運動生理 8(1):39-46,1993.

シンポジウム

上肢接触板移動時の筋電図反応時間 についての解析

岩月宏泰¹⁾ 室賀辰夫²⁾

Analysis of EMG Reaction Time in the Stereotyped Movements of Upper Extremities on Contact Boards.

Hiroyasu IWATSUKI, RPT¹⁾, Tatsuo MUROGA, OTR²⁾.

1) Department of Physical Therapy, College of Medical Technology, Nagoya University:
1-1-20 Daikouminami Higashi-ku Nagoya 461 Japan. TEL +81 052-723-1111.

2) Department of Occupational Therapy, College of Medical Technology, Nagoya University

J. Exerc. Physiol. 8(1):39-46,1993. Submitted April 18,1992. Accepted Oct.16,1992.

ABSTRACT

This study was designed to examine the reaction time (RT) of the upper extremity agonist during shift motions among contact boards by using electromyogram, and to analyze the effects of the frequency of stimuli, disorders subjects suffered, and dominance of the hand examined on RT. The premotor time of the elderly subjects was found to approximately 130 ms, which was unchanged in spite of variation of the frequency from 0.2 to 1.2 Hz. This suggests that the elderly persons may respond to different stimuli by the fixed movement pattern. To any stimuli, there was no difference in the ratio of RT to the required time for finishing the motion between Spino-cerebellar degenerations (SCD) and Parkinsonism (PS) patients. It was assumed from this fact that either abnormal muscle tonus or reciprocal, synchronous disorder in muscle contraction may play an important role in inducing disability of motor "switching mechanism".

Key words: EMG-RT, shift motions of upper extremities, Spino-cerebellar Degeneration (SCD), Parkinsonism (PS).

要旨

本稿では上肢の接触板移動運動の軌跡と主動筋の筋活動から筋電図反応時間を計測し合図の頻度、小脳障害と錐体外路系障害の差異および利き手の特性などについて述べた。

刺激頻度別によるRTの比較では、老年者のPMTが0.2~1.2Hzまで約130msと変化しなかったことから、老年者では一定の運動パターンでしか対応できないことが推測された。全所要時間にRTの占める割合はSCD、PSとも刺激条件に関わらず両群間に差を認めなかったことから、"運動の切り換え"の障害には筋トーン異常、相反性同期性障害の関与が大きいことが推測された。今後、運動開始時の筋電図周波数分析から合図に対する予測効果を運動単位の活動様態から運動準備状態を検索する予定である。

キーワード: 筋電図反応時間、上肢移動運動、小脳障害、パーキンソニズム

1) 名古屋大学医療技術短期大学部理学療法学科 : 愛知県名古屋市東区大幸南1-1-20 (〒461)

2) 同作業療法学科

受付日1992年4月22日 受理日1992年10月16日

I. はじめに

反応時間研究は種々の分野の研究者によってなされており、特定の刺激が与えられた時に直ちに反応する単純反応時間、および弁別、判断、選択、情報処理過程の複雑反応時間に分けて検討されてきた¹⁻³⁾。これら反応時間を規定する要因として、合図の質、強度、予告信号の効果などの実験系に起因するもの、練習、覚醒、注意程度など被験者に由来するものが考えられている²⁻⁴⁾。筋電図反応時間(EMG-RT)は刺激の感知—大脳皮質—主動筋までの生体情報が反応時間として表出されるため、機械的な遅れ等が介在しない。このEMG-RTの測定方法はWeiss¹⁾により確立され、本邦でも中村らを始めとして数多くの研究がされている^{1, 2, 4, 6, 7)}。一般に、EMG-RTは合図から筋活動開始までの時間(Premotor time; PMT)と筋活動から実際の運動開始までの時間(Motortime; MT)の変数に分けて検討されている¹⁻³⁾。運動開始にあたり、PMTとRTとは関連が深い、PMTとMT間では関連が少ないことが明らかにされている^{2, 11)}。このEMG-RTの利点はPMTとMTの区別で中枢、末梢過程を弁別でき、姿勢調節機構、意図的運動の関連を探索できる点であり、欠点としてEMG-RTと筋電図記録の変数(振幅、周波数など)、運動学的・運動力学的変数との関連が不明が挙げられる²⁾。このEMG-RT研究のテーマも1970年代前半が肢位、構えの操作を後半以降には運動準備、運動プログラムの解析が運動軌跡との関連と変化している²⁾。我々は今までに上肢における接触板移動運動時の主動筋の筋電図反応時間と運動軌跡から運動発現について検討してきた。

今回、その研究成果を表のごとく1) 規則刺激の頻度による比較、2) 規則刺激と不規則刺激による比較、3) パーキンソニズムと小脳障害との比較、4) 接触板離着時の筋電図周波数分析、5) 利き手の特性、6) 視覚

入力の有無が筋電図反応時間に及ぼす影響の順序で紹介し今後の展望についても報告する。

表：項 目

- 1) 規則刺激の頻度による比較
- 2) 規則刺激と不規則刺激による比較
- 3) パーキンソニズムと小脳障害との比較
- 4) 接触板離着時の筋電図周波数分析
- 5) 利き手の特性
- 6) 視覚入力の有無が運動発現に及ぼす影響

図1: 上肢 3 点上下運動

図2: 筋電図と運動軌跡

II. 方 法

測定方法は被験者に椅坐位をとらせ、検査側の対側前腕屈側部に各人が自覚できる強さの電気刺激を与え、この刺激を合図として“出来るだけ速く、正確に”検査側の示指を接触板から接触板に移動運動を行わせた¹²⁾。

接触板は約 5 cm^2 の大きさであり、被験者の前壁に検査側肩関節の高さとそれより 15° 挙上位の延長上とその高さで対側肩関節部に設置した。3点上下運動時には三角筋前部線維の筋腹中央部から双極誘導法による表面筋電図を導出し、接触板の離着動作を電位差として捉え筋電計に同時記録した。測定は左右上肢で各々8回行わせた(図1)。

手指の離着運動軌跡に下記の名称を与えた。電気刺激に応じて水平板から示指を離すまでを反応時間(RT)、上方板に到達するまでの移動時間(UT)、上方板接触時間(UTT)、他

側上方板への移動時間(HAT)、他側上方板の接触時間(ATT)、水平板への帰路時間(DT)とした。なお筋電図反応時間は中村ら²⁾に従い、電気刺激から沈黙期の後に出現する群化放電までの潜時をPMT、筋活動から実際の運動開始までの時間をMTとした(図2)。

III. 結果と考察

1) 規則刺激の頻度による比較¹³⁾

規則刺激を与えられた場合、各個体で随意運動に参加する共同筋の筋活動のタイミングの制御を含めた上位中枢でのリズム形成化がみられる。老年者では加齢に伴って上位中枢と効果器である筋に形態的变化、機能的低下がみられることから、種々の刺激頻度の対応から加齢による特徴を検索した。

対象は健康老年者 15例 (65 ± 5 歳)と青年

図3:合図の頻度別によるRT, PMTおよびMTの比較

図4: RTとUTの関連¹⁴⁾

者15例(21±1歳)であった。刺激条件として0.2、0.7、1.2Hzを用いた。

結果:RTは青年群が刺激頻度に関わらず250msであったが、老年群では0.7Hz以下が約280ms、1.2Hzで約260msと刺激頻度の増加に伴い約20ms短縮した。PMTにおける0.2Hzと1.2Hzの比較では青年群が約33.4%の減少を老年者では9.1%の増加がみられた。MTにおける0.2Hzと1.2Hzの比較では青年群が約18.0%の増加を老年者では約17.3%の減少がみられた(図3)。老年者のPMTが刺激頻度の増加に伴い延長したことから、上位中枢でのリズム形成障害が主動筋の筋放電様式に変容を惹起し、“運動の切り換え”に遅延をもたらしたと考えられる。

2) 規則刺激と不規則刺激による比較^{10, 14)}

予め予期していた刺激が出現した場合には素早く反応できるが、思わぬ刺激が現れた時には反応が遅れる。パーキンソニズム(PS)に対して規則刺激(0.2Hz)と不規則刺激(0.2Hz未満)の電気刺激を合図に上肢の課題運動に行わせて、運動指令の発動、刺激頻度に対する順応能力の障害を検討した。

対象はPSが7例(62±13歳)である。重症度はYahrの分類でⅡ、Ⅲであった。対照は健康青年者が12例(20±1歳)、老年者が10例(68±5歳)であった。

図5:不規則刺激時の全所要時間に対する各構成時間の占める割合

結果:RTとUTの関連では老年群とPS群ともRTが刺激条件による差が認められなかったが、UTは両刺激条件で老年群よりPS群で有意な延長がみられた(図4)。また全所要時間は3群とも刺激条件による差を認めなかった。全所要時間に対するRTとUTの占める割合では刺激条件に関わらずRTが健康群で約26%、PS群では約19%であった。UTでは健康群が約19%、PS群が約18%であった。空間移動時間の割合は、刺激条件に関わらず青年群が約55%、老年群約60%、PS群約66%であった。接触時間の割合は3群間に差を認めなかった(図5)。PS群における遅延の要因の一つとして空間移動時間占める割合が刺激条件に関わらず約65%であったことから、筋トーン亢進による粘弾性の増加と筋力低下によって運動速度が減少したものと考えられる。

3) PSと小脳障害との比較^{10, 14, 15)}

臨床症状として運動開始の遅延と運動の拙劣を呈する脊髄小脳変性症(SCD)とPS患者を比較することで随意運動の中枢制御機構である小脳と大脳基底核の役割の差異を検索した。

対象はPSが16例(66±7歳)、SCDが12例(62±5歳)および健康老年者14例(68±5歳)であった。課題運動は規則刺激(0.2Hz)と不規則刺激(0.2Hz未満)の合図で行わせた。

結果:PMTは老年群が刺激頻度に関わらず約170msと差が認められず、PS群の規則刺激で不

図6: パーキンソニズムと脊髄小脳変性症におけるRT, PMTおよびUTの実測値

規則刺激より23.5ms延長したが有意な差を認めなかった(図6)。PS群ではRTのballisticな運動に遅延がみられず、UTの目標点に到達させるための制御を必要とする運動では老年群より有意に遅延したことから末梢効果器の問題だけでなく、大脳基底核の機能低下による影響が大きいと考えられる。さらに刺激条件におけるPMT、RT、全所要時間の差は殆どなかったことから、PS群では異なる迅速運動を要求されても、その目的にあった適切な運動速度と瞬発力の発現が障害されているために一定の筋張力でしか応じれないパターン化した運動が出現するものと考えられる。一方、SCD群の筋放電では水平板離脱時に健常群でみられた分離性群化放電が顕著でなかったことから、同一筋内における筋収縮の同期性障害が推測された。またSCD群でみられた空間移動時間の有意な延長が生じた要因には、筋緊張及び筋力の低下と随意運動に関与する筋群の相反性同期性収縮の障害による運動速度の低下、企図振戦及び末梢からの種々の知覚情報を補正するフィードバック制御機構の障害が推測された。

図7: RTとUTでのPeak Hzの変動¹⁶⁾

4) 接触板離着時の筋電図周波数分析¹⁶⁾

運動失調症における上肢随意運動の巧緻性障害を運動開始時の主動筋のパワースペクトラムのpeak Hzとパターンの解析から本症での運動中枢制御の病態を明らかにすことを目的に行った。

対象はSCD 7例(58±9歳)、健常老年者13例(68±5歳)および青年者11例(21±2歳)であった。課題運動は0.2Hzの規則刺激を合図に行わせた。

結果:肩関節屈曲90°保持時のpeak Hzは健常者、SCD群ともに性差がみられ、女性が男性より低くなる傾向がみられた。SCD群と老年群

間に差を認めなかった。RTとUTにおける3群間の比較では殆ど差を認めなかったことから、SCDでも基本的な運動動作は維持されていると考えられる(図7)。しかし、SCD群のpeak Hzの分散は大きかったことから、中枢性運動制御に何等かの変容が生じていることが考えられた。

5) 利き手の特性⁹⁾

EMG-RTを利用した利き手の研究は少なく、利き手が非利き手より短縮、両者間で差を認めないという報告があり、一致した結論がみられないため検討した。対象は健常老年者10例(67±3歳)と青年者10例(21±1歳)であった。課題運動は0.2Hzの規則刺激で行わせた。

図8: 利き手と非利き手における筋電図反応時間の実測値

図9: 上肢3点上下運動における開, 閉眼条件の比較

結果:RTは青年群が利き手、非利き手とも約230ms、老年群が約280msであり、両群とも利き手と非利き手間に差を認めなかった(図8)。PMTは青年群で利き手が非利き手より約20ms短縮したが、老年群では非利き手が約25ms短縮する傾向がみられた。MTは老年群が青年群より有意に延長し、利き手と非利き手の比較では両群とも差を認めなかった。老年群ではPMTが非利き手よりも利き手で延長する傾向がみられたが、0.2Hzという規則的な刺激に対する予測の効果、課題に対する注意の集中及び主働作筋における運動準備状態の低下によるものと考えられる。一方、老年者にみられたMTの延長は、加齢にともなう上肢の近位部に筋萎縮が生じるために上肢の重みに対する筋張力発生が低下したためと考えられる。

6) 視覚入力の有無による筋電図反応時間の変化

PSにおけるakinesiaの捉え方として運動命令の伝達障害、運動学習障害、運動プログラミングの障害などが考えられている。本症の運動障害では動作開始までの反応時間は不変か軽度延長であるのに対して、運動を遂行するために必要な筋収縮のbuild-upに遅延がみられるという報告が多い^{17,18)}。また本症の運動開始障害が視覚性代償によってかなり改善され得るため、理学療法の分野でも床梯子、L字杖による歩行訓練として視覚の手がかりを利用している。そこで、本症ではballistic運動開始時にも視覚入力に依存しているかをEMG-RTから検討した。

対象は健常青年者10例(21±1歳)、老年者10例(66±4歳)、SCD10例(58±6歳)、PS8例(64±5歳)であった。電気刺激は不規則刺激(0.2Hz未満)で与え、予め開眼で10回練習した後に開眼、閉眼の2条件で行った。

結果:RTは健常群、SCD群で視覚情報の有無に関わらず殆ど差がみられなかった。PS群では閉眼が開眼より約32ms延長したが、標準偏

差も大きかった。PMTは閉眼が開眼よりPS群が約41ms、SCDが約31msの遅延がみられた。MTは健常群、PS群とも110-120msであったが、SCD群が180-200msと他の3群より延長していた(図9)。PS群における閉眼時のRT延長はPMTの延長に起因していることから、視覚情報が運動発現に大きな役割を果たしていることが推測される。またSCD群のMT延長は前述した主働筋の筋張力発生率の低下が推測された。

IV. 今後の課題

我々は上肢における課題運動時の主働筋の筋電図と運動軌跡の解析から随意運動を統御する小脳と大脳基底核の機能差を検討してきた。PSでは刺激条件におけるRT、全所要時間に殆ど差がなかったことから、運動条件が異なっても一定の筋出力でしか応じれないパターン化した運動で対応していると考えられる。またSCDでは筋緊張及び筋力の低下と随意運動に關与する筋群の相反性同期性収縮の障害による運動速度の低下や末梢からの知覚情報を補正するフィードバック制御機構の障害が推測された。

今後は合図に対する予測効果を運動開始時の筋電図周波数分析および運動準備状態を運動単位の活動様態から検索する予定である。

V. 文 献

- 1) Weiss, A.D.: The locus of reaction time change with set, motivation and age. *J. Gerontol.* 20:60-64, 1965.
- 2) 中村隆一: 筋電図反応時間による運動発現の検討, 臨床脳波 30: 566-572, 1988.
- 3) 大山正: 反応時間研究の歴史と現状, 人間工学 21:57-64, 1985.
- 4) 佐直信彦・他: 他動運動の反応時間への影響, 臨床脳波 31: 285-288, 1989.
- 5) Evarts E.V., et al.: Reaction time in Parkinson's disease. *Brain* 104:167-186, 1981.
- 6) Yokochi F., et al.: Reaction time of patients with Parkinson's disease, with reference to asymmetry of neurological signs. *J. Neur. Neurol. Psych.* 48:702-705, 1985.
- 7) 横地房子・他: 基底核と精神運動機能ーパーキンソン病患者における反応時間研究をとおしてー, 神経進歩 30: 841-846, 1986.
- 8) 洞口充: 手背屈動作反応時間に対する同時足背屈動作の影響, リハ医学 21: 95-99, 1984.
- 9) 岩月宏泰・他: 加齢による手の反応時間の変化, 運動生理 5: 65-70, 1990.
- 10) Iwatsuki, H. & Muroga, T.: Analysis of component times in the stereotyped movements of upper extremities by regular and random signals. *J. Phys. Ther. Sci.*, 3:13-18, 1991.
- 11) Tsuji I., et al.: The altered time course of tension development during the initiation of fast movement in hemiplegic patients. *Tohoku J. exp. Med.* 151:137-143, 1987.
- 12) 室賀辰夫・他: 上肢三点上下随意運動過程での左右差, 厚生省特定疾患・運動失調症調査研究班, 昭和61年度研究報告 p. 80-86.
- 13) 岩月宏泰・他: 上肢随意運動における刺激頻度と時間的コンポーネントの関係, 運動生理 2:67-70, 1987.
- 14) 岩月宏泰・他: パーキンソニズムにおける接触板移動運動の時間的解析, 理学療法学 16: 297-302, 1989.
- 15) 岩月宏泰・他: 上肢随意運動遂行過程の解析ー小脳障害者と健常者の比較ー, 理学療法学 15: 409-414, 1988.
- 16) 室賀辰夫・他: 上下と3点の上肢運動時の筋放電の周波数解析, 厚生省特定疾患・運動失調症研究班, 昭和63年度研究報告 p. 104-108.
- 17) Evarts E.V., et al.: Behavioral correlates of activity in basal ganglia neurons. *Trends in Neurosci* 7:447-453, 1984.
- 18) 中野知幸・他: パーキンソニズムの姿勢保持障害について, 臨床神経 20:924, 932, 1984.