としてステレオタイプ化がしにくいことになる。

また、異側肢に比して同側肢の交互叩打の遂行が困難であるのは、同時動作で指摘したように、屈曲反射の拡張が生じた場合、上肢または下肢の一方だけが屈曲反射にしたがい他方がこれにさからって興奮を抑制することがむずかしいため、動作の乱れが生じてくるものと思われる。異側肢の交互動作では、一側の屈曲が、異側の交叉性伸展反射を惹起し、その結果、異側の屈曲動作を抑制

しうることになり、動作の遂行が同側肢よりも容易になるからであると考えられる。

このように四肢にみられる反射が、随意動作の発揮に関与し、この関与は随意動作の未発達な幼児期に大きい。

さらに随意動作に内在する四肢にわたるいくつかの反射の関与は、必ずしも同程度のものではなく、反射の優位性、あるいは階層性の存在が示唆される。すなわち、幼児期においては、随意動作の発限に際して屈曲反射が相反抑制や前肢、後肢反射の関与を凌駕しており、年令が進むにつれて、随節性の、あるいは節間性の抑制が発達し、随意動作の発揮を容易にせしめているものである。しかし、これらの反射の内在は、随意動作に何らかの影響を与えるものであり、成人を対象とした筋電図から、その影響の程度をみることができる。すなわち、同時動作よりも交互動作の方が、また交互動作では異側肢よりも同側肢による方が筋放電量が多く、動作の発現が困難と推定された動作ほど、筋の緊張度が高いことがみとめられる。

发育過程にみられた動作の発揮の難易の程度と、成人にみられる筋放電の様相とも関連があるといえよう。さらに、上肢より下肢に動作の難易と筋放電量の関連が著明であったことは、下肢では上肢に比して機能の分化がおくれ、動作実施の難易が下肢の筋の働きに影響しているためと考えられる。

V. 総 括

同側あるいは異側の上肢と下肢を組み合わせた同時または交互叩打動作から、手および足の協応を発達段階的に検討し、次のような知見をえた。

1. 手および足を同時に叩打する場合、手と足が協応しうるのは、同側肢による叩打は7才で、異側肢による叩打は11才であり、同側肢の動作の方が発達が早い。また、3、4才児では同側肢の場合、右側が優位に発達している。

交互に叩打する場合、異側肢による叩打は11才頃より手足が交互叩打になるが、同側肢の場合は、成人でも被検者の20%は交互叩打しえない。

また、異側肢の場合、右手と組み合わせた動作の方が、発達がやや早い傾向が見られた。

2. 手および足のいずれかで単独に動作する場合、その叩打間隔は、任意に速度をとらせたにも拘らず、年令による差異は少なく、0.5~0.6秒の間隔で叩打される場合が多かった。3才児では、手よりも足による叩打時間がややおそい傾向が示された。

手および足を同時に叩打する場合、3~5才児では、手、足の叩打間隔が必ずしも一致しないが、7才以後は、手、足の動作間隔に一致がみとめられる。

交互叩打では、3、4才児では動作が同時になり交互叩打しえない。5才児から叩打間隔を延長して交互に叩打しうようになり、年令とともに間隔を短縮する。

3. 叩打間隔時間の変動率は、年令が進むにつれて減少するが、同時動作の方が交互動作よりも変動率が少ない。また、同時動作では同側肢、異側肢ともに、5才児以後は変動率が減少する。

交互動作では、同側肢による場合では5才児が、異側肢による場合では4才児が最も変動率が高く、ついで減少していく。いずれの動作においても13才以上は、動作プログラムによる変動率の差異は消失する。

4. 叩打力は、同時動作では手による叩打力が減少し、交互動作では足による叩打力が増加している。

5. 叩打時の筋電図は、同時動作に比して交互動作に筋放電の増加がみとめられ、また異側肢よりも同側肢の方へ筋放電が多い。この傾向は、上肢よりも下肢の筋に著明であった。

6. 以上の如く、手足の叩打動作は、上下肢の組み合わせによって動作の難易が異なり、この動作発現にみる難易に関しては、四肢にわたる反射の介在が、推察された。

(受付 昭和51年4月27日)

参 考 文 献

- 1) 浅見高明, 今中国泰(1974): 敏捷性からみた調整力の発達について, 日本体育学会第25回大会号
- 2) 福田 精(1974): 運動と平衡の反射生理, pp. 277, 木村書店
- 3) 猪飼道夫(1944): 頸反射の研究, 日本生理学雑誌 9, p. 654-663.
- 4) M. Ikai(1950): Tonic Neck Reflex in Nomal

- Person, Jap. J. Physiol. **1**, p. 118-124.
- 5) 猪飼道夫, 山川純子(1951): 急速反復動作における疲労の現われ方, 体育学研究 **1**(2), p. 168-173.
 - 6) 猪飼道夫(1951): 動作の巧みさの研究, 体育の科学 **1**(3), p. 152-159.
 - 7) 猪飼道夫, 山川純子(1953): 反復的動作における動作の乱れの筋電図的研究, 体育学研究 **1**(5), p. 340-344.
 - 8) 猪飼道夫(1955): 健康人における体肢の交叉性反射, 日本生理学雑誌 **17**(4), p. 253-262.
 - 9) 河崎英武(1944): 成長時における急速反復能力に関する調査研究, 民族衛生 **12**, p. 290-302.
 - 10) 森清善行, 西岡 昭(1963): 単純な手の運動の制御機構の分析(1), 労働科学 **39**, p. 140-146.
 - 11) 森清善行, 西岡 昭(1966): 単純な手の運動の制御機構の分析(2), 労働科学 **42**, p. 238-243.
 - 12) Sherrington, C.S. (1906): Integrative Action of Nervous System. Yale Univ. Press, New Haven. pp. 433.
 - 13) Davis, R., Wehrkamp, R. and Smith, K.U. (1951): Dimensional analysis of motion, 1. Effects of laterality and movement direction. J. appl. Psychol. **35**, p. 363-366.
 - 14) Wehrkamp, R. and Smith, K.U. (1952): Dimensional analysis of motion, 2. Travel-distance effects, J. appl. Psychol. **36**, p. 201-206.
 - 15) Rubin, G. von Trebra, P. and Smith, K.U., (1952): Dimensional analysis of motion. 3. Complexity of movement pattern. J. appl. Psychol. **36**, p. 272-276.
 - 16) Von Trebra, P. and Smith, K.U. (1952): The dimensional analysis of motion, 4. Transfer effects and direction of movement. J. appl. Psychol. **36**, p. 348-353.
 - 17) 梅沢菊枝(1944): 急速反復能力の幼児期における発達, 民族衛生, **12**, p. 303-307.