

脳性まひ者の肘屈曲運動の反応時間 —試行経過に伴う PMT, MT の変動—

川間健之介 石田 久之*

本研究は、脳性まひ者13名、健常者14名の肘屈曲運動の反応時間を上腕二頭筋、上腕三頭筋より PMT, MT に分けて測定し、試行経過に伴うこれらの値の変化を検討したものである。PMT については、試行経過に伴って健常者も脳性まひ者も遅延し、MT は健常者で短縮し、脳性まひ者では変化しなかった。脳性まひ者を病型別に分析したところ、アテトーゼ型では MT が遅延したが、痙直型の MT は変化しなかった。これらのことから試行経過の PMT に及ぼす影響は、健常者と脳性まひ者で同じであるが、MT では異なることが示された。脳性まひ者の PMT, MT は健常者より遅延しており、中枢性運動障害者の PMT, MT は遅延すると言う知見と一致していた。

キーワード：脳性まひ 反応時間 PMT MT

I. はじめに

脳性まひ者の運動障害について、運動生起以前の反応プロセスに着目し、反応時間 (RT; reaction time) を用いてそのメカニズムの解明を試みた研究がいくつか行われている (川間・中司, 1985a, 1985b; 川間, 1987; 矢島, 1980, 1981; 矢島・氏森・堅田・鈴木, 1983; 矢島・興梠・氏森・田畑, 1984; 矢島・氏森・興梠, 1985; 矢島・氏森・興梠, 1986)。これらの研究はすべて Weiss (1965) に従って RT を刺激提示から筋活動の開始までの時間 (PMT; premotor time) と筋活動の開始から実際の運動が生起するまでの時間 (MT; motor time) に分けて扱っている。

川間・中司 (1985a) は弁別反応課題を用いて、川間・中司 (1985b) は単純反応課題を用いて、川間 (1987) は選択反応課題を用いて脳性まひ者の肘屈曲運動と前腕回外運動について上腕二頭筋より PMT を測定した。そして、情報処理プロセスにおける処理ステージの相互作用の観点から脳性まひ者の運動障害を考察している。しかし、これらの研究では RT のうち MT は測定されていない。

矢島 (1980) は予告刺激が脳性まひ者の反応時間に及ぼす影響について、レバー押しを反応運動として長拇指伸筋の PMT と MT を測定した。矢島 (1981) と矢島・氏森・堅田・鈴木 (1983) は張力曲線と PMT, MT の関係を検討し、矢島・興梠・氏森・田畑 (1984) と矢島・氏森・興梠 (1985) は指先容積脈波と PMT, MT の関係について、矢島・氏森・興梠 (1986) は心拍と PMT, MT の関係を検討した。いずれも予告刺激による PMT, MT の変動を構えや注意などの心理的過程に依存したものと考えて、その心理的過程の変化を定量的にとらえようと試みたものである。

川間や矢島の研究では主動筋から PMT, MT が測定されているが、拮抗筋からは測定されていない。脳性まひ者の運動障害を考えた場合、主動筋と拮抗筋が協調して活動しているか否かに注目する必要がある。そこで本研究では、脳性まひ者の肘関節屈曲運動における PMT と MT を主動筋である上腕二頭筋と拮抗筋である上腕三頭筋より測定する。また、RT, PMT, MT の試行経過による変動についても検討し、脳性まひ者の運動障害について考案する。

* 学校教育部

II. 方 法

1. 被験者：脳性まひ者13名（アテトーゼ型7名，痙直型6名；男子10名，女子3名；年齢13歳6カ月から24歳1カ月）で顕著な知的遅れを伴わない者。健常者14名（男子9名，女子5名；20歳0カ月から25歳1カ月）である。被験者は全員右手利きである。

2. 測定装置：刺激はオージオメーター（AA-34：RION製）により1000Hz，90dBの純音を発生し，電子スイッチ（SB-10A：RION製）によって持続時間を予告刺激は250ms，反応刺激は50msにし，ヘッドホンによって被験者に与えた。両刺激の間隔は1～8.5秒でランダムである。反応時間（RT；reaction time）はデジタイマー（光変調ユニット付，TW-7010：竹井機器製）によって測定した。反応刺激呈示から運動の生起に先行する筋活動の開始までの時間（premotor time；PMT）は次のように測定した。まず，被験者の利き手の上腕二頭筋及び上腕三頭筋の筋腹より橈側上顆を不関電極として時定数0.03秒で筋活動電位を導出し，生体アンプ（AB-621G：日本光電製）によって増幅する。次に，この筋活動電位をコンピューター（PC-8001M2：日本電気製）によって毎秒1000回のサンプリング周波数で刺激呈示から0.5秒間A/D変換する。これを毎秒100回の頻度で出力，D/A変換したものをペンオシロスコープ（8K33：日本電気三栄製）に記録する。これによりオンラインで反応刺激呈示後の0.5秒間の筋活動電位を紙幅7.5cmで記録することができる。そして，刺激呈示から筋活動の開始までの時間を1ms単位で測定する。筋活動の開始から実際の運動の開始までの時間（motor time；MT）は，RTからPMTを減じることによって算出する。

3. 手続き：被験者は椅子に座り利き手をアームレストの上に置き，肩関節0度，肘関節90度屈曲，前腕やや回内位に保つ。そしてヘッドホンを装着し，予告刺激の次に聞こえる反応刺激に対して，できるだけ速く肘関節屈曲運動を行う。試行数は10試行を1ブロックとし，計6ブロック60試行行う。被験者は10～15試行練習を行った後測定にはいる。

III. 結 果

結果の分析においては，試行経過ごとすなわち

各ブロック毎に10試行の平均値を求め，これを個人の代表値とした。

1. RT について

Fig. 1(A)に健常者と脳性まひ者のRTの平均値とSDを示す。健常者では，試行経過によってRTは変化していないが，脳性まひ者では試行経過とともにRTが長くなっている（ $F(5, 60) = 5.25$, $p < .01$ ）。健常者と脳性まひ者を比べると健常者の方がRTが有意に短い（ $F(1, 25) = 12.18$, $p < .01$ ）。

Fig. 1(B)にアテトーゼ型と痙直型のRTの平均値とSDを示す。アテトーゼ型のRTは試行経過とともに長くなっている（ $F(5, 30) = 6.03$, $p < .01$ ）が，痙直型のRTに試行経過の効果は認められなかった。アテトーゼ型と痙直型を比べると痙直型のRTの方が有意に短い（ $F(1, 11) = 5.04$, $p < .05$ ）。

2. PMT について

Fig. 2(A)に健常者と脳性まひ者のPMTの平均値とSDを示す。筋(2)×試行経過(6)の分散分析を行ったところ，健常者では筋（ $F(1, 13) = 34.30$, $p < .01$ ）と試行経過（ $F(5, 65) = 2.75$, $p < .05$ ）の主効果が有意であった。しかし両者の交互作用はなかった。これはPMTは上腕二頭筋の方が上腕三頭筋より短いこと，試行経過が進むにつれてPMTが長くなることを示している。一方，脳性まひ者でも筋（ $F(1, 12) = 32.40$, $p < .01$ ）と試行経

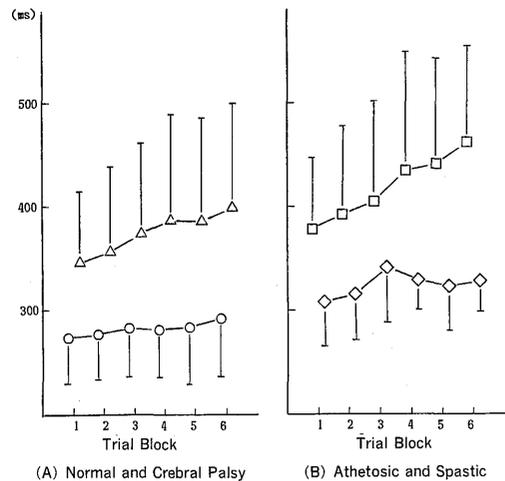


Fig. 1. Mean RTs of Normal and Cerebral Palsy

○：Normal △：Cerebral Palsy
□：Athetotic ◇：Spastic

過 ($F(5, 60) = 3.13, p < .05$) の主効果は有意であったが、両者の交互作用はなく健常者と同様の結果が得られた。健常者と脳性まひ者を比べると、上腕二頭筋 ($F(1, 25) = 8.11, p < .01$) でも上腕三頭筋 ($F(1, 25) = 8.66, p < .01$) でも健常者のPMTの方が短い。

Fig. 2(B)にアテトーゼ型と痙直型のPMTの平均値とSDを示す。分散分析では、アテトーゼ型 ($F(1, 6) = 11.43, p < .05$)でも痙直型 ($F(1, 5) = 28.03, p < .01$)でも有意であったのは筋の主効果のみであった。すなわち両者とも上腕二頭筋の方が上腕三頭筋よりPMTが短い。しかし、有意には至らなかったものの痙直型では試行経過とともにPMTが長くなる傾向が認められた ($F(1, 5) = 2.39, p < .10$)。アテトーゼ型と痙直型を比べると上腕二頭筋も上腕三頭筋も有意差は認められなかった。

3. MTについて

Fig. 3(A)に健常者と脳性まひ者のMTの平均値とSDを示す。筋×試行経過の分散分析を行ったところ、健常者では筋 ($F(1, 13) = 34.32, p < .01$)と試行経過 ($F(5, 65) = 2.75, p < .05$)の主効果が有意であったが、両者の交互作用は認められなかった。これはFig. 3(A)からもわかるように上腕

二頭筋の方が上腕三頭筋よりMTが長いことを示している。また、試行経過の主効果は試行経過に伴ってMTが短くなっていることを示している。一方、脳性まひ者では、筋の主効果は有意 ($F(1, 12) = 32.41, p < .01$)であったが、試行経過の主効果と交互作用はなかった。これは上腕二頭筋の方が上腕三頭筋よりMTが長いことを示している。健常者と脳性まひ者を比べたところ、上腕二頭筋 ($F(1, 25) = 9.99, p < .01$)でも上腕三頭筋 ($F(1, 25) = 9.51, p < .01$)でもMTは有意に健常者の方が短い。

Fig. 3(B)にアテトーゼ型と痙直型のMTの平均値とSDを示す。アテトーゼ型では筋 ($F(1, 6) = 11.43, p < .01$)と試行経過 ($F(5, 30) = 3.29, p < .05$)の主効果が有意であったが、両方の交互作用はなかった。これは上腕二頭筋の方が上腕三頭筋よりMTが長いこと、健常者と逆に試行経過に伴ってMTが長くなっていることを示している。痙直型では筋 ($F(1, 5) = 28.05, p < .01$)の主効果のみが有意であった。すなわち上腕二頭筋の方が上腕三頭筋よりMTが長い。アテトーゼ型と痙直型を比べたところ、上腕二頭筋 ($F(1, 11) = 6.94, p < .05$)でも上腕三頭筋 ($F(1, 11) = 7.67, p < .05$)でもMTは痙直型の方が有意に短かった。

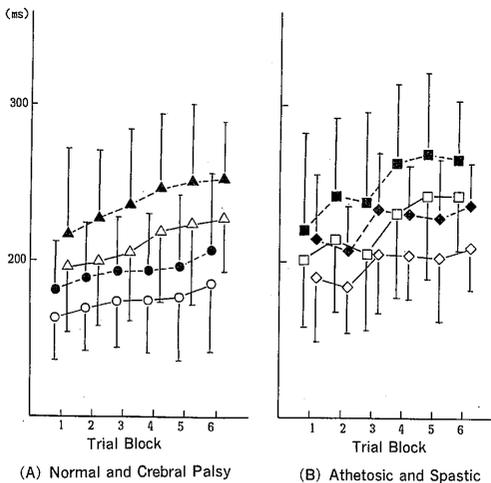


Fig. 2. Mean PMTs of Normal and Cerebral Palsy (Normal: ○ biceps brachii; ● triceps brachii, Cerebral Palsy: △ biceps brachii; ▲ triceps brachii, Athetotic: □ biceps brachii; ■ triceps brachii, Spastic: ◇ biceps brachii; ◆ triceps brachii.)

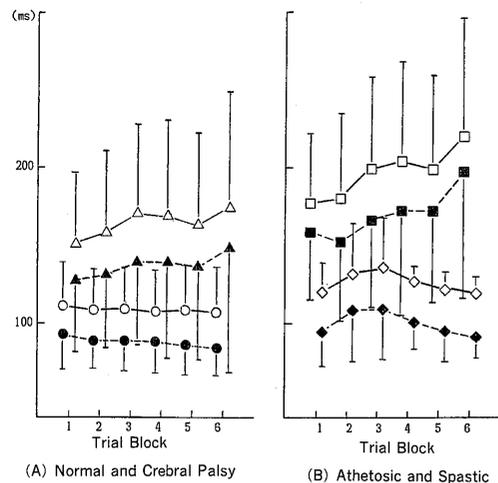


Fig. 3. Mean MTs of Normal and Cerebral Palsy (Normal: ○ biceps brachii; ● triceps brachii, Cerebral Palsy: △ biceps brachii; ▲ triceps brachii, Athetotic: □ biceps brachii; ■ triceps brachii, Spastic: ◇ biceps brachii; ◆ triceps brachii.)

IV. 考 察

1. 試行経過に伴う PMT, MT の変動

Weiss (1965) は反応時間を PMT と MT に分けて測定した。そして、予告刺激から反応刺激までの時間の变化によって PMT は変動するが MT は変化しないという結果を得、PMT は中枢での処理に関与し、MT は末梢の筋システムに関与しているとした。Botowinick and Thompson (1966a, 1966b) は Weiss (1965) の追試を行い同様の結果を得ている。その後、多くの研究が PMT は様々な心理変数によって変動するが MT は変動しないという知見を示している (Clarkson, 1978; Lagasse and Hayes, 1973; Sheridan, 1984; Ward, 1978; Ward and Grabiner, 1982)。

ところで試行経過の効果には、練習による反応時間の短縮と疲労や注意の減少による反応時間の遅延という相反する 2 つの効果があると考えられる。本実験の結果を見てみると、脳性まひ者の PMT は試行経過に伴って遅延しているが、MT は変化を受けていない。つまり、脳性まひ者では中枢レベルの処理に関連している PMT は試行経過による疲労や注意の減少の影響を受け、末梢レベルに関連した MT は試行経過の影響を受けなかったと言える。一方、健常者でも PMT は試行経過とともに遅延しており、疲労や注意の減少の影響を受けている。ところが、MT は試行経過に伴って短縮していた。矢島・氏森・興杵 (1985) も健常者で試行経過に伴って MT が短縮することを報告している。MT は先に述べたように一般的には変動しないと言われているが、Fleury and Lagasse (1979) は練習によって MT が短縮することを報告している。したがって、健常者では、中枢レベルの処理に関連している PMT は試行経過による疲労や注意の減少の影響を受けたため遅延し、末梢の筋レベルに関連した MT では疲労や注意の減少よりも練習の影響を受けたため短縮したと解釈する。

同じ脳性まひ者でもアテトーゼ型と痙直型では異なる結果が得られた。PMT についてみるとアテトーゼ型も痙直型も試行経過の効果を受けていない。ただし、痙直型では試行経過に伴って PMT が遅延する傾向があった。一方、MT は痙直型では試行経過の影響を受けていないが、アテトーゼ型では試行経過に伴って遅延していた。MT は外部抵抗が加えられたときや拮抗筋の転換が行なわ

れた場合に遅延することが報告されている (中村・斎藤・谷口・大嶋, 1975) が、いずれの場合も末梢の筋レベルに直接影響を及ぼすと考えられる要因である。末梢の筋レベルに影響を及ぼしかつ試行経過の効果に含まれるものとしては練習の効果と考えられるが、これは MT を短縮するものであり、アテトーゼ型の MT の遅延の理由とはならない。矢島 (1980, 1981) は脳性まひ者では本来変動のない MT も心理的変数によって遅延することを報告している。おそらくアテトーゼ型においては、本来影響を受けないはずの末梢の筋レベルに対する調整システムが試行経過からなんらかの影響を受けたために MT が遅延したと思われる。

2. 筋による PMT, MT の差異

ところで、上腕二頭筋と上腕三頭筋の PMT は、健常者、脳性まひ者、またアテトーゼ型、痙直型のいずれにおいても上腕二頭筋の方が短かった。MT は、RT から PMT を減じた値であるから PMT とは逆に上腕三頭筋の方が短くなっている。上腕二頭筋は肘関節屈曲運動の主動筋であるから上腕三頭筋より PMT が短いのは当然のことである。拮抗筋である上腕三頭筋の PMT は上腕二頭筋より健常者で 20ms 前後、脳性まひ者で 20~30ms 程度長い。すなわち上腕三頭筋は上腕二頭筋より少し遅れて活動を開始している。上腕三頭筋は拮抗筋であるから肘関節屈曲運動には不必要と考えられるが、筋活動が認められるということは、拮抗筋であってもこのような ballistic movement では共同筋として運動に関与すると考える。また、健常者でも脳性まひ者でも PMT において筋×試行経過の交互作用は認められなかった。これは、additive factor method (Sternberg, 1969) に従って解釈すると、筋による PMT や MT の遅速を生み出すプロセスと試行経過に影響されるプロセスが独立したものであることを示すものと考えうる。

3. 健常者と脳性まひ者の PMT, MT の遅速

一般に中枢性運動障害者の PMT や MT は健常者より遅延する (中村・谷口, 1977) と言われ、脳卒中後遺症による片麻痺患者 (Nakamura, Taniguchi, and Yokochi, 1978) でも、パーキンソン症患者 (Nakamura and Taniguchi, 1980) でも PMT は健常者よりも遅延していた。脳性まひ者についても矢島 (1980, 1981) や川間・中司

(1985b) が PMT が遅延することを報告している。本実験の結果でも脳性まひ者の PMT と MT は健常者よりも遅延しており先の知見と一致する。これらのことは脳性まひ者の運動生成過程が効率的に機能していないことを示すものである。しかし、脳性まひ者でもアテトーゼ型と痙直型では差が認められた。PMT は両者の間に差はなかったが、MT ではアテトーゼ型の方が痙直型より遅延していた。試行経過に伴って MT が遅延することと考えあわせるとアテトーゼ型においては筋レベルでの機能が効率的ではないと言える。

以上の考察から試行経過が PMT に及ぼす影響は健常者も脳性まひ者も同じであるが、MT に対しては異なる影響を及ぼすことが示された。特にアテトーゼ型では試行経過に伴って MT が遅延しており、末梢の筋レベルに対する調整システムの問題が示唆される。また、上腕三頭筋は拮抗筋であるが共同筋として機能していることも示唆された。脳性まひ者の PMT と MT は健常者よりも遅延しているが、特にアテトーゼ型の MT が著しく遅延しており、この結果からもアテトーゼ型では末梢の筋レベルに対する調整システムの問題が存在すると思われる。

文 献

- 1) Botwinick, J. and Thompson, L.W. (1966a): Premotor and motor components of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 71 (1), 9-15.
- 2) Botwinick, J. and Thompson, L.W. (1966b): Components of reaction time in relation to age and sex. *Journal of Genetic Psychology*, 108, 175-183.
- 3) Clarkson, P.M. (1978): The effect of age and activity level on simple and choice fractionated response time. *European Journal of Applied Physiology*, 40, 17-25.
- 4) Fleury, M. and Lagasse, P. (1979): Influence of functional electrical stimulation training on premotor and motor reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, 48, 387-393.
- 5) 川間健之介(1987): 脳性まひ者の運動反応プロセス—単純・選択反応の反応時間による検討—. *特殊教育学研究*, 24 (4), 1-9.
- 6) 川間健之介・中司利一 (1985a): 脳性まひ者の運動反応プロセスについて—肘屈曲・前腕回外の単純・弁別反応時間. *心身障害学研究*, 9 (1), 49-58.
- 7) 川間健之介・中司利一 (1985b): 脳性まひ者の肘屈曲・前腕回外運動の PMT. *心身障害学研究*, 10 (1), 77-84.
- 8) Lagasse, P.P. and Hayes, K.C. (1973): Premotor and motor reaction time as a function of movement extent. *Journal of Motor Behavior*, 5 (1), 25-32.
- 9) 中村隆一・斎藤宏・谷口礼二・大嶋征男 (1975): ファシリテーションテクニックの解析, PNF と応答時間. 島村・中村編, *運動の神経機構とその障害*, 105-119.
- 10) 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.
- 11) Nakamura, R., Taniguchi, R., and Yokochi, F. (1978): Dependence of reaction time on movement patterns in patients with cerebral hemiparesis. *Neuropsychologia*, 6, 121-124.
- 12) Nakamura, R. and Taniguchi, R. (1980): Dependence of reaction time on movement patterns in patients with parkinson's disease and those with cerebellar degeneration. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 132, 153-158.
- 13) Sheridan, M.R. (1984): Response programming, response production, and fractionated reaction time. *Psychological Research*, 46, 33-47.
- 14) Sternberg, S. (1969) The discovery of processing stage: extension of Donders' method. In W.G. Koster (Ed.), *Attention and Performance II*, *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- 15) Ward, T. (1978): Muscle state: reaction and movement time in elbow extension. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 59 (8), 377-383.
- 16) Ward, T. and Grabiner, M. D. (1982): Chronic effects of electrical stimulation of muscle on the fractionated components of audio response time. *Human Movement Science*, 1, 139-150.
- 17) Weiss, A.D. (1965): The locus of reaction time change with set, motivation, and age. *Journal of Gerontology*, 20, 60-64.
- 18) 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.

- 19) 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 による検討一. 日本特殊教育学会第19回大会発表論文集, 516-517.
- 20) 矢島卓郎・氏森英亜・堅田明義・鈴木宏哉(1983)：脳性麻痺者の運動反応特徴(III)―張力曲線および筋放電のパターンによる定性的検討一. 日本特殊教育学会第21回大会発表論文集, 474-475.
- 21) 矢島卓郎・興梠岳房・氏森英亜・田畑光司(1984)：脳性麻痺者の運動反応の特徴(IV)―指先容積脈波の反応量の大きさと PMT・MT の関係一. 日本特殊教育学会第22回大会発表論文集, 312-313.
- 22) 矢島卓郎・氏森英亜・興梠岳房(1985)：脳性麻痺者の運動反応の特徴(V)―試行経過に伴う PMT, MT と PL 反応量の変化傾向による検討一. 日本特殊教育学会第23回大会発表論文集, 358-359.
- 23) 矢島卓郎・興梠岳房・氏森英亜(1986)：脳性麻痺者の運動反応の特徴(VI)―刺激呈示条件差および PMT, MT の遅速と心拍の関係一. 日本特殊教育学会第24回大会発表論文集, 640-641.

Summary

Reaction Time of Elbow Flexion in Persons with Cerebral Palsy: Fractionated Reaction time change with trial block

Kennosuke Kawama and Hisayuki Ishida

In this study, 13 persons with cerebral palsy (of whom 7 were athetotic and 6 were spastic) and 14 normal persons were asked to respond with elbow flexion of preferred hand to a audio stimuli. They had 6 blocks consisted of 10 trials. Premotor time (PMT) and motor time (MT) were measured from biceps brachii and triceps brachii of subjects' preferred hand. Normal subjects' PMT was significantly delayed, but MT was significantly shortened by trial blocks. For subjects with cerebral palsy, PMT was significantly delayed by trial blocks, but MT did not change. Athetotic subjects' PMT did not change, but MT was delayed by trial blocks. For spastic subjects, neither PMT nor MT changed. These results show that trial block has same effect on PMT of normal subjects and that of persons with cerebral palsy, but has different effect on MT of normal and persons with cerebral palsy. PMT and MT of normal subjects were shorter than those of persons with cerebral palsy. This result suggests that persons with cerebral palsy have problems in the motor production process.

Key word: cerebral palsy, reaction time, PMT, MT