

DESCRIPTIVE INVESTIGATION

同一筋収縮方向の違いによる運動誘発電位の変化

矢作 晋* 笠井 達哉** 加藤 荘志**

Effects of Voluntary Motor Command on Motor Evoked Potentials (MEPs) of Multifunction Muscle

Susumu YAHAGI*, Tatsuya KASAI**
and Takashi KATO*** Department of Sports Sciences,
Hiroshima Shudo University** Division of Sports & Health Sciences,
Graduate School for International Development
and Cooperation, Hiroshima University

Abstract

Using the technique of transcranial magnetic stimulation motor evoked potentials (MEPs) were studied in the first dorsal interosseous (FDI) muscle of human subject. The question was asked how the central nervous system control a multifunction muscle for performing the aimed voluntary movement. Main findings are followings: 1) differences of MEP amplitude were observed among different directions of finger movement, 2) however, there were remarkable different FDI contributions to performing their movements, 3) then, while we retested them by control the background EMG discharge, MEP amplitudes were dependent on amount of targeted muscle activity, 4) under a certain condition there were significant differences of MEP amplitude between flexion and abduction of index finger. Taken together, present results confirmed the former principle suggested by *Desmedt and Godaux* (1981), i.e., the active excitatory synapses for flexion commands are

larger distributed throughout the same motoneuron pool than those of abduction. Therefore, MEPs might be reflected on synaptic connectivities of voluntary motor commands in motoneuron pool.

1. はじめに

ヒトにおいて、疼痛や不快感を伴わずに経皮的に大脳皮質を刺激することができる経頭蓋的磁気刺激法 (Transcranial Magnetic Stimulation: TMS) が開発され³⁾、日本においても多くの報告がなされるようになった^{1, 2, 10, 12, 14, 25, 26)}。この方法は、ヒトの随意運動の中枢神経機能の解析を行う上で極めて有用性の高い方法であることが指摘されている^{4, 7, 9, 11, 19)}。具体的には、随意筋収縮中に磁気刺激を与えて運動誘発電位 (Motor Evoked Potential: MEP) を記録し、その時の随意筋収縮の行われ方 (筋収縮量やその方向および運動単位の動員様式など) の違いに対して、MEP がどのように変化するかを手がかりに解析が行われる。今までの報告から、MEP は、磁気刺激強度を上げると潜時が短縮し、振幅値も増大することがわかっている。また、安静時に比べて、随意筋収縮時でも MEP 潜時は短縮し、振幅値も増大する^{9, 20)}。

一方、随意筋収縮の機能解析の指標として、運動単位 (Motor Unit: MU) がよく使われてきた。運動単位を使った研究では、随意筋収縮力の調節は、運動単位の動員様式と動員される運動単位の発射頻度の変化として記録され、これらの変化を手がかりに随意筋収縮の中枢メカニズムが解析されてきた^{5, 16, 17)}。これらの報告の中で、同じ筋であっても筋収縮の方向が異なれば、運動単位の動員様式とその発射頻度

* 広島修道大学スポーツ科学研究室
** 広島大学大学院国際協力研究科

受付 平成 8 年 5 月 7 日
受諾 平成 9 年 1 月 20 日

が異なることが報告されている^{15, 18, 21, 22)}。これは、同じ筋であっても発揮される随意運動の違い(その筋のかかり方の違い)に対応して、脳は異なった運動指令を送っていることを意味している。そこで、このような運動単位の研究で報告されてきた事実が、TMSによって記録されるMEPに反映されるものなのかどうかについて検討した。特に本報告では、示指(人差し指)の外転と屈曲の両運動にかかわる第1背側骨間筋の例について解析した^{23, 24)}。

2. 方 法

被験者は健康な成人男子6名で、実験の目的と手続きを十分に説明し同意を得て行った。

被験者を実験用椅子に楽な姿勢で座らせた。MEPは、磁気刺激装置(Magnetic Stimulator: MAGSTIM社製、MAGSTIM-200)を用い、円形の磁気刺激コイルを国際脳波記録法(10-20法)に基づいて、頭頂部左側の上肢支配領野が刺激される位置に置いた。そして、目的とする筋から最も低い刺激強度(閾値; Threshold Value)でMEPが記録される刺激場所を捜した。なお、刺激閾値の同定は、その刺激強度により50%の確率でMEPが出現することで決定した。

MEPを記録した筋は、第1背側骨間筋(first dorsal interosseus: FDI)および前腕の橈側手根屈筋(flexor carpi radialis: FCR)と橈側手根伸筋(extensor carpi radialis: ECR)であった。FDIは、示指の外転、屈曲および母指の内転運動に関与する筋である。そこで筋収縮課題は、示指の等尺性外転と屈曲運動および母指の等尺性内転運動を行わせた。まず初めに、全ての条件下での筋出力量を、示指の等尺性屈曲運動時の最大随意収縮量(Maximal Voluntary Contraction: MVC)を計測し、その10%を全条件下の筋収縮量として用いた。この筋出力量下で、磁気刺激強度を段階的に上げてMEPを記録した。次に、磁気刺激強度を一定にして、筋収縮力を5~30%MVCに段階的に増大させた時のMEPを記録した。この時の磁気刺激強度は、刺激閾値の1.1~1.2倍の強さをを用いた。さらに、随意筋収縮力を3段階(外転、屈曲運動時の5、15、30%MVC)に変化させ、また磁気刺激強度も3段階(それぞれのMEP閾値の1.0、1.2、1.4倍の強さ)に変えて、示指の外転、屈曲運動を行わせ、MEPを記録した。

MEPの記録回数は、それぞれの条件下で3~5回であった。MEPは生体増幅器(日本光電社製:

AB-620G)で時定数0.03秒で増幅した後、5KHzでA/D変換してコンピュータに取り込み、ハードディスクに記録した。そして実験終了後、MEP波形の振幅値を計測した(図1参照)。

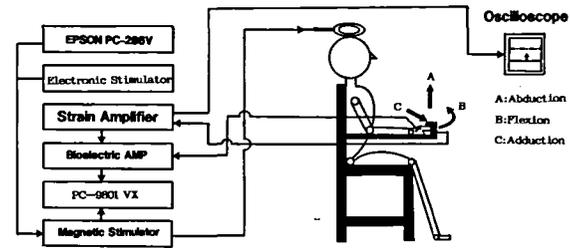


図1 実験の模式図

3. 結 果

a. 随意筋収縮力を一定にし、磁気刺激強度を段階的に上げたときの筋収縮方向の違いによるMEPの変化

図2は、一人の被験者の10%MVCで示指の外転、屈曲および母指の内転運動時の筋収縮課題を行わせ、磁気刺激強度を段階的に上げた時と、安静時のFDIから得られたMEPの記録例(A)と、その被験者のMEP振幅値の結果をプロット(B)して示した。図2Aの左側から順に示指の外転、屈曲、母指の内転、そして安静時のMEP記録を示している。この結果より、MEP発現の閾値(図中の▲印)は示指の外転、屈曲時、そして親指の内転時、続いて安静時の順で低かった。次に、MEPの波形の変化(図中の↑印)は、磁気刺激の強度が80%以上になると振幅が飽和状態に達し、波形が多相化した。すなわち、MEPの振幅値は、磁気刺激強度がある一定の強度以上になるとその強度に必ずしも依存しない変化を示した。図2Bは、上記の被験者の振幅値の結果を磁気刺激強度ごとにプロットしたものである。この結果、外転、屈曲の筋収縮課題においては、磁気刺激強度が70%を越えると前述の通り振幅値の増大は認められず、ほぼ一定の値となった。また、同じ筋の収縮方向の違いによる振幅値の発達曲線については、示指の外転および屈曲と母指の内転という使われる指の違いに対しては、FDIのMEPは明らかな発達曲線の違いを示したが、同じ指(示指の外転と屈曲)での筋収縮方向の違いに対しては、明確な発達曲線の違いは示さなかった(図2Bの○印

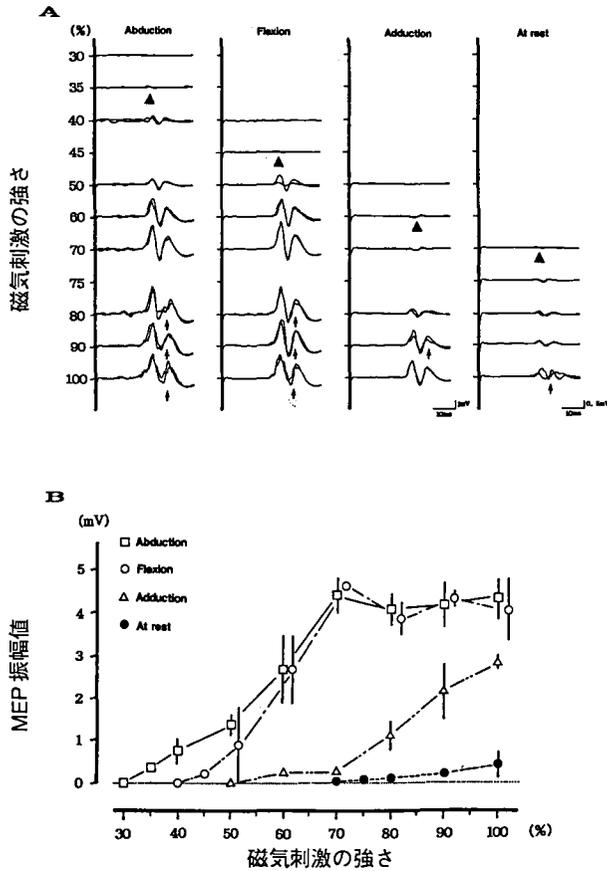


図2 ある被験者の随意筋収縮力を一定にした時の筋収縮方向の違いによる MEP の変化。A は実際の記録例で、左から順に示指の外転、屈曲運動、母指の内転運動と安静時の MEP を示している。図の▲印は、それぞれの運動課題における閾値を示し、↑印は MEP 波形の多様性を示している。B はこの被験者の MEP 振幅値の結果をプロットしたものである。□印は示指の外転運動、○印は示指の屈曲運動、△印は母指の内転運動、●印は安静時の MEP 振幅値の結果である。縦軸は MEP 振幅値を示し、横軸は磁気刺激強度を示す。

と□印の発達曲線)。これらの結果は、調べられた全被験者間で同様であった。

図3は、図2Aの結果にしたがって、示指の外転運動時の等尺性最大随意収縮量の5%の力発揮を行なった時の、各条件下で記録した被験者5名の平均 MEP 閾値を示したものである。図左側の棒グラフから順に示指の外転、屈曲、母指の内転運動および安静時の平均 MEP 閾値を示している。この結果、全ての条件下において有意な差が認められた (Abduction vs Flexion: $df = 4, t = 3.130, p < 0.05$, Flexion vs Adduction: $df = 4, t = 4.385, p < 0.05$, Adduction vs At rest: $df = 4, t = 7.378, p < 0.01$)。

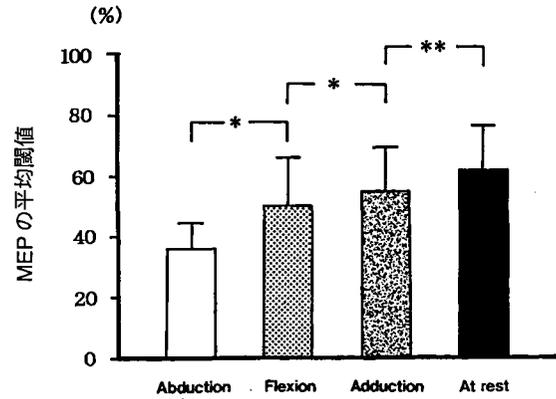


図3 随意筋収縮力を一定にした時の各運動課題における5名の被験者の MEP 平均閾値の比較。左側から示指の外転、屈曲運動、母指の内転運動、安静時の平均閾値を示す。
* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

この結果は、図2の結果と同様、同一筋における随意筋収縮の方向の違いは、経頭蓋的磁気刺激により記録される MEP の閾値の違いとして反映されることを示していた。しかし、一定の量の随意筋収縮を行っている条件下で MEP 閾値を調べることは、同じ筋であっても、筋収縮の方向の違いによって、発揮される筋収縮力へのかかわり方が違っていることが考えられる。そこで、FDI の筋放電量を一定にして示指の外転、屈曲運動を行わせ MEP を記録したのが図4の結果である。この結果、前述の閾値の差は消失した(図中の▲印)。このことは、FDI の筋収縮方向の違いが MEP の閾値に反映されるのではなく、その筋収縮に伴って生じた FDI の筋放電量の違いを反映していた。

b. 磁気刺激強度を一定にし、随意筋収縮力を段階的に増大させたときの筋収縮方向の違いによる MEP の変化

図5Aは、一人の被験者の二つの筋収縮条件下(示指の外転、屈曲運動)で磁気刺激強度を閾値の1.2倍の強さで与え、5~30% MVC の範囲で段階的に等尺性筋収縮力を増大させたときの FDI から得られた MEP の平均振幅値をプロットしたものである。また、下段の B は、別の被験者の結果を示したものである。この結果、随意筋収縮力の強さに依存して MEP の振幅値は増大していた。しかし、随意筋収縮の強さが強くなると逆に振幅値が低下する被験者も見られた。さらに、同一筋における筋収縮方向の違いによる MEP 振幅値の変化も被験者により異なる

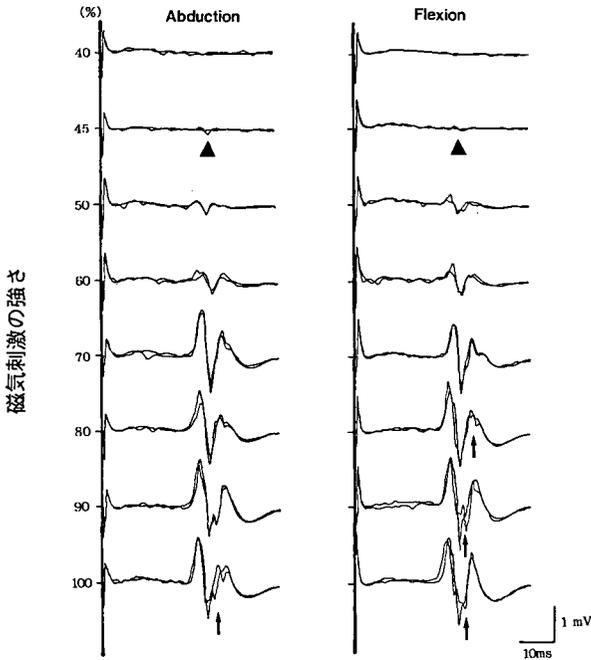


図4 示指の外転運動時と屈曲運動時の筋放電量を一定にして閾値を求め、段階的に磁気刺激強度を上げた時のMEP振幅値の実際の記録例。▲印は外転運動時と内転運動時の閾値を示す。また、↑印はMEP波形の多様性を示す。縦軸の数値(最大100%)はMEPの刺激強度を示す。

っており、一定の傾向は認められなかった。これらのMEP振幅値の変化は、筋収縮力の増大に依存せず、また筋収縮の方向の違いも正確には反映しないことを示していた。この結果は、運動単位を使って調べられてきた今までの報告と矛盾していた。そこでその原因について検討したのが、図6の結果である。図6のAは、示指の等尺性屈曲運動をゆっくりと増大させたときの筋電図の記録を示したものである。Bは、最大の等尺性屈曲運動の結果である。図6のCとDは、示指の外転運動時の結果を示したものである。この結果、示指の屈曲運動の筋収縮においては、筋収縮の強さに依存してFDIの筋放電の増加が認められた(図中AとBの△印)。しかし、外転運動においては、FDIを多用する場合(図中Cの▲印)と前腕のECRを主に用い、FDIはほとんど用いないで筋力発揮をおこなう場合(図中Dの▲印)とがあり、その時々で筋力発揮に関する筋の用い方は一様ではないことがわかった。この結果は、示指の外転運動時における随意筋収縮力にかかわるFDIや前腕筋の関与の仕方が一定ではなく、被験者間で多様であることを示していた。

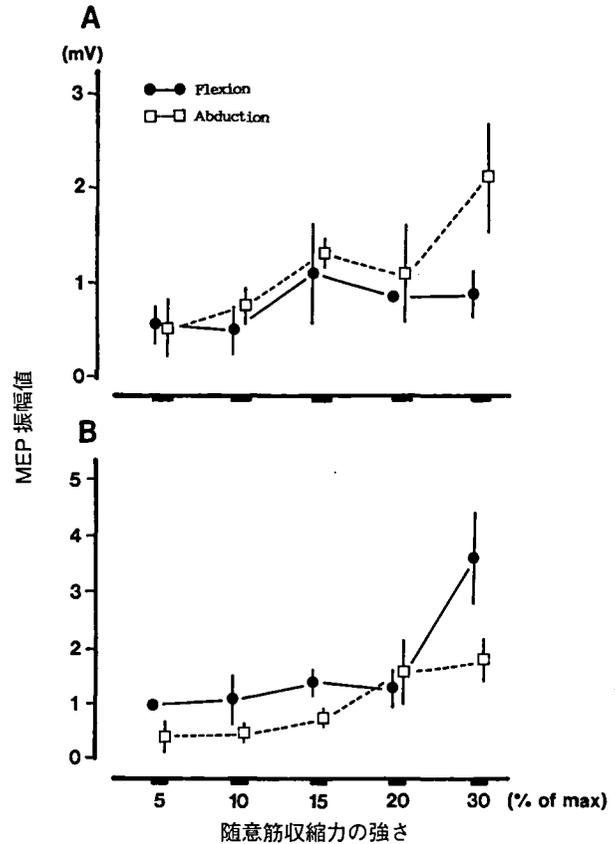


図5 磁気刺激を一定にして随意筋収縮力を段階的に増大させた時のMEP振幅値の変化。Aはある被験者の示指の外転運動と内転運動の変化を示し、Bは別な被験者の結果を示す。□印は示指の外転運動、●印は屈曲運動の結果を示す。

c. 同一筋の筋収縮方向の違いによるMEPの変化
運動単位を使った報告では、同じ筋であってもその筋の収縮方向が異なると動員される運動単位は明らかに異なると報告されている^{6,15)}。それでは、同じ筋の運動細胞群の興奮性を反映したMEPには本当に筋収縮方向の違いによる興奮性の違いは反映されないのだろうか。この点を再検討した結果が図7である。図7の結果は、示指の外転、屈曲運動時のそれぞれの最大随意収縮量の5%の強さでMEP閾値を求め、筋収縮力を5、15、30% MVCに増大させた時の3名の被験者のMEPの変化をプロットしたものである。左側から順にそれぞれの刺激閾値の1.0、1.1、1.2倍の強さで磁気刺激を与えた時の結果である。この結果、2名の被験者においては(図中のAとB)、適切な刺激強度と筋収縮力を用いた場合に屈曲の筋収縮の方が外転の筋収縮に比べ

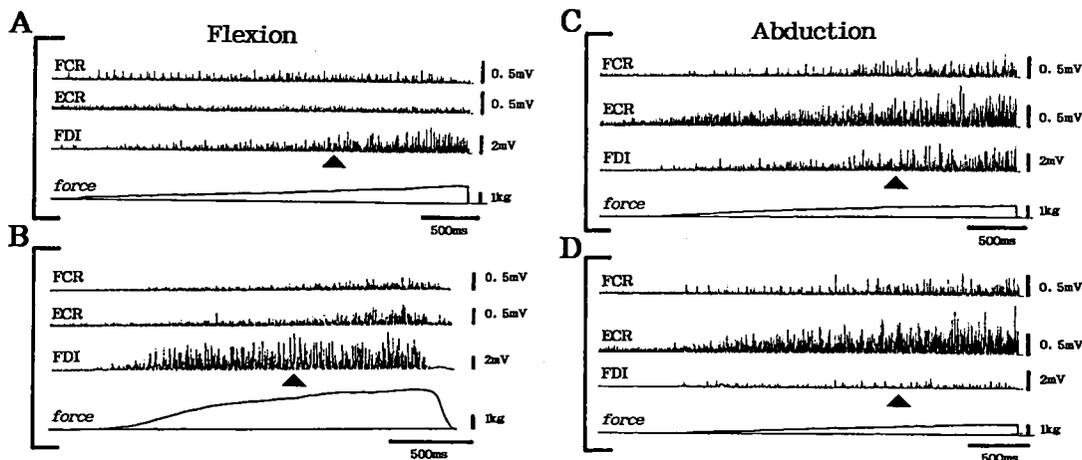


図6 示指の等尺性屈曲と外転運動を行かせた時の筋電図の記録例。Aは等尺性屈曲運動をゆっくり増大させた時の結果を示し、Bは等尺性最大屈曲運動を行かせた時の結果を示す。どちらも筋放電の起こり方に違いがないことを示す(△印)。CおよびDは同じ等尺性外転運動であるにもかかわらず、FDIの筋放電量に明かな違いがあることを示す(▲印)。

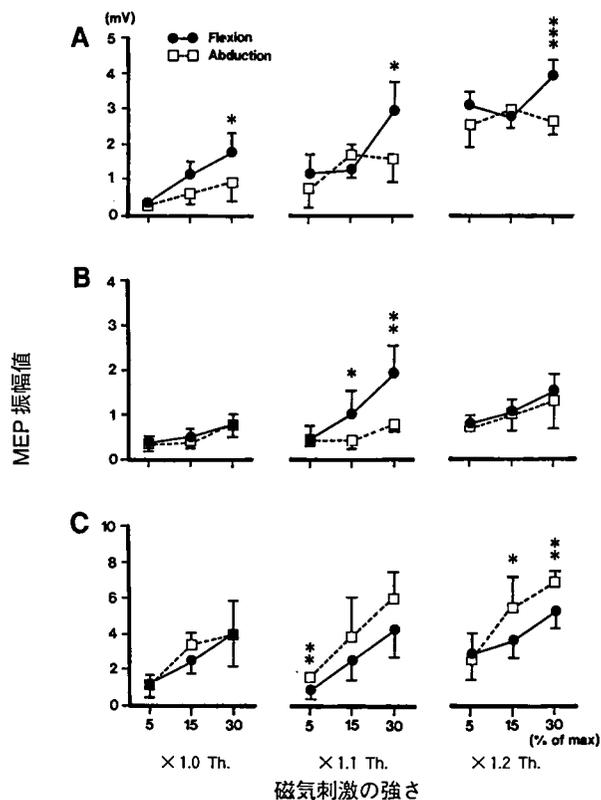


図7 示指の外転、屈曲運動で最大随意筋収縮量の5%の強さでMEP閾値(Th.)を決定し、磁気刺激強度を3段階の強さで与え、随意筋収縮力を増大した時のMEP振幅値の変化。A, B, Cはそれぞれ異なった被験者の結果を示す。□印は示指の外転運動の結果であり、●印は屈曲運動の結果を示す。縦軸はMEP振幅値を示し、横軸はそれぞれの運動課題における最大随意筋収縮の割合と磁気刺激の強さ(左側から刺激閾値の1.0, 1.1, 1.2倍の強さ)を示す。
*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$

MEPの発達曲線は有意に増大していた。しかし、もう1名の被験者においては(図中のC)、この違いは認められず、逆に外転の筋収縮時に増大する傾向を示した。この原因は、先の図6の筋電図の結果から、異なる筋収縮方向の筋力発揮においては、その両方向の筋収縮に關与するFDIの關与の仕方が個人によって異なり、また、一試行毎でもFDIの關与の仕方が異なっていることが考えられた。

4. 考 察

二方向の關節運動に参加する運動単位の発射調節に關する報告では、中枢から脊髄運動ニューロン・プールへの発射調節は異なるとされている^{6,15,18,23,24}。しかし、その制御機構の詳細は未だ明らかではないが、その時の筋収縮の役割の違いに相応した中枢からの運動指令に対して、運動細胞群が適切に応答する機構の存在が考えられている。そこで、経頭蓋的磁気刺激によって誘発されるMEPに、それがどのように反映されるかについて検討した。その結果、一定の随意筋収縮力を行わせ、磁気刺激強度を段階的に増大させた場合、同じ筋が關与する異なる指での随意筋収縮方向の違い(示指の外転および屈曲運動と母指の内転運動)によるMEPの振幅値の発達曲線には違いが認められた。しかし、同じ指での随意筋収縮方向の違い(示指の外転と屈曲運動)には違いは認められなかった。また、一定の随意筋収縮を行わせてMEP閾値を比較すると、どの被験者においても示指の外転、屈曲運動、母指の内転運動の順に

閾値が有意に低くなり、随意筋収縮方向の違いは MEP 閾値の違いとして反映される結果を得た。しかし、この結果は、筋収縮方向の違いにかかわらず一定の等尺性筋収縮を行わせたことにより、目的とする筋の筋放電量が筋収縮方向の違いによって異なっていることが考えられた。そこで、筋収縮課題を示指の外転、屈曲運動に限り、筋放電量を一定にして MEP 閾値の違いについて検討した。その結果、MEP 閾値の差は消失し、筋収縮方向の違いによる MEP 閾値の違いは、筋収縮に伴って生じた筋放電量の違いを反映していたと解釈された。

また、随意筋収縮力を一定にして磁気刺激の強度だけを変化させると、ある一定の刺激強度から MEP 振幅値は増大せず、波形も多相性を示した。この結果は、磁気刺激強度を強くすることは、多様な下行性信号を生じさせるために、結果として MEP 振幅値の飽和や減少を引き起こし複雑で多相な波形を形成することになり、目的とする中枢の運動制御過程の変化を反映しなくなることが確認された。この事実は、経頭蓋的磁気刺激法により誘発される MEP と脊髄運動ニューロン・プールの興奮性の指標である H 反射を記録し、比較検討した矢作らの報告²⁸⁾と同様の結果であり、頭皮表面への強い磁気刺激は広範囲の皮質運動野を興奮させ、多様な MEP 振幅値の変化として現われるものと考えられた。

次に、示指の外転、屈曲運動時に磁気刺激強度を一定にして、随意筋収縮力を増大させ MEP 振幅値の発達曲線を検討した結果、被験者により異なっており、筋収縮方向の違いによる MEP 振幅値の変化は認められなかった。これは、運動単位の研究で報告されている筋収縮方向の違いを、MEP の振幅値の変化で検討することは困難なことを示唆していた。しかし、この結果は、それぞれの筋収縮課題で協同筋(特に、前腕筋)のかかわり方に違いがあり、その結果として筋力発揮の仕方が異なってくることが考えられた。そこで、同一筋の二つの異なる筋収縮方向(示指の外転、屈曲運動)の筋放電パターンを比較すると、それらの筋放電パターンが異なっていた。特に、示指の外転運動においては、前腕筋の関与が強く、また、一試行毎に筋の関与の仕方を変えて目的の筋力発揮を行っている事実が観察された。このことは、ヒトを対象に経頭蓋的磁気刺激法を用いて実験を行う場合には、実験条件が本当に中枢性の制御機構を正しく反映しているかどうかを十分吟

味することが極めて重要であることを示唆していた。そこで、二つの筋収縮方向(外転と屈曲)に相応した MEP の閾値を独自に求め、それを基準に刺激強度と筋出力量を変化させた時の MEP の応答性を調べた。その結果、磁気刺激強度と筋収縮力の違いに対して、示指の外転と屈曲運動の違いに相応した MEP 振幅値の違いが認められた。この結果は、Desmedt ら⁶⁾が運動単位を使って調べた結果とよく対応していた。すなわち、中枢から脊髄運動ニューロン・プールへのシナプス結合は、同じ脊髄運動ニューロン・プールであってもその筋の収縮方向の違いに相応して、いかえれば、中枢からの運動指令の違いに相応して、駆動される運動単位の量が多様に変化するということである。機能的には、このような神経生理学的メカニズムの存在があって、指の多様な随意運動の遂行が保障されていると考えられる。そして、このようなメカニズムの働きは、MEP の振幅値の変化として反映されることが示唆された。

5. まとめ

経頭蓋的磁気刺激法を用いて異なる方向の筋収縮に関与する第1背側骨間筋から記録された MEP の変化から、筋収縮方向の違いを脳はどのようにコントロールし、それが MEP にどのように反映されるかについて検討した結果、以下のことがわかった。

- ①随意筋収縮力を一定にし、磁気刺激強度のみを段階的に上げた結果得られた筋収縮方向の違いによる MEP 振幅値の変化は、異なる指(示指の外転および屈曲と母指の内転運動)において違いが認められた。しかし、同じ指(示指の外転と屈曲運動)においては明確な差異は認められなかった。
- ②磁気刺激強度を一定にして、随意筋収縮力を段階的に増大させた場合、筋収縮方向の違いは MEP 振幅値には反映されなかった。この結果は、筋収縮方向の違いにより他の協同筋(前腕筋)のかかわり方が被験者により異なっており、MEP の振幅値に反映されなかったと解釈された。
- ③適切な随意筋収縮力や磁気刺激強度を用いて、筋収縮方向の違いが MEP に及ぼす効果をさらに検討した結果、示指の屈曲運動時の MEP の方が外転運動時のそれに比べて振幅値は増大し

た。この結果は、Desmedtら⁶⁾が報告した中枢から脊髄運動ニューロン・プールへのシナプス結合の違いをよく反映する結果であった。

文 献

- 1) 青木久ほか: 動作前筋放電休止期における運動誘発電位の減少について. 脳波と筋電図, 22: 289-298, 1994.
- 2) 青木久ほか: 随意筋収縮による MEPs 振幅変動の検討. 臨床脳波, 37: 107-112, 1995.
- 3) Barker, A. T., et al.: Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. Lancet, ii: 1106-1107, 1985.
- 4) Brouwer, B., et al.: Excitability of corticospinal neurons during tonic muscle contractions in man. Exp. Brain Res., 74: 649-652, 1989.
- 5) DeLuca, C. J., et al.: Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. J. Physiol., 329: 129-142, 1982.
- 6) Desmedt, J. E. and Godaux E.: Spinal motoneuron recruitment in man: Rank deordering with direction but not with speed of voluntary movement. Science, 214: 933-936, 1981.
- 7) Day, B. L., et al.: Electric and magnetic stimulation of human motor cortex: Surface EMG and single motor unit responses. J. Physiol., 412: 449-473, 1989.
- 8) Jongen, H. A. H., et al.: Activation of human arm muscles during flexion/extension and supination/pronation tasks: a theory on muscle coordination. Biol. Cybern., 61: 1-9, 1989.
- 9) 笠井達哉: 脳は下行性運動指令をどのようにコントロールしているか - MEP による解析 - . Jpn. J. Sports Sci., 8: 876-884, 1989.
- 10) 笠井達哉: 経皮の脳皮質刺激法による手首関節の随意筋収縮に伴う主動筋促進と拮抗筋抑制の検討. 広島大学総合科学部紀要VI, 9: 17-24, 1991.
- 11) Kasai, T., et al.: Afferent conditioning of motor evoked potentials following transcranial magnetic stimulation of motor cortex in normal subjects. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 85: 95-101, 1992.
- 12) 小島康祐ほか: 経頭蓋磁気刺激後の silent period の検討. 臨床脳波, 37: 444-448, 1995.
- 13) Loeb, G. E.: Motoneuron task groups: coping with kinematic heterogeneity. J. Exp. Biol., 115: 137-146, 1985.
- 14) 眞野行生: 磁気刺激による運動野のニューロン機構 - 運動野における磁気刺激の作用部位検討 - . 臨床脳波, 36: 494-497, 1994.
- 15) 正門由久: 運動単位の発射様式に関する基礎的研究 - 単一運動単位と複合運動との比較 - . リハビリテーション医学, 28: 703-712, 1991.
- 16) 正門由久: 運動単位の発射調節. 臨床脳波, 35: 717-723, 1993.
- 17) Milner-Brown, H. S., et al.: The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions. J. Physiol., 230: 359-370, 1973.
- 18) Person, R. S.: Rhythmic activity of a group of human motoneurons during voluntary contraction of a muscle. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 36: 585-595, 1974.
- 19) Rothwell, J. C., et al.: Motor cortex stimulation in intact man: 1. General characteristics of EMG responses in different muscles. Brain, 110: 1173-1190, 1987.
- 20) Rothwell, J. C.: Stimulation of the human motor cortex through the scalp. Exp. Physiol., 76: 159-200, 1991.
- 21) Tax, A. A. H., et al.: Differences in central control of m.biceps brachii in movement task and force tasks. Exp. Brain Res., 79: 138-142, 1990.
- 22) Tax, A. A. H., et al.: Differences in coordination of elbow flexor muscles in force tasks and in movement tasks. Exp. Brain Res., 81: 567-572, 1990.
- 23) Thomas, C. K., et al.: Motor-unit recruitment in human first dorsal interosseous muscle for static contractions in three different directions. J. Neurophysiol., 55: 1017-1029, 1986.
- 24) Thomas, C. K., et al.: Human motor-unit recruitment during isometric contractions and repeated dynamic movement. J. Neurophysiol., 57: 311-324, 1987.
- 25) 宇川義一, 花鳥律子: 運動系刺激法. 神経研究の進歩, 28: 214-224, 1994.
- 26) 宇川義一: 大脳・脊髄刺激法. 脳と神経, 43: 1017-1023, 1991.
- 27) 宇川義一: 大脳皮質磁気刺激法. 神経科学レビュー, 6: 116-132, 1992.
- 28) 矢作晋ほか: 経頭蓋的磁気刺激による運動誘発電位の評価. 第12回日本バイオメカニクス学会大会論集(生体・運動のシステム), 210-214, 1995.