

脳性まひ者の肘屈曲・前腕回外運動の PMT

川 間 健之介*・中 司 利 一

肘屈曲運動、前腕回外運動における上腕二頭筋の PMT が、健常者33名、脳性まひ者46名について調べられた。その結果、健常者群に比べ脳性まひ者群の PMT は遅延すること、また、健常者群では回外の方が屈曲よりも PMT が短いのにに対し、脳性まひ者群では逆に屈曲の方が短いことが示された。そして、これらの結果は、脳性まひ者の運動プログラムに何らかの問題が存在することを示唆するものと解釈された。

キーワード：脳性まひ者 肘屈曲運動 前腕回外運動 PMT 運動プログラム

I. はじめに

随意運動は、その運動が発現する以前のプロセスと運動が発現した以降のプロセスに分けて考えることができる。脳性まひ（以下 CP）者の随意運動の障害については、これまで主に運動の発現以降のプロセスを取り扱ったものが多い。これらの研究は、筋電図（EMG）フィードバックを用いたもので、これにより CP 者の運動障害は一応改善されることを示している（Harrison, 1975; Harrison et al., 1971; 中井, 1980; 田島, 1980）。

これに対し、運動発現以前のプロセスに着目して CP 者の運動障害を解明しようとした試みはない。運動発現以前のプロセスの重要性は、行うべき運動は予め準備されていないと発現しないという考えに基づく。Keeple (1968) によれば「運動の開始に先行して構成される筋への司令セット」があると仮定され、これは運動プログラムと呼ばれる。CP 者の運動障害の原因の1つとして、この運動プログラムが適切に構成されていないためと考えるのは容易なことである。

中村 (1979) によれば、この運動プログラムの検討には、肘屈曲運動（屈曲）と前腕回外運動（回外）の反応時間を測定することが有効である。Nakamura et al. (1974) は上腕二頭筋から筋活動電位を導出し、刺激呈示から反応動作に先行する筋活動の開始までの時間（premotor time: PMT）

を測定し、健常者では回外の PMT の方が屈曲よりも短いということを報告している。これは同一の筋から測定したものであっても、屈曲、回外という運動パターンによって、PMT が異なることから、用いる運動パターンによって異なるプログラムが用いられているということを示すものと解釈されている。その後、多くの研究がこれと同じく、回外の PMT の方が屈曲よりも短いということを報告している（笠井, 1982, 1983; 笠井ら, 1981; Kasai et al., 1982; Wakabayashi et al., 1981）。

一方、中枢性運動障害者についてもいくらかの報告がある。Nakamura et al. (1978) は、脳卒中後遺症の片まひ患者の屈曲と回外の PMT を調べ、回外の PMT の方が屈曲よりも短いという関係はないことを示している。また、パーキンソン病患者についても、片まひ患者と同様の結果が得られている（Nakamura et al., 1980）。これらのことは、中枢性運動障害者の運動プログラムに何らかの問題があることを示している。

CP 者については、川間ら (1985) が検討している。CP 者の PMT は健常者よりも遅延し、さらに、健常者とは逆に屈曲の PMT の方が回外よりも短いことが示されている。これは、CP 者の運動プログラムに何らかの問題が存在することを示唆するものである。しかし、この報告では、病型による違いや PMT が健常者と比べてそれほど遅延していない CP 者でも屈曲の PMT の方が回外よりも短いのか等の点が検討されていない。そ

* 心身障害学研究科

ここで、今回は被験者を増して、これらの点を検討していくものである。

II. 方法

1) 被験者：健常者群 (N 群) は大学生33名, CP 群は肢体不自由養護学校高等部及びリハビリテーションセンター在籍の CP 者46名である。その詳細は Table. 1 に示す。被験者は①左右いずれかの上肢で肘屈曲運動と前腕回外運動が可能であること, ②口頭による教示のみで課題を理解し, 実行可能であること, の2条件を満たす者とした。

2) 装置及び PMT の測定方法：光刺激にはキセノンランプ (反応測定器 II 型：竹井機器製) を用いた。PMT の測定は次のようにして行った。まず, 被験者の利き手の上腕二頭筋の筋腹から時定数0.03sec. で筋活動電位を導出し, 生体電気アンプ (N 群13名, CP 群31名は EEG-5109 : 日本光電製を使用, N 群20名, CP 群15名は「AB-621G : 日本光電製を使用) によって増幅し, 光刺激と共にデータレコーダー (RMG-5304 : SONY 製) に磁気記録する。そして, 実験後これをペンレコーダー (W-809 : 三栄測器製) に再生し, 光刺激呈示から筋活動の開始までの時間, すなわち PMT を 1 msec. 単位で測定した (Fig. 1, 2)。

3) 課題：被験者は実験者の「用意」という口

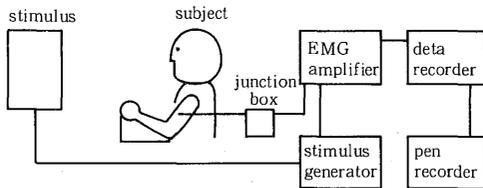


Fig. 1. Experimental paradigm

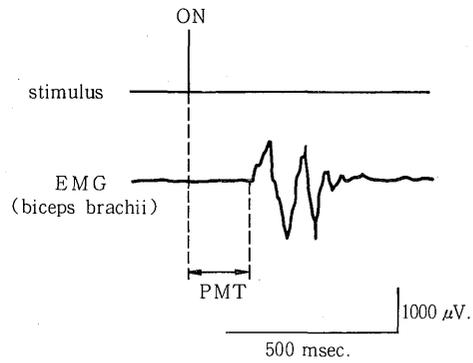


Fig. 2. Elbow flexion (male, 19 years)

頭予告の2~5秒後に眼前90cmに呈示される光刺激に対して, できるだけ速く予め指示されている運動パターン (屈曲か回外) を行う。試行数は5試行を1ブロックとし, 屈曲, 回外共に4ブロック20試行ずつ行った。また, 運動パターンは1ブロックごとに変えた。

4) 手続き：被験者はテーブルの前の椅子に座り, 体幹を垂直にし, 前方の光刺激呈示部を見るように教示された。そして, 利き手をテーブル上のアームレストの上に置き, 肘関節30~90度屈曲位, 前腕やや回内位に保つよう促された。練習試行は, 両運動パターン共に5~10回程度行い, 被験者が課題を十分に理解した後測定に入った。ここで, 課題の理解が十分にできなかった者及び, 屈曲, 回外運動が極めて困難であった者は実験の対象から除外した。被験者の半数は屈曲から始め, 残り半数は回外から始めた。試行間隔は10~30秒でランダムとしたが, 筋活動の消失を確認してから次の試行に入った。

Table 1. Subjects.

	CA	Sex	Preferred hand	Type	IQ
Normal N=33	mean	male	right		
	19 y 0 m	17	32		
	SD	female	left		
	9.4 m	16	1		
CP N=46	mean	male	right	spastic	mean
	18 y 3 m	20	26	22	80.0
	SD	female	left	Athetosis	SD
	43.4 m	26	20	24	13.4

Ⅲ. 結 果

測定された各運動パターンそれぞれ20試行のPMTのうち、最も短いもの2試行、最も長いもの2試行は分析から除外した。そして、残りの16試行のPMTをそれぞれ対数変換し、その算術平均を個人の代表値として後の統計処理に用いた。

Table 2にN群とCP群の平均PMTを示す。また、これを図に表したものがFig. 3である。N群では、回外のPMTの方が屈曲よりも有意に短い ($t=2.81$, $df=32$, $P<0.01$) ことがわかる。これに対し、CP群では逆に屈曲のPMTの方が有意に短い ($T=4.71$, $df=45$, $P<0.001$)。この両群の結果の違いは、CP者の運動プログラムが健常者と異なることを示しているものと考えられる。

次にCP群を痙直型CP者群 (Sp群) とアテトーゼ型CP者群 (Ath群) に分けて分析した。

Table 2. Mean PMTs of Normal and CP groups. (log-msec.)

	Normal	CP
flexion	2.049 (0.10)	2.143 (0.13)
Supination	2.029 (0.09)	2.186 (0.13)

() SD.

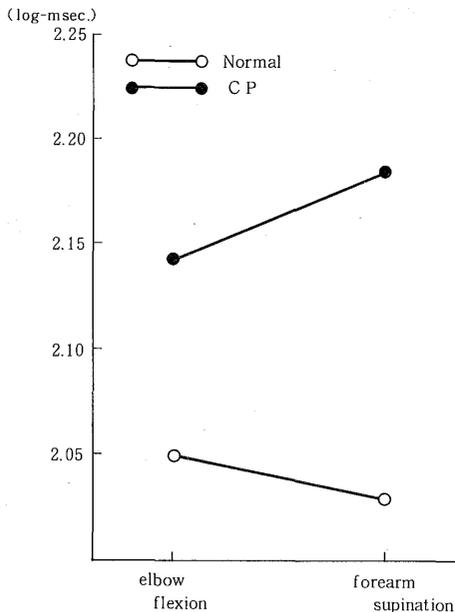


Fig. 3. Mean PMTs of Normal and CP groups

Table 3にSp群とAth群の平均PMTを示す。また、これを図に表したものがFig. 4である。まず、Sp群では、屈曲のPMTの方が回外よりも有意に短い ($t=3.03$, $df=21$, $P<0.01$)。一方、Ath群でも同様に屈曲のPMTの方が有意に短い ($t=3.56$, $df=23$, $p<0.01$)。しかも、その程度はFig. 4からもわかるようにSp群もAth群も同程度である。このことは、Sp群とAth群が同じ特徴を有していることを示している。

次に各群のPMTの遅速を比較した。まず、N群とCP群では、屈曲も回外もN群の方が有意に短い (それぞれ、 $t=3.40$, $df=77$, $p<0.001$; $t=6.31$, $df=76.49$, $p<0.001$)。N群とSp群においても、屈曲、回外ともN群の方が有意に短い (それぞれ、 $t=2.36$, $df=53$; $p<0.03$; $t=5.05$, $df=53$, $p<0.001$)。また、N群とAth群においても、屈曲、回外ともにN群の方が有意に短い (そ

Table 3. Mean PMTs of Sp. and Ath. groups. (log-msec.)

	Sp.	Ath.
flexion	2.118 (0.11)	2.165 (0.15)
Supination	2.161 (0.11)	2.208 (0.15)

() SD.

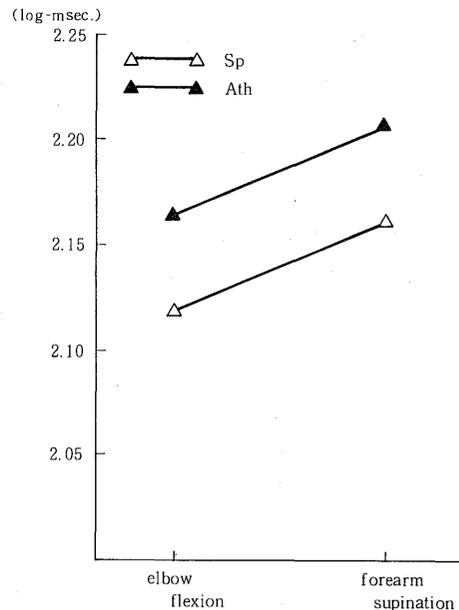


Fig. 4. Mean PMTs of Sp and Ath Groups.

れぞれ, $t=3.31$, $df=55$, $p<0.001$; $t'=5.16$, $df=33.83$, $p<0.001$)。このことは, CP 者の PMT が健常者より遅延し, それは痙直型 CP 者でもアテトーゼ型 CP 者でも同じであることを示している。Fig. 4から Sp 群の PMT の方が Ath 群より短い, t 検定の結果, 屈曲にも回外にも両群の差は示されなかった。

Fig. 5は, 縦軸に屈曲の PMT, 横軸に回外の PMT をとり, N 群の各個人の PMT をプロットしたものである。N 群の屈曲と回外の相関係数は $r=0.92$ ($p<0.001$) と非常に高く, 回帰式は $Y=-0.147+1.083X$ である。この図から $Y=X$ の直線の上方に N 群の大部分が位置しており, 回外の PMT の方が屈曲より短い被験者が多いことが分かる。しかし, 屈曲の PMT が短い方からの 2

名が, $Y=X$ の直線のかなり下方に位置しており, 屈曲の PMT の方が回外よりも短いという例外的な存在となっている。

一方, Fig. 6は, これを CP 群についてプロットしたものである。屈曲と回外の相関係数は $r=0.89$ ($p<0.001$) であり, 回帰式は $Y=0.235+0.873X$ である。CP 群では, その大部分が $Y=X$ の直線の下方に位置し, 屈曲の PMT の方が回外よりも短い被験者が多いことがわかる。これを Sp 群と Ath 群に分けてみる。Sp 群では相関係数 $r=0.82$ ($p<0.001$) と N 群よりやや低くなっている。回帰式は $Y=0.276+0.853X$ である。Ath 群の相関係数は $r=0.92$ ($p<0.001$), 回帰式は $Y=0.229+0.877X$ である。Fig. 6をみると, 屈曲の PMT の最も短い 3 名の Sp 群の被験者が

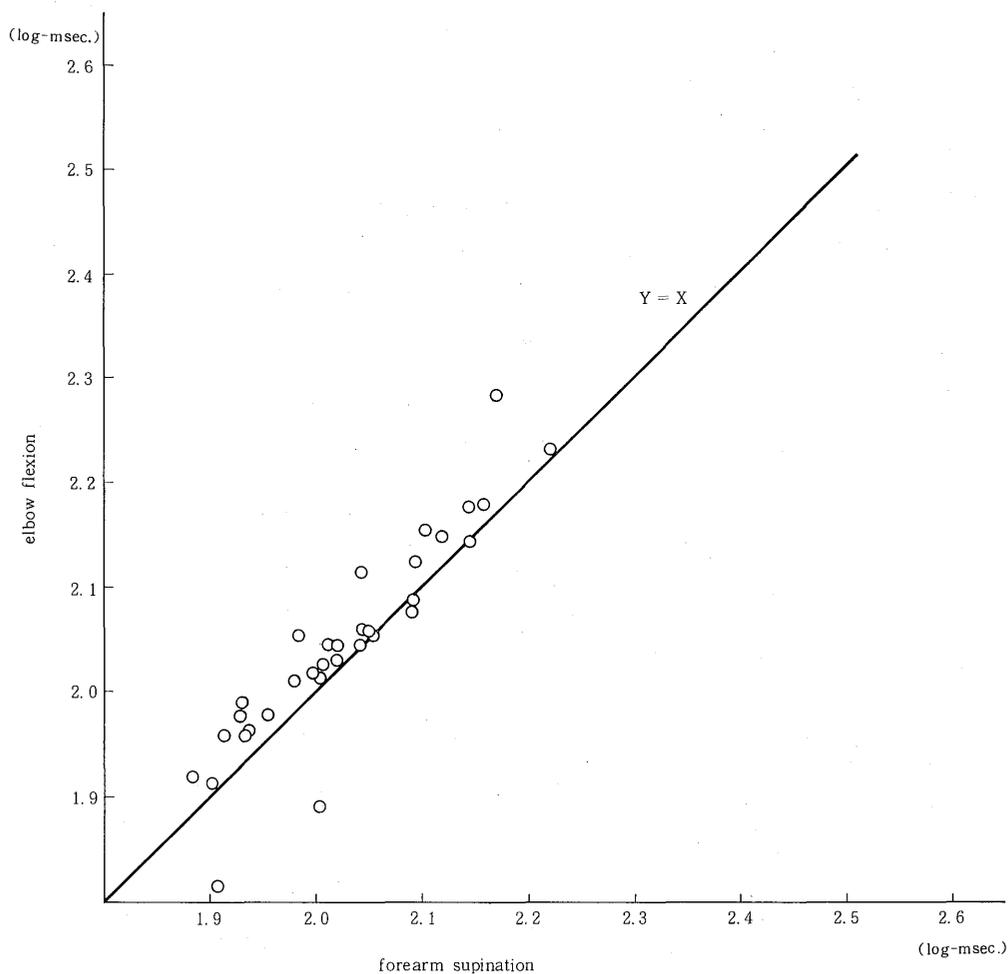


Fig. 5. Scattergram of flexion and supination in the normal.

Y=Xの直線のかなり下位に位置しており、また、Ath群には極端にPMTの遅延した被験者がいることがわかる。

次にCP群において、PMTがN群の範囲内にある被験者に、N群と同じく回外のPMTの方が屈曲よりも短い場合が多いのかということを検討する。そのためにまず、屈曲のPMTがN群の平均プラス1SD以内にいる群 (fast群) とそれより遅延している群 (slow群) に分けた。各群の内訳は、fast群にSp群13名、Ath群15名、slow群にSp群9名、Ath群9名である。このことから病型によるPMTの遅速はないと言えよう。回外のPMTがN群の平均値プラス1SD以内にいる被験者はfast群13名、slow群0名であった。そして、回外のPMTの方が屈曲より短い被

験者はfast群4名、slow群7名であった (Table 4)。

Table 4. CP subjects of fast and slow groups.

	fast	slow
supination faster than flexion	4	7
flexion faster than supination	24	11

これについて、 χ^2 検定を行った結果、slow群の方に回外のPMTの方が短い被験者が多い傾向が示された ($\chi^2=3.65$, $df=1$, $p<0.10$)。このことから、少なくとも、PMTが健常者の範囲内

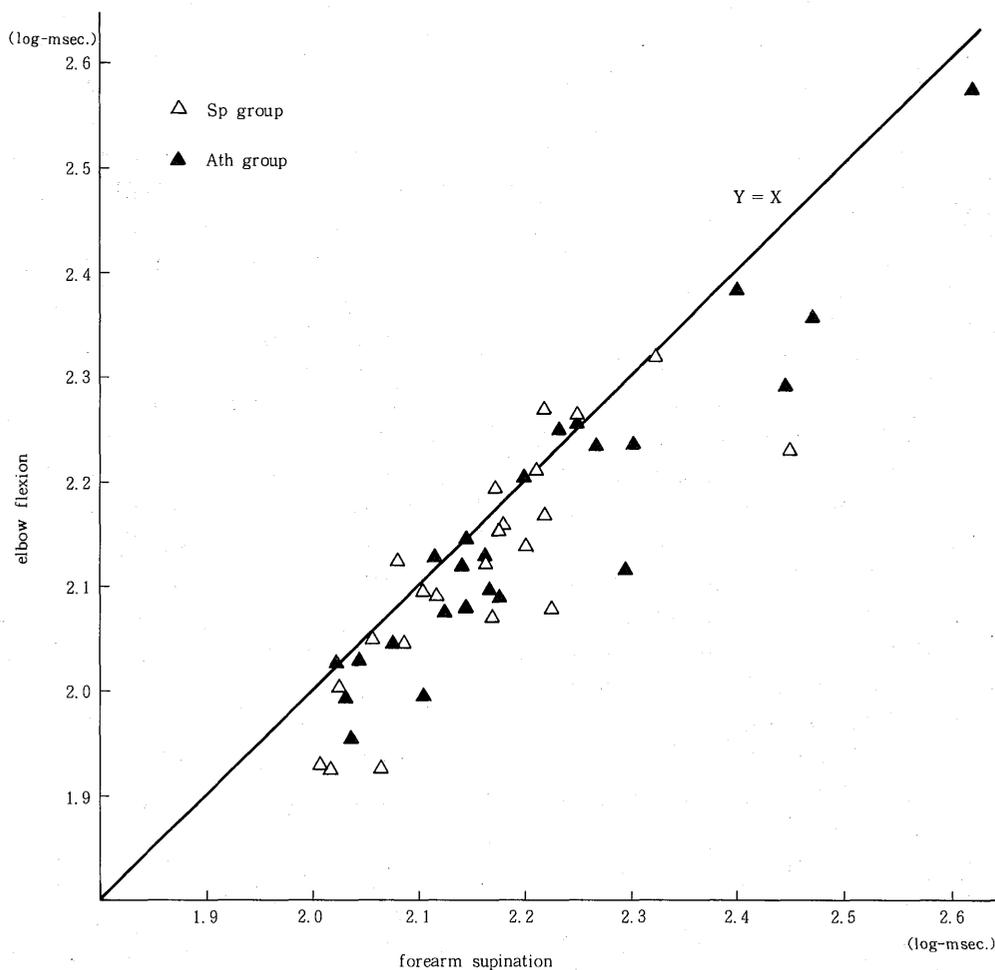


Fig. 6. Scattergram of flexion and supination in the cerebral palsied.

にあるCP者に、健常者と同様に回外のPMTの方が短いという傾向はないということが言えよう。

また、得られたPMTに性差が存在するか否かをみるためにt検定を行ったところ、N群、CP群ともに屈曲においても回外においても性差は認められなかった。利き手によるPMTの差も、CP群においてまったく認められなかった。

IV. 考 察

一般に中枢性運動障害者のPMTは遅延することが知られ(中村ら, 1977), 脳卒中後遺症の片まひ患者について(Nakamura et al., 1978)もパーキンソン病患者について(Nakamura et al., 1980)も、屈曲、回外ともに健常者よりもそのPMTは遅延する。CP者については矢島(1980, 1981)がレバー押しの際のPMTを調べているが、やはり、CP者のPMTは健常者よりも遅延していた。今回の結果も同様に、CP者のPMTは健常者よりも遅延するというものであった。これらのことから、一般的に、中枢性運動障害者のPMTは健常者よりも遅延すると言えよう。

健常者では、多くの先行研究と同じく、回外のPMTの方が屈曲よりも短いということが示された。これに対し、CP者は逆に、屈曲のPMTの方が短かった。この結果の違いは、CP者の運動プログラムが健常者と異なることを示唆している。脳卒中後遺症の片まひ患者(Nakamura et al., 1978)についても、パーキンソン病患者について(Nakamura et al., 1980)も、健常者のように回外のPMTの方が短いという結果は得られていない。これらのことから、中枢性運動障害者では回外のPMTが遅延し、回外のプログラムが適切に構成されていないということが推測されよう。

なぜ、回外のPMTが遅延するのであろうか。臨床的には、CP者は屈曲に比べ回外が困難であることが知られている。また、脳卒中後遺症の片まひ患者では、屈曲における上腕二頭筋の機能は効果的であるが、回外では働かない症例も報告されている(Kabat, 1965)。さらに、屈曲に比べ回外の時の上腕二頭筋の機能はその回復が遅れるという報告もある(Twitchell, 1951)。これらのことから、回外における上腕二頭筋の働きが十分でないために、回外のPMTが遅延したと考えられる。

この原因には、2つの可能性がある。その1つは回外運動のときの回外筋の活動の低下のためであるという可能性である。Ebsukov (1975)は、回外では上腕二頭筋よりも回外筋の方が活動を開始する時期が早いと述べている。とすれば、回外のときに回外筋が活動を開始する時期が遅いため、回外のときの上腕二頭筋の活動開始時期は、屈曲のときの上腕二頭筋の活動開始時期よりも遅れると考えることができる。つまり、回外のプログラムに回外筋に対する適切な命令が含まれていないということである。

もう1つの可能性は、固有受容器からの情報を運動プログラムに取り入れていないというものである。Travill et al. (1961)は、上腕二頭筋は、解剖学的には1つの筋でも、肘屈筋、前腕回外筋として働き、運動パターンでは2つのパターンを持っているが、肘関節伸展位では、上腕二頭筋は回外の際に活動しないことを示している。Basmajian et al. (1970)は肘関節30~180度屈曲位では、いずれにおいても回外のときに上腕二頭筋に活動を認めている。つまり、回外のときに上腕二頭筋が関与するのは、肘関節屈曲位であることが条件となる。したがって、反応を行うに際しては、予め屈曲位であるか伸展位であるか、つまり上腕二頭筋の筋長についての情報をプログラムにとり入れておく必要がある。これは主に筋紡錘の役割であるが、Harrison et al. (1971)が指摘するように、CP者は γ 系の運動ニューロンの活動亢進のために、筋紡錘からの情報を筋収縮の判断に用いることが困難である。したがって、実際には肘屈曲位であるにもかかわらず、それをプログラムに取り込んでいないために、回外のときに上腕二頭筋が十分に活動せず、回外のPMTが遅延すると考えることもできる。現段階では、回外筋への命令がプログラムに含まれていないためか、固有受容器からの情報をプログラムに取り入れていないためかは明らかにはできない。おそらく、回外筋の筋活動電位を上腕二頭筋とともに測定することで、より詳細な検討が可能となろう。

本研究では、病型による成績の違いを明らかにするために、CP群をSp群とAth群に分けて分析した。その結果、PMTの遅速に関しても、屈曲と回外のPMTの関係についても、病型による差異は示されなかった。錐体路系、錐体外路系と

いう異なる部位に損傷を持つものであるから、本来病型による差異が示されても当然のことであろう。しかし、斎藤ら(1979)の指摘するように、CPは広範囲な脳の器質的病変を示すものであるから、その症状は様々であり、脳の病変と臨床像の対応は困難である。さらに、その臨床像は年齢とともに変化する(岡, 1979)。したがって、課題成績と病型を対応させて議論することは困難であると言わざるを得ない。

本研究では、PMTが健常者の範囲内にあるCP者では、運動プログラムも適切に構成され、健常者と同様に回外のPMTの方が屈曲よりも短いと考えられた。しかし、結果はその逆であり、PMTが健常者の範囲外にあるCP者の方に、回外のPMTの方が短い被験者が多い傾向が示された。このことは少なくとも、PMTの遅速と運動プログラムの適切さは分けて考えていくべきものであることを示唆していると思われる。つまり、この両者は大いに関連はあると考えられるが、それは単純な関係ではないであろう。

以上のことから、CP者のPMTが遅延し、そして、運動プログラムに問題が存在することが確認された。さらに、これはSp型CP者でもAth型CP者でも同様であることも示された。また、PMTが健常者の範囲内にあるCP者でも、運動プログラムに問題を持つ場合が多いことが示唆された。

しかし、今回の研究では、関節可動域、肘屈曲角度、運動範囲、運動速度等とPMTの関係は取り扱っていない。この関係を明らかにすることにより、CP者の反応プロセスの問題について、より詳細な資料を得ることができるとと思われる。これを今後の研究課題としてさらに検討を加えていきたい。

文 献

- 1) Basmajian, J. V., & Griffin, W. R. (1961): Function of anconeus muscle: An electromyographic study. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 54-a, 8, 1712-1714.
- 2) Ebskov, B. (1975): Review on upper extremity Kinesiology. Translated into Japanese by Ogishima, H., Tokyo, Igaku shoin Ltd.
- 3) Harrison, A. (1975): Training spastic individuals to achieve better neuromuscular con-

trol using electromyographic feedback. In K. Holt (Ed.), *Clinics in Developmental Medicine* No. 55: Movement and Child Development. London, William Helneman Medical Book Ltd., 75-101.

- 4) Harrison, A., & Connolly, K. (1971): The conscious control of fine level of neuromuscular firing in spastic and normal subjects. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 13, 762-771.
- 5) Kabat, H. (1965): Proprioceptive facilitation in therapeutic exercise. In S. Lincht (Ed.), *Therapeutic Exercise*, New Haven, Conn., 327-343.
- 6) 笠井達哉 (1982): 運動パターンの違いによる反応時間の変動量—その運動種目特性とトレーニングによる影響について—. 国士館大学体育学部紀要, 8, 15-23.
- 7) 笠井達哉 (1983): 反応時間と筋電図による各種スポーツ種目の上肢運動解析. *体育学研究*, 28, 3, 227-236.
- 8) 笠井達哉・小林朝子 (1981): 運動パターンの違いによる反応時間の変動量—両手前腕同時反応動作について—. *体育の科学*, 31, 8, 557-560.
- 9) Kasai, T., Nakamura, R., & Taniguchi, R. (1982): Effect of warning signal on reaction time of elbow flexion and supination. *Perceptual and Motor Skills*, 55, 675-677.
- 10) 川間健之介・中司利一 (1985): 脳性まひ者の運動反応プロセスについて—肘屈曲・前腕回外運動の単純・弁別反応時間—. *心身障害学研究*, 9, 1, 49-57.
- 11) Keele, S. W. (1968): Movement control in skilled performance. *Psychological Bulletin*, 70, 6, 387-403.
- 12) 中井滋 (1980): 脳性マヒ児の前腕回外運動訓練—EMGフィードバックを適用して—. *特殊教育学研究*, 18, 2, 7-17.
- 13) 中村隆一 (1979): 運動障害と大脳半球機能分化—Jacksonの法則の応用—. *東北医学雑誌*, 92, 63-66.
- 14) Nakamura, R., & Saito, H. (1974): Preferred hand and reaction time in different movement patterns. *Perceptual and Motor Skills*, 39, 1275-1281.
- 15) 中村隆一・谷口礼二 (1977): 筋電図による反応時間の測定. *臨床生理*, 6, 223-238.
- 16) Nakamura, R., Taniguchi, R., & Yokochi, F. (1978): Dependence of reaction times on

- movement patterns in patients with cerebral hemiparesis. *Neuropsychologia*, 6, 121-124.
- 17) Nakamura, R., & Taniguchi, R. (1980): Dependence of reaction times on movement patterns in patients with Parkinson's disease and those with cerebellar degeneration. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 132, 153-158.
- 18) 岡鉄次 (1979): 脳性麻痺の病像の変容. 小児科 Mook, 7, 金原出版, 105-115.
- 19) 斎藤宏・中村隆一 (1979): 脳性麻痺の神経生理. 小児科 MOOK, 7, 金原出版, 16-27.
- 20) 田嶋誠一 (1981): 脳性マヒ児 (者) の筋電図フィードバック—緊張残効に対して—. *心理学研究*, 52, 4, 199-205.
- 21) Travill, A., & Basmajian, J. V. (1961): Electromyography of the supinators of the forearm. *Anatomical Record*, 139, 557-560.
- 22) Twitchell, T. E. (1951): The restoration of motor function following hemiplegia in man. *Brain*, 74, 443-480.
- 23) Wakabayashi, S., Nakamura, R., & Taniguchi, R. (1981): Movement patterns as an output variable in reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, 53, 832-834.
- 24) 矢島卓郎 (1980): 脳性麻痺者の運動反応の特徴—予告刺激の反応時間に及ぼす影響を中心に—. 日本特殊教育学会第18回大会発表論文集, 464-465.
- 25) 矢島卓郎 (1981): 脳性麻痺者の運動反応の特徴 (II) —張力曲線とそれに基づく RT, PMT, MT による検討—. 日本特殊教育学会第19回大会発表論文集, 516-517.

Summary

Premotor Times of Elbow Flexion and Forearm Supination in the Cerebral Palsied

Kennosuke Kawama Toshikazu Nakatsukasa

Premotor times (PMTs) of the biceps brachii in elbow flexion and forearm supination were examined in 33 normal subjects and 46 cerebral palsied subjects.

Compared with the normal, PMTs of the cerebral palsied were slow. In the normal, PMTs of forearm supination were faster than those of elbow flexion. On the other hand, PMTs of elbow flexion were faster than those of forearm supination in the cerebral palsied.

These results suggest that the cerebral palsied would have some problems in the motor program.

Key word: the cerebral palsied, elbow flexion, forearm supination, premotor time, motor program