捕球動作時の手首の屈筋に見られる反射性筋放電

所属学科目　体力学

著者名　柳原　大

論文指導教員　石田　絢子

合格年月日　昭和63年2月18日

論文審査委員　青木純一郎
星川喜[illegible]
星野公夫

目次

	頁
第1章 緒言	1
第2章 関連文献の考証	6
第1節 伸張反射について	6
第2節 M2を皮質経由の反射として考察した文献	8
第3節 M2生成の起因を末梢の機構に求める文献	13
第4節 伸張反射の機能的意義に関する文献	16
第5節 伸張反射と学習	19
第6節 誘発筋電図について	23
(1) H反射の基本的な性質について	23
(2) H反射を利用して行われた研究に関する文献	25
第3章 実験方法	31
第1節 被験者	31
第2節 実験手順	31

(順天堂大学用箋)

第3節　ボール落下装置及び捕球動作の記録 33
(1)ボール落下装置 33
(2)捕球動作の記録 33
第4節　筋電図の記録 35
第5節　分析方法 36
(1)捕球動作時の筋電図の分析 36
(2)捕球動作時の手首の動きの分析 39
第6節　誘発筋電図 39
(1)H反射の誘発及び記録方法 39
(2)H反射の同定及び分析方法 42
第4章　実験結果 45
第1節　捕球動作時に出現した反射性筋放電(M1、M2)について 45
第2節　反復経験によるM1、M2の変動 45
第3節　M1、M2の変動と脊髄のα運動ニューロンプールの興奮 48

性との関係

第4節 M1、M2の出現及び変動と 49

手首の動き(手首の伸展角度

、最高伸展速度)との関係

第5章 考察 54

第1節 捕球動作時に出現した反射性 55

筋放電について

第2節 反復経験によるM1、M2の 59

変動について

(1)M1について 60

(2)M2について 62

第3節 視覚情報を遮断した時の反射 65

性筋放電について

第6章 結論 68

第7章 要約 69

謝辞 72

引用文献 73

欧文要約 84

第1章　緒言

骨格筋が急速に受動的に伸張されると、一定の潜時の後、その筋は収縮する。これは伸張反射として知られている[3)4)41)44)]。その際、筋電図を記録すると、短い潜時で筋放電活動が認められることも既によく知られている[16)17)18)33)34)67)]。

反射運動と随意運動とは一般によく比較される。反射運動とは生体の内外から加えられる刺激に対して固定的な活動パターンで応じるもの、一方、随意運動とはそれ以外の筋運動と言うべきもので、1）刺激に対して固定しない活動パターンで応じる運動、または2）刺激がなくても起こる運動であると久保田（1984）[40)]によって説明されている。

この固定的な活動パターンのみを有すると考えられていた反射運動の代表例と言うべき伸張反射でさえ適応性ある変化を示すことが、最近1980年以降においてWolpaw及びその共同研究者ら[65-71)]によって報告されている。彼らは、外乱によって引き起こされた伸張反射の電位

の大きさが、初期の値より大きくなるか、あるいは小さくなるかした時報酬を与えるという課題をサルを対象にして毎日3000－6000回課したところ、サルがその伸張反射の大きさを漸進的に変化させ得ることを観察した。この結果から、彼らは、サルで伸張反射の大きさをオペラント条件づけし得ることを示唆している。

Leeと Tatton（1975）[42]は、ヒト及びサルでハンドルを握った手首が外力によって受動的に伸展された際に、それに拮抗してできる限り素早く手首を曲げる動作を行わせた時の筋電図を平均加算した電位波形には、三つのpeakがあることを報告している。これらのpeakは潜時の短い順にM1、M2、M3と命名され、これらの起源について、彼らは、M1は脊髄における単シナプス性の伸張反射、M2は大脳皮質経由の反射、M3は随意性の補正運動によるものと提唱している。Colebatchら（1979）[9]、LeeとTatton（1975）[42]は、ヒトにおいて、

外力により上肢筋に伸張を加える際、“抵抗せよ（Resist）”あるいは“従え（Let go）”などの予告指示を与えた時、M2の大きさが修正されたということを報告している。

さらに、Christakosら（1983）[8]、Meyer-Lohmannら（1986）[51]は、肘の屈曲及び伸展を行っている最中にランダムに外乱を加えるという課題において長期間のトレーニングの影響を同一のサルで約4年間にわたり研究し、以下の結果を得た。つまりM2は次第に小となり、しまいには消失したが、一方M1はその大きさが次第に増大したことを示した。彼らはこの結果について、大人のサルの感覚ー運動系についての長期間にわたる可塑性を証明するものであると述べている。

上記のWolpawら、Christakosら、Meyer-Lohmannらの報告より、ある運動課題により反射性筋放電として生ずるM1及びM2の大きさは、ヒトの場合でもその課題を反復的に経験することによって変化するもので

あろうことを予想させる。しかし、従来の研究の結果はすべてサルの場合で、ヒトについての研究は見あたらない。さらにこれらの研究では、四肢の単関節の屈曲・伸展という極めて単純な動作を対象にしており、実験状況がかなり人為的であった。したがって、これらの研究の結果をそのままヒトが実際に行っている運動に適用して考えても良いのかという疑問が生ずる。

そこで、本研究では、その動作が随意的で自由な活動状況下にあり、また実際の運動形態になるべく近い動作での反射性筋放電についての検討を行いたいとの意図から、被験者に垂直落下してくるボールを捕球する運動動作を課した。そしてその際の手首の受動的な伸展による反射性筋放電について以下の点を主として検討した。捕球動作時に、M1及びM2に相当する反射性筋放電が見られるか、また、その動作を反復的に実行し、経験を積むことによってそれらの反射性筋放電の大き

さが変化するかの二点である。

第2章　関連文献の考証

第1節　伸張反射について

伸張反射は、筋を引き延ばすとその筋が収縮する一種の固有反射である。この反射は筋が引き伸ばされることにより、筋の伸張を適合刺激として筋紡錘が興奮し、この興奮が感覚ニューロンを経て脊髄に伝えられ、その感覚ニューロンと単シナプス性に結合しているα運動ニューロンを興奮させ、筋の収縮を引き起こすという機序で生じる。[41] 伸張反射に関する研究の始まりは古く、Sherrington[44]によって始められた。それらのうち筋電図を用いた研究では、短い潜時で筋放電活動が認められることが示された。[16][17][18][33][34][67]

LeeとTatton(1975)[42]は、ヒト及びサルでハンドルを握った手首が外力により受動的に伸展された際に、それに拮抗してできるだけ素早く手首を曲げる動作を行わせた時の筋電図を平均加算すると、その記録には三つのpeakが認められることを報告している。彼らによ

れば、ヒトの前腕の屈筋において、これらのpeakの潜時は、最初のものが、28－32msec、2番目のものが55－60msec、3番目のものが85－95msecであり、これらのpeakは潜時の短い順にM1、M2、M3と命名された。これらの起源について彼らは、M1は従来から知られていた脊髄における単シナプス性の伸張反射、M2は大脳皮質を経由するLong loop reflex、M3は随意性の補正運動によるものと提唱した。

現在までにM2に関する研究は、多くなされているが、その起源についての見解は必ずしも一致していない。それらの研究は、M2を大脳皮質経由の反射として考察した報告とM2が大脳皮質経由の経路を必要とせず、脊髄内機構で説明し得るとする報告に大別される。そこで前者の報告を後述の第2節で、後者の報告を後述の第3節で考証した。

第2節　M2を皮質経由の反射として考察した文献

M2が大脳皮質経由の反射として考えられた理由は以下のようなことである。

1）運動野ニューロンが外乱に対応して活動すること。[10][11][23][24][26]

M2が皮質経由の反射であるとすれば、その必要条件として筋紡錘からの情報が大脳皮質に達していなければならない。Phillipsら(1971)[56]は、サルを用いた動物実験で大脳皮質体性感覚野のニューロンに筋紡錘からの情報が達していることを示した。Evarts(1973)[23]，EvartsとFromm(1981)[24]，EvartsとTanji(1976)[26]は、大脳皮質運動野の錐体路ニューロンが筋の受動的な伸張により発射頻度の増加を示したと報告している。さらに、Conradら(1974)[10]，(1975)[11]は、運動野ニューロンが筋電図で観察されたM2に一定の時間差を持ってその発生に寄与するように先行して活動していたことを発見した。またこの際の運動野ニューロ

ンの活動は二つの成分（early response, late response）に分けられた。early responseはM2を、late responseはM3を引き起こすものと考えられた。またEvarts（1973）[13]は外乱から運動野の錐体路ニューロンの活動までの潜時と運動野の錐体路ニューロンの発火から筋活動電位が生じるまでの潜時を測定したところ、前者が25msec、後者が7msecでその合計が32msecとなり、M2の潜時（30－40msec）とほぼ等しいことを示した。

2）M2の潜時は、筋と大脳皮質間の距離によって変化し、その距離が長い下肢の筋で潜時が最も長いこと。[7][46]

Chanら（1979）[7]は、上腕二頭筋、大腿四頭筋、腓腹筋について、M2の潜時を調べ、上腕二頭筋においてもっとも潜時が短く、頭部より最も遠い腓腹筋で最も潜時が長いことを報告した。Marsdenら（1976）[46]は、顎の屈筋、前腕の長母指屈筋、下腿の長母趾屈筋について、M1とM2の潜時の差を中枢性の伝導時間と

して求めた。M2が大脳皮質経由の反射であるならば、中枢性の伝導距離、つまり大脳皮質とそれぞれの筋を支配する脊髄の運動ニューロンまでの距離が長い筋の方がこの時間は長くなるはずである。結果として長母趾屈筋でこの時間が最も長く、顎の筋で最も短いことが示された。

3) M2は動作の予告指示('Let go', 'Resist')によって影響を受け、その電位の大きさが変化したこと。[4)9)34)42)45)57)]

Hammond(1956)[34)], LeeとTatton(1975)[42)], Colebatchら(1979)[9)]は、ヒトで上肢の筋が外力により伸張される際、その外乱に対して"抵抗せよ(Resist)"あるいは"従え(Let go)"などの予告指示を被験者に与えた時、M1の大きさはほとんど変化しなかったが、M2の大きさが著しく変化したと報告している。これらの報告において、M2の大きさは被験者が"抵抗せよ"と指示された時に非常に大きくなり、"従え"と指示された時には、

何も指示されなかった時よりもやや小さくなったことを示している。つまり、M2の電位は大脳の活動の影響を受け、M1とは著しい差異があることが示された。

また Rothwell ら（1980）[57]は、長母指屈筋と上腕二頭筋を被験筋として予告指示の影響を調べたところ、その影響は上腕二頭筋においてはかなり大きかったが、長母指屈筋においては小さかったと報告し、予告指示の影響が被験筋によって異なることを示した。また彼らは、予告指示の提示とその後の外乱との時間間隔がランダムに変えられる時よりも一定である時、すなわち被験者が外乱のタイミングを予測できる時に予告指示の影響が大きかったことを報告している。

Evarts と Tanji（1974）[25]は、外乱に先行した予告指示によって外乱に対する反応の方法を弁別することができるように訓練されたサルを被験動物としてその時の運動野のニューロンの活動を観察したところ、外乱によって誘

発された運動野のニューロンの活動が予告指示によって著しく変容されたことを報告している。以上の報告より、M2の電位の大きさは、被験者の外乱に対する随意的な事前の設定（voluntary 'set'）によって修正されることが示され、M2の生成に大脳皮質が関与していることが示唆されている。

4）脊髄より上位の神経系の傷害あるいは病変によってM2が消失すること。[42)53)54)61)]

Tattonら（1975）[61)]，LeeとTatton（1975）[42)]は、大脳皮質の一側の体性感覚野を除去したサルにおいて、その除去した側と同側（正常側）の四肢については、M1、M2、M3とも観察されたが、対側（除去側）肢ではM1とM3は正常側と同様に観察されたけれどもM2は消失していたと報告している。またLeeとTatton（1975）[42)]は、固有受容性のインパルスの上行路である楔状束の傷害を有する多発性硬化症の患者において、M2及びM3が消失していたことを報告している。

Nothとその共同研究者ら[53)54)]は、臨床的に体性感覚誘発電位の振幅が著しく減少された症状を示したハンチントン舞踏病の患者において、M2が観察されなかったと報告している。以上1）－4）に示した諸事実よりM2は大脳皮質経由の反射であると提唱された。

第3節　M2生成の起因を末梢の機構に求める文献

一方、M2の起源が大脳皮質経由の経路を必要とせず、脊髄内機構で説明づけられるという報告もある。

GhezとShinoda（1978）[28)]は、M1、M2、M3が除脳ネコ及び脊髄ネコにおいても観察されたことを報告している。Traceyら（1980）[63)]は、頸椎のレベルで脊髄を切断したサルでも、M1、M2が存在したことを示した。さらに、MillerとBrooks（1981）[52)]は、これらの報告をサルを用いた慢性実験で追試し、運動野及び感覚野を破壊した後でも、また除脳及び除小脳

した後でもM1、M2、M3が存在することを確かめた。これらの報告より、M2とM3の生成にはM1と同様に脳幹より上位は必ずしも必要ではないと提唱された。

BawaとTatton(1979)[2]は、M1、M2、M3の起因を最終共通路であるα運動ニューロンの性質に求めることができると報告している。彼らは、手首の伸展時に前腕の屈筋群から表面筋電図とともに単一のmotor unit (SMU)の活動を記録したところ、SMUの83%は、表面筋電図でのM1、M2、M3のどれか一つに相当する時間帯にのみ発火していたことを見出し、さらに、短潜時で反応するSMUはslow twitch motor unitsとしての発火特性を示し、長潜時で反応するSMUはfast twitch motor unitsとしての発火特性を示したと報告している。これらの結果より彼らは、M1、M2、M3はα運動ニューロンの同期した活動を単純に表しているのではなく、低閾値の持続的に発火する運動単位がM1の生成に寄与し、

一方、より高閾値の持続的に発火していない運動単位がM2及びM3の生成に寄与すると述べている。

さらに、M1、M2、M3生成の起因を筋紡錘自体の性質に求める報告もある。

Hagbarthら(1980)[31]、(1981)[32]は、ヒトで突然の手首の伸展に対する筋紡錘からの感覚ニューロン(Group Ia fiber)の反応を、正中神経束の中へ挿入されたタングステン微小電極を用いて記録した。その結果、手首の変位によりGroup Ia fiberの群化された発射が観察され、それらの群化された発射はM1、M2、M3に時間的に対応していたと報告している。

Hagbarthの共同研究者であるEklundら(1982)[21][22]は、加速度計を針に取り付け、その針を筋内に刺入し、外乱に対する筋の機械的振動を検出した。その結果、反射性の筋電図反応におけるM1、M2、M3などのpeakの間隔は筋の機械的振動のものと同様であり、加速度の記録における連続した振れ(deflexions)か

らそれに相当した筋電図のpeakまでの潜時は20－25msecであったと報告している。このような結果から、Eklundら[22]はM2が外力による衝撃に対する筋の固有振動に対応した筋紡錘の第1次終末の反復性の発射により生ずるという‘Resonance theory’を提唱している。

その他、Matthews(1984)[50]は、M2が筋紡錘の第2次終末から発する伝導速度の遅い感覚ニューロン(Group II fiber)を経由するものであると報告している。また、Dartonら(1985)[3]は、M2の生成に筋紡錘などの固有受容器を必ずしも必要とせず、皮膚の受容器の興奮によると報告している。

以上述べたように、M2の生成に大脳皮質経由の経路を必要とせず、その生成は脊髄内の機序により説明できるという多数の報告がある。

第4節　伸張反射の機能的意義に関する文献

筋の伸張などの外乱によって誘発された反

射性の筋活動については、それらがどの様な目的で存在するのか、あるいはどの様な機能を担っているのかという目的論及び機能論の両面からの考慮がなされている。

短潜時の単シナプス性の伸張反射（M1）の意義は、筋が伸張された時にその筋を収縮させ筋の長さを元に戻すこと、つまり筋長を一定に保つ働きをすることであると従来から言われてきた。[29)30)44)] Matthews（1972）[49)]は、M1により生ずる張力はそのinputとoutputとの関係においてservo-likeであると報告している。

ところが、M2の機能については、その起源が不確定であるのと同様に様々な論議が提出されてきている。

Allum（1975）[1)]は、ヒトの肩の筋について外乱に対する力の応答を調べたところ、M2によって発生された力は外乱によって引き起こされた変位を補正するために必要とされる力の約15%であり、変位の補正にほとんど貢献しなかったと報告している。そして彼は、M

2は筋に対する負荷の状態を中枢神経系に知らせる信号として機能しているに違いないと述べている。

Marsdenら(1981)[47]は、ヒトの長母指屈筋において親指の指節間関節の伸展時に出現したM2とその変位の補正にM2が貢献した量を調べた。そして、M2は外乱による変位を完全には補正しないが、5-20度の比較的小さな変位に対しては約50%の補正を提供したと報告している。この結果から彼らは、M2が効果的なservo actionとして、あるいは少なくとも外乱の補正として要求された活動の基礎としての役割を持つと述べている。

松波(1984)[48]は、その総説の中でM2の機能について、外乱の補正としての役割は比較的小さく、補正運動に最も重要な役割を持つと考えられるM3を最も早く、最も効率的に働かせるための一種の露払い的な、あるいは、そのために神経系全体をresetさせるreset signalとして働いているのであろうと述べて

いる。

第5節　伸張反射と学習

反射とは、受容器の刺激によって起こった興奮が中枢において意識とは無関係に変換されて効果器にその効果（反応）を現すことであると一般に考えられている。ところが、最近の研究から、伸張反射は必ずしも意識と無関係であるとは言えない事実が示されてきた。

M2に関しては、前述の第2節の3）で記述したように、その刺激（筋伸張）より前に被験者に予告指示を与えることによって、すなわち、刺激に対する意識の持ち方を変えることによって、その電位の大きさが変化され得ることが報告されており、この事はM2が大脳皮質経由の反射であるとするところの強い証拠と見なされた。

M1は、筋紡錘からの感覚ニューロンとα運動ニューロンとの二つのニューロンのみで構成され、中枢神経系の中でも最も単純な刺

激一反応の経路である[41]が、このM1についても、その電位の大きさが可塑的な変化を示すことが見出されてきている。

Wolpawら（1983）[67][68][69]は、外乱によって引き起こされたM1（spinal stretch reflex ; SSR）の電位の大きさがある値より大きくなるか（SSR↗mode）、あるいは小さくなるか（SSR↘mode）した時、報酬が与えられるという課題をサルに一日3000－6000試行課したところ、実験開始の10日後から37週間後に、SSR↗modeを課せられたサルは、SSRの振幅の一日の平均値をコントロール値の140－190%まで増大させ、SSR↘modeを課せられたサルは、コントロール値の22－79%まで減少させたと報告している。また、この時の主働筋及び協同筋のbackgroundの筋電図活動と初期の筋長が変化していなかったことも報告している。この結果から、彼らは、M1の学習によるadaptiveな変化を研究することは、記憶のニューロンレベルでの研究として重要であり、

また M1 は記憶及び学習の研究のためのモデルとして有用であると述べている。

彼ら[70][71]は、この事実をさらに詳しく検討するために追試したところ、SSR の増大あるいは減少の過程が二つの相に分けられると報告している。つまり、その最初の相は練習開始後6時間以内に SSR の8%の変化が生じる相であり、2番目の相は最初の相より非常にゆっくりとした1日平均2%の変化を示す相であり、この相は少なくとも2カ月間持続する。彼らは、この最初の相は SSR の反射弓に対しての脊髄より上位の中枢からの影響により生じ、2番目の相は最初の相の原因となった反射弓に対する持続的な影響によって徐々に作られた構造的あるいは物質的な変化によって生ずると考えている。

また、SSR の振幅の変化は、練習を中止した時にもかなり持続することが認められている。[72] 彼ら[72]は、SSR ↗ mode によって増大された SSR の振幅は、練習の中止により約17日間の

半減期をもってゆっくりと減少すること、またSSR↘ modeによって減少されたSSRの振幅は一定の変化を示さなかったということを報告している。これらの結果は、2番目の相が持続性の構造的あるいは物質的変化によって生ずるという考えを裏付けするものであると述べている。

Christakosら（1983）[8]、Meyer-Lohmannら（1986）[5]は、サルで肘の屈曲及び伸展を行っている最中にランダムに外乱を加えるという課題において長期間のトレーニングの影響を約4年間にわたって研究し、以下の結果を得た。つまりその電位の大きさにおいて、M2は次第に小となり、しまいには消失したが、一方M1は漸進的に増大したと報告されている。彼らは、この結果についてサルの感覚ー運動系についての長期間にわたる可塑性を証明するものであると述べている。

このように、サルの伸張反射（M1及びM2）の電位の大きさは、可塑性をもち、数千

回あるいは数カ月から数年間の長期間の練習によって変化することが示されている。

第6節　誘発筋電図について

骨格筋の随意収縮時の筋活動電位を導出、記録する通常の筋電図に対して、ある特定の人工的な刺激により誘発される筋活動電位を導出し記録したものは誘発筋電図と呼ばれている。[39] H反射（H-reflex）は、ヒトの脛骨神経の電気刺激により下腿三頭筋に誘発される反射性筋活動電位としてHoffmann（1910）[35]によって発見された。H反射という用語は、Hoffmannの名にちなんで命名されたものである。H反射は、脊髄における単シナプス性の反射として一般に認められており、脊髄のα運動ニューロンプールの興奮性を表す指標として、生理学、心理学及び臨床上の研究に利用されている。

（1）H反射の基本的な性質について

H反射の基本的な性質については、既に多

(9)(27)(36)(39)(60)

くの総説、解説書に記述されている。被刺激神経に対する電気刺激を弱い値から次第に強めていくと、刺激に対する閾値の低い感覚ニューロン（Group Ia fiber）がまず興奮し、脊髄のα運動ニューロンにインパルスを単シナプス性に伝達し、筋が興奮し活動電位すなわちH反射が現れる。H反射の出現後、刺激を徐々に強めていくと、H反射の振幅が次第に大きくなり、また、Group Ia fiberよりも閾値の高いα運動ニューロンが興奮し、M波（Muscle wave）と名づけられた別の波形が出現してくる。さらに刺激を強めていくとM波の振幅は次第に増していくのに対してH反射の振幅はある程度の刺激の強さで最大値を示し、それ以上刺激を強めると振幅は減じられ、ついには消失する。M波の増大に伴ってH反射が減衰することの理由は、刺激によって発生した運動ニューロンのインパルスは順行性に伝導しM波を発生させるが、逆行性にも伝導してGroup Ia fiberから運動ニューロンに

単シナプス性に伝達されたインパルスを途中で遮断するためと考えられている。[39)60)] 誘発されるH反射の振幅の最大値は単シナプス性にα運動ニューロンが興奮した場合の最大の筋電図量と見なされ、この値をもってα運動ニューロンプールの興奮性の指標とすることが一般的によく行われている。[60)] またM波の振幅の最大値は、そのα運動ニューロンプール内の全てのα運動ニューロンが興奮した場合の筋電図量と見なされている。[36)60)]

H反射はHoffmann[35)]によって報告された下腿三頭筋に限らずこれまで様々な筋で報告されている。[6)] 前腕の筋では、Cavallariら(1984), Deschuytereら(1976)[15)]が報告している。

田中(1986)[60)]は、H反射の同定基準として、a)被験筋のその脊髄節までの距離に見合った潜時を持つこと、b)閾値がM波のそれより低くなり得ること、c)M波の増大に伴って減少・消失することの三点をあげている。

(2) H反射を利用して行われた研究に関

する文献

被験者に一定の運動を課して、その遂行過程における脊髄の運動ニューロン及び反射回路の活動状況を調べることは、随意運動の研究として非常に重要な研究課題である。H反射は、その実験手技が比較的容易である点、また被験者を無麻酔、無苦痛の条件で試験できる点で有用であり随意運動の研究にしばしば利用されている。

ヒトにおいて、H反射を用いて随意運動時に見られる相反神経支配の働きを調べる研究が行われている。Tanaka(1974)[59]は、拮抗筋のGroup Ia fiberに条件刺激を適当な時間間隔で加えて主働筋のα運動ニューロンに対する2シナプス性のIa抑制の有無及び程度を調べた。彼は、腓骨筋神経に条件刺激を与えた後、いろいろな時間間隔でヒラメ筋神経を刺激してH反射を起こすと、三相に区別できる抑制期間が見られることを見出した。すなわち、第一の抑制期は両刺激間隔が0－5msecの場合

で腓骨筋神経中のGroup Ia fiberから抑制性介在ニューロンを介してヒラメ筋神経のH反射の回路の一部を抑制するものと考えられている。また第二の抑制期は、5－80msecの時期に現れる抑制でH反射回路の一部に現れる前シナプス抑制に関係あると考えられている。第三の抑制期間は90－130msecで、これは腓骨筋神経の刺激で腓骨筋が収縮し足首が背屈したために、ヒラメ筋からの求心性活動に変化が起きて抑制されたものと考えられている。

ヒトが反応時間課題を遂行している最中のH反射の振幅の変化を観察し、それをもとにして、その反応動作発現の最終共通路であるα運動ニューロンの興奮性の変化を調べた報告がある。笠井（1980）[37]は、音刺激に対して素早い等張性筋収縮を伴う下肢の底屈あるいは背屈反応動作を行わせ、刺激の呈示から反応動作開始までの期間にH反射を記録し、その振幅とその時得られた反応時間との関係を検討した。その結果として、反応時間は、主働

筋のH反射の振幅と有意な負の相関関係を示し、さらに対側の同名筋のH反射の振幅とも同様な関係を示したこと、ところが、拮抗筋のH反射の振幅とは有意な関係を示さなかったことが観察された。さらに笠井(1981)[38]は、足首の底屈反応動作を、初期の肢位をいろいろ変化させて追試したところ、H反射の振幅は外旋位で増大し、内旋位で減少したこと、また反応時間も外旋位で最も短く、内旋位で最も長かったことを見出した。

Eichenberger と Ruegg(1984)[20]は、被験者に光刺激に対する足の底屈反応動作を課し、刺激後40－400msecにH反射を記録したところ、H反射が動作の開始前100－160msecの期間に促通されたと報告している。

また、歩行中のH反射を記録した研究が、Capaday と Stein(1987)[5]、Crenna と Frigo(1987)[12]によって行われている。その結果として、歩行時のヒラメ筋のH反射の振幅は、スタンス相で大きくなり、スウィング相で小さくな

ることが見出された。

Bulbulian と Darabos (1986)[3] は、有酸素的運動によってもたらされるストレスの減少についてH反射を指標として研究している。彼らは、H反射及びM波の振幅の最大値(Hmax, Mmax)からHmax／Mmax ratioを求め、その値において低強度(40%V̇o2max)の運動は運動前の値より12.8%の減少をもたらし、高強度(70%V̇o2max)の運動は21.5%の減少をもたらしたことを報告している。彼らはこれらの結果から、持久的な運動は脊髄のα運動ニューロンプールの興奮性を減少させるということを示唆した。

Schieppati と Crenna (1984)[58] は、随意的に等尺性収縮している筋を弛緩させ、活動を停止させるとき、H反射が著しく抑制されたと報告している。

Delwaide と Toulouse (1980)[14]、Toulouse と Delwaide (1980)[62] は、ヒラメ筋のH反射は上肢の筋の随意的な収縮によって促通されること

を報告し、イエンドラシック手技（Jendrassik maneuver）の生理学的根拠を考察している。

以上記したように、H反射は生理学的研究の様々な面で利用されており、今後、体育の分野においても、運動の調節機序についての研究を行う際に益々利用されていくものと考えられる。

第3章　実験方法

第1節　被験者

本実験における被験者は、本大学体育学部に所属する健康な教員及び学生（男性、年齢20－43歳）10名であった。

第2節　実験手順

本実験では、被験者にある一定の高さから落下するボールを捕球する運動動作を課し、その際の手首の受動的な伸展による反射性筋放電を調べるために、ボールの落下に関する条件と捕球動作を極めて単純な状況に限定した。捕球実験時の被験者に対する教示は「できるだけリラックスし、ボールが手掌に触れるより前に手首を動かすことをせず、ボールが手に触れたらそれを強く把握せよ」とした。

被験者は、シールドルーム内の簡易ベッドに仰臥姿勢になり、右手を手掌を上向きにして体幹に直角に差し出した（Fig.1）。

また、手の関節の運動のみがほとんど束縛

Fig.1

なしに随意的に行えるようにし、肘と前腕遠位を固定台上に乗せ、前腕遠位はベルトで固定した。尚、上肢の筋活動が持続性頸反射により影響されないように、被験者は頭部を正中に保持した。このためボールの落下状況は被験者の眼前約1mの位置に設置した鏡を利用して被験者に呈示した。

Fig.2

実験の手順は、Fig.2に示すように、50回の捕球動作を1セットとし、それを6セット(B1-B6)、すなわち合計300回の捕球動作を行わせた。このような多数の反復捕球動作は筋活動における反復経験の影響を検討する目的から行われたものである。

1シリーズの実験中では、各試行の間には約10秒から15秒の時間間隔を設け、また各セットの間には約3-5分間の間隔を設けた。このようにして行われた1シリーズの実験の所要時間は、約2時間半以内であった。実験時の気温は約20℃で被験者にとって常に快適な状態で行われた。

第3節　ボール落下装置及び捕球動作の記録

(1) ボール落下装置

ボールは直径3.8cm、重さ225gの鉄球を使用した。特に鉄球を使用した理由は、a)電磁的に落下開始を制御できるので落下開始を音によって被験者が察知することを除くことができる、b)鉄球に電流を通すことができるので落下開始時点を電気信号として使用できる、c)比較的小型でも落下してくる鉄球の運動エネルギーにより手首の伸展を引き起こし、屈筋の伸張を実現できるという三つの点である。そのために電磁石側には鉄製のスイッチ板を貼付した。この落下信号を直流増幅器(ダイヤメディカルシステム社製DPA-100Eの直流増幅部)により増幅し、データレコーダー(エヌエフ回路設計ブロック社製RP-880)に記録した。落下の距離は40cmとし、この高さでボールが解放されて自由落下し手掌に接触するまでの時間は約300msecであった。

(2) 捕球動作の記録

捕球動作としては手首の関節運動を記録した。手首の動作には自発的な力によるもの以外に、落下してきたボールの外部的な力による受動的動作が含まれる。それらの動作を解析するためには、動作自体を正確に歪みなく記録する必要があった。このためポテンショメーター（コパル社製J40S）を角度変化計として用いた。このポテンショメーターは前腕遠位を固定するための固定枠に取り付けられ（Fig.3, Pot.）、その回転軸を手首の関節の回転軸に合致させた。手首の動きを検出するためにポテンショメーターの回転軸に対して、直径0.6cm、長さ22cmのスチールパイプを直角に取り付けた。手首の動きはこのパイプを回転半径としてポテンショメーターの軸をも回転させるので、手首の動きが円運動の一部として検出できる。捕球動作に支障のない大きさと形状をもつプラスチック製のホルダー（Fig.3, Holder）が作製された。ホルダーとパイプとの連結部分には、手首の運動の

Fig.3

際に生ずる可能性のある僅かな回転半径の変化に対応できるように、Linear Mortion Bearing(Fig.3,LMB)を使用した。ポテンショメーターにより導出した信号は、直流増幅器(ダイヤメディカルシステム社製DPA-100Eの直流増幅部)で増幅し、動作曲線として前述のデータレコーダーに記録した。

第4節 筋電図の記録

捕球動作時の筋電図は、手首の屈曲に働く前腕の屈筋群から尺側手根屈筋、伸展に働く伸筋群から尺側手根伸筋を選び、表面電極(直径10mmの日本光電社製銀塩化銀電極)を用いて双極導出した。電極は、各被験筋の筋腹上に筋線維の走行に沿って中心間距離2.5cmで貼付した。電極貼付の際は、電極間抵抗値を50KΩ以下にするように、皮膚上を軽くサンドペーパーでこすりアルコール綿で拭いた後、電極糊を塗布した。尚、電極間抵抗値は貼付して5分後に値が安定したのを確認して

から前値として測定し、また実験の終了時にも測定し、変化していないことを確認した。

このようにして各被験筋から導出された筋電図は、細胞外用高感度増幅器（ダイヤメディカルシステム社製DPA-100E）により増幅され、手首の動きを示す動作曲線、ボールの落下開始時点を示す電気信号と同時にデータレコーダーに収録された。尚、増幅器の時定数は0.001秒であった。しかし、落下開始時点は本実験の分析の対象にはならなかった。これらの筋電図（EMG）及び動作曲線（Wrist movement）の同時記録の1例をFig.4に示す。

▷Fig.4

第5節 分析方法

（1）捕球動作時の筋電図の分析

捕球動作時に出現する反射性筋放電を観察するために、平均加算法[42][43]が用いられた。平均加算法は、刺激により誘発される生理的現象を明確に観察しようとする時よく用いられる方法である。前述の第4節の方法により記録

された捕球動作時の筋電図は、直流増幅器（日本光電社製AVB-10の直流増幅部）により増幅され、誘発反応加算装置（日本光電社製DAT-1100）を用いて、1セット毎すなわち50回の筋電図が平均加算された。誘発反応加算装置を掃引するためのトリガーパルスは、データレコーダーに同時記録された手首の動きを示す電気信号における手首の伸展開始時に同期する電圧変化を用いた。平均加算装置で分析の対象となった時間は、トリガー後200msecであった。平均加算された波形（Fig.4-B）は、オシロスコープ（日本光電社製VC-10）に入れてポラロイドカメラ（キング万能接写装置5R31A）を用いて写真撮影された。

Fig.4-Bに50回の捕球動作時の筋電図を平均加算した筋電図（Averaged EMG）の典型的な例を示した。

ボールを捕球する際の手首の伸展に伴う筋放電は、屈筋のAveraged EMGにおいて、大きく二つに分離できる筋電図反応を生じた（Fig

.4-B, M1, M2)。しかし伸筋のAveraged EMGにおいては、そのような筋電図反応を認めることができなかった。

そこで、それらの筋電図反応のpeakまでの時間を手首の伸展開始からの潜時として測定したところ、その最初のpeakの潜時は約25msec(24.8±4.8msec)であり、誘発筋電図法によって得られたH反射の潜時と等しいこと、また屈筋にのみ認められたことから脊髄における単シナプス性の伸張反射であると考えた。また、二番目のpeakの潜時は約50msec(52.9±8.3msec)であり、単シナプス性の伸張反射として、あるいは随意的な反応としては考えにくい。以上の事実から、屈筋のAveraged EMGに出現した最初の筋電図反応はLeeとTatton[44]によって命名されたM1、二番目の筋電図反応はM2に相当するものと考えた。本論文では、Averaged EMGに見られたこれらのpeakを以後M1、M2という呼称を用いることにした。

（2）捕球動作時の手首の動きの分析

捕球動作の際、Fig.4-Cの動作曲線において示されるように、落下してきたボールの衝撃により手首に受動的な伸展が生じる。これを分析するために二つのパラメーター（手首の伸展角度、最高伸展速度）を求めた。手首の伸展角度は、Fig.4-Cにおいてベースラインから最大に伸展されたところまでの大きさを求め、最高伸展速度は、手首の角度変位を中心差分法[55]により微分して求めた。これらのパラメーターの分析のために、データレコーダーに記録された手首の動作曲線を示す電気信号は、AD変換器（ダイヤメディカルシステム社製DPC-1200-AD，分解能12bit）を用いて、1KHzのサンプリング周波数でAD変換し、パーソナルコンピューター（NEC社製PC-9801VM）で処理した。

第6節　誘発筋電図

（1）H反射の誘発及び記録方法

捕球動作を反復経験していく1シリーズの実験過程の中で、屈筋のα運動ニューロンプールの興奮性の動態を調べるため、3名の被験者において、誘発筋電図法によりH反射が尺側手根屈筋から記録された。誘発筋電図の記録は捕球実験の試行系列に先だって（約12分）、Fig.2に示されるように2回（Hc1, Hc2）の記録を行った。さらに捕球実験の各セットの終了後に誘発筋電図記録を組み込み（H1－H6）、第6セット終了後にも、捕球実験1セットに要する時間（約12分）をおいて、誘発筋電図記録（H7）を行った。

この際の被験者の姿勢は、捕球実験時と同様で、被験者には特に被験筋を収縮させることのないように、また体を動かさないように指示した。

誘発筋電図の導出のための電極は、捕球実験時と同一の電極が使用され、導出された筋電図は、細胞外用高感度増幅器により増幅され、データレコーダーに収録された。尚、増

幅器の時定数は捕球実験時と同様に0.001秒とした。

刺激は、電気刺激装置（ダイヤメディカルシステム社製DPS-100）から矩形波（持続時間1msec）をアイソレーター（ダイヤメディカルシステム社製DPS-110A）を通して加えられた。尺側手根屈筋においてH反射を導出するためには、その支配神経である尺骨神経を経皮的に電気刺激する必要がある。尺骨神経は肘部の上腕付近では比較的表層近くに位置しているので、一対の刺激電極を上腕肘部内側の皮膚上においた。陽極電極（日本光電社製銀塩化銀電極、直径10mm）は上腕の内側二頭筋溝に沿ってその近位部に貼付され、刺激点となる陰極電極の貼付される位置が探査された。H反射が低い刺激強度でよく出現し、且つ被験者の疼痛感の少ない部位を適正な刺激点として選び、陰極電極が装着された。

本実験で使用した陰極電極は、当研究室で考案した、ステンレス製ボルトをプラスチッ

ク製ブロックに頭部（直径12mm）のみ出して埋め込み、台部にマジックバンドを付け腕の周囲に巻き付けやすくしたものである。不関電極として16×5cmの長方形銀板を飽和食塩水を含ませたガーゼで覆い、導出電極と刺激電極の中間部に装着し接地した。尚、刺激の頻度は5秒に1回の頻度で行われた。

（2）H反射の同定及び分析方法

前述（1）の方法により得られた誘発筋電図の記録の例をFig.5に示す。尺骨神経に対する刺激強度を上げていくと、刺激時点を意味するアーチファクトから25msecの付近に活動電位が出現した（Fig.5-A,1,H）。刺激強度をさらに上げていくと、刺激時点から10msecの付近に新たな活動電位が出現した（Fig.5-A,2,M）。さらに刺激を強くすると、最初の活動電位は刺激の増大に伴って増大したが、2番目の活動電位は減衰し（Fig.5-A,4）、やがて消失した（Fig.5-A,5）。そこでこれら二つの活動電位について潜時を測定すると、

Fig.5

最初の活動電位は約10msec、2番目の活動電位は約25msecであった。

田中[60]は、H反射の同定のための条件として、a)被試験筋のその脊髄節までの距離に見合った潜時を持つこと、b)閾値がM波より低いこと、c)M波増大に伴って減少、消失することの3点を上げている。本実験で得られた最初の活動電位は潜時よりM波と推定され、2番目の活動電位をH反射と推定すれば、これは上述の三つの条件を満たしている。したがって、2番目の活動電位は明らかにH反射であると同定された。

本実験におけるM波及びH反射の大きさの計測は、Fig.5-Bに示すように、それらの波形の振幅つまりpeak to peak値[36][60]を測定した。

誘発されるH反射の振幅の最大値(Hmax)は、単シナプス性にα運動ニューロンが興奮した場合の最大の筋電図量と見なされ、この値をもってα運動ニューロンプールの興奮性の指標とすることがよく行われている[60]。さらに、

M波の振幅の最大値（Mmax）はそのα運動ニューロンプール内の全てのα運動ニューロンが興奮した場合の筋電図量と考えられる[36)60)]ので、Hmaxを Mmaxで除した値（Hmax／Mmax ratio）は、全α運動ニューロンに対する反射性に興奮したα運動ニューロンの割合を示すものである。このHmax／Mmax ratioについて、田中[60)]は異なる実験・被験者間での定量的比較を行う上で有用であると推奨している。そこで、本実験においても、誘発筋電図の各記録（Hc1－H7）において、H反射、M波の最大値及びHmax／Mmax ratioを求めた。したがって、それらの値を求めるために、刺激強度は段階的に変えられ、その範囲は約10－50 Vであった。

第4章　実験結果

第1節　捕球動作時に出現した反射性筋放電（M1、M2）について

捕球動作時の屈筋のAveraged EMGにおいて、M1は、10名の被験者の全員に認められた。一方M2は10名の被験者のうちの5名にのみ認められ、他の5名については認められなかった。

第2節　反復経験によるM1、M2の変動

捕球動作時に出現したM1、M2の反復経験による影響をみるために、捕球動作を300回行わせ、50回ずつ平均加算したAveraged EMGの一人の被験者（M.K）についての例をFig.6に示した。Fig.6に明かなように、経験を積むにつれて、すなわち第1セットから第6セットへと進むにつれて、M1は大きくなり、M2は小さくなる傾向を示していた。そこで、このM1、M2の振幅すなわちベースラインからpeakまでの大きさを測定し、第

Fig.6

1セットの振幅をコントロール値(100%)として第2セット以降の各セットの振幅を第1セットに対する相対値(百分率)として求め、Table 1に示した。さらに反復経験していく過程におけるM1、M2の振幅の相対値の変化を任意の3名の被験者についてFig.7に示した。Fig.7-AはFig.6の被験者(M.K)のもので、第1セットから第6セットへと経験を積むにつれて、M1は増大する傾向を示し、一方M2はM1の傾向とは対照的に減少していく傾向を示した。Fig.7-Bは、M2が出現せず同定され得なかった被験者の一例で、M1の振幅は増大あるいは減少への一定方向への変化を示さなかった。Fig.7-Cは、M1、M2とも減少していく傾向を示した例である。

Fig.7に示されたような経験を積んでいく過程に認められたM1、M2の振幅の変化の傾向をより明確に検討するために、それらの変化の傾向を増大傾向、減少傾向、変化なしの三つに分類した。ここで言う'増大傾向'

とは、第1セットの値（100%）と比較してそれ以後のセットの値がすべて100%以上の値を示したものとした。また、‘減少傾向’とは、第1セットの値と比較してそれ以後のセットの値がすべて100%以下の値を示したものとした。‘変化なし’とは、増大傾向にも減少傾向にも当てはまらないもの、そしてたとえその変化がどちらか一方向への変化を示していたとしても第2セットから第6セットまでの5セットのうち3セット以上が±20%以上の変化を示さなかったものとした。

Table 2

Table 2は、上述の規準に従って10名の被験者の結果を表としてまとめたものである。M1については、4名が増大傾向を示し、3名が変化なし、残りの3名が減少傾向を示し、個人差が認められた。M2については、同定し得た5名の被験者のうち4名が減少傾向を示し、残りの1名が変化を示さなかった。

以上までの結果から、M1については、被験者全員に認められ、また経験を積むにつれ

てその振幅が変動すること、その変動の傾向に個人差があることが示された。M2については、経験を積む前から認められないかまた認められたとしても経験を積むにつれてその振幅が減少していく傾向が強いことが示された。

第3節 M1、M2の変動と脊髄のα運動ニューロンプールの興奮性との関係

捕球動作を反復経験していく1シリーズの実験過程の中で、屈筋のα運動ニューロンプールの興奮性の動態を調べるため、3名の被験者において、実験方法の第6節の(1)に述べた方法によってH反射を記録し、実験方法の第6節の(2)に述べた解析法に従って、誘発筋電図の各記録(Hc1-H7)におけるHmax/Mmax ratioを求めた。このHmax/Mmax ratioは、さらにHc1をコントロール値(100%)としてそれ以降(Hc2-H7)のHmax/Mmax ratioを相対値(百分率)として求めた。

Fig. 8

Fig.8は、ある一人の被験者（M.K）の反復経験していく過程におけるM1、M2の振幅の相対値の変動とともにHmax／Mmax ratioの相対値の変化を示したものである。Hmax／Mmax ratioは実験過程を通してほとんど変化していなかったことが認められた。同様の結果がH反射の記録を行った他の2名の被験者についても認められた。したがって、捕球動作を反復経験していく過程において、屈筋のα運動ニューロンプールの興奮性はほとんど変化していなく、本実験ではM1及びM2の振幅の変動とは関係していなかった。

第4節　M1、M2の出現及び変動と手首の動き（手首の伸展角度、最高伸展速度）との関係

捕球動作時の手首の動きに関する二つのパラメーター（手首の伸展角度及び最高伸展速度）を、実験方法の第5節の（2）に述べた分析方法に従って4名の被験者について求めた。

さらにそれらの測定値からセット毎の平均値及び標準偏差を求め、Table 3 に示した。

Table 3-A は手首の伸展角度について、Table 3-B は最高伸展速度について示している。

手首の伸展角度の平均値は、Table 3-A に示されるように、各被験者が捕球動作を反復経験していく過程においてほとんど変化していなかった。また最高伸展速度の平均値も、Table 3-B に示されるように、反復経験していく過程においてほとんど変化していなかった。

そこで、M1、M2 の振幅の相対値の変動と手首の伸展角度及び最高伸展速度との関係を明確に見るため、Table 3 に示された 4 名の被験者のうち任意に選んだ 2 人の被験者について、反復経験する過程における M1、M2 の振幅の相対値の変動と、手首の伸展角度及び最高伸展速度の平均値と標準偏差の推移を Fig. 9 に示した。Fig. 9-A の被験者は、

Fig.7-A, Fig.8と同一の被験者である。この被験者の手首の伸展角度と最高伸展速度はFig.9-Aの上段に示されるようにほとんど変化していなかった。またFig.9-Aの下段に示したM1の振幅の変化とFig.9-Aの上段に示した手首の伸展角度及び最高伸展速度とは異なる変動のパターンを示していた。またこのような関係はM2についても認められた。

Fig.9-Bの被験者(H.I)は、Table 2に示したM1、M2とも減少傾向を示した者である。Fig.9-Bの被験者の場合においても、M1及びM2の振幅が両方とも減少していく傾向を示したのに対して、手首の伸展角度及び最高伸展速度はこれらの変動と同様な変動のパターンを示さず、ほとんど変化していなかった。このような結果は、Fig.9に示さなかった他の2名の被験者においても同様に認められた。したがって、M1及びM2の振幅の変動と手首の伸展角度及び最高伸展速度とは、本実験ではほとんど関係していなかったと結

論された。

生体で筋伸張を生じさせるには関節の変位が必要である。これには三つの要素、すなわち変位の大きさ、変位の速度、変位の持続時間（変位の始まりからその最大量に至るまでの時間）がある。その中でも特に持続時間がM2の生成に重要であると報告されている。(28)(43)

手首の伸展の持続時間は伸展の速度が一定の時伸展の大きさによって決定される。被験者H.Tは、Table 2に示すように、M2が出現しなかった者である。この被験者の最高伸展速度はTable 3-Bに示されるように、他のM2が出現した被験者の値とほとんど同様であり、伸展の大きさすなわちその角度もTable 3-Aに示されるように同様であった。したがって伸展の持続時間もほとんど同様であったと考えられる。また上述したように、手首の伸展角度と最高伸展速度は、各被験者の捕球動作を反復経験する過程を通してほとんど変化していなかったので、伸展の持続時間もほと

んど変化していないことが推測された。

第5章　考察

本実験では、被験者に捕球動作を課し、その際の手首の受動的な伸展により手首の屈筋に生じた反射性の筋電図反応について検討した。その結果として、捕球動作時の屈筋の筋電図を平均加算したAveraged EMGにおいて、Leeと Tatton(1975)[42]によって報告されたM1、M2に相当する反射性筋放電が出現していたことが観察された。さらに、結果の第2節に示したように捕球動作を反復的に実行し、経験を積むことによってM1及びM2の振幅が変動することが認められた。M1の振幅については、その変動の傾向に個人差が認められた。一方M2の振幅については、経験を積むにつれて減少していく傾向が強いことが示された(Fig.7, Table 2)。そこで、これらについて以下のような考察を試みた。

第1節　捕球動作時に出現した反射性筋放電について

伸張反射の性質及びその消長を調べる目的で行われた従来の研究においては、伸張反射を誘発させるための方法として、トルクモーターを使用し伸展を始動する形式を採用していた。また四肢の単関節の屈曲及び伸展という極めて単純な動作を観察の対象にしていた。このように従来の研究は実験状況がかなり人為的であった。したがって、その結果をそのまま実際の運動に適用して考えてしまっても良いのかという疑問が生ずる。本実験では、実験方法に述べたように、これでも充分に自然の形式とは言い難いが従来のものよりかなり自然に近い形式の捕球動作を取り上げた。この捕球動作では少なくとも手首の伸展自体が被験者に‘外乱’として特に意識されないところに従来の研究で対象にされた動作との大きな相違点がある。

結果の第1節に示したように、M1は、10

名の被験者の全員に認められたが、一方M2は5名の被験者においてのみ認められ、他の5名については認められなかった。それでは、M2が被験者によって出現したりしなかったりしたのはどうしてであろうか。M2の生成については、刺激とされる伸展の持続時間(伸展開始からその最大量に至るまでの時間)が重要であるという報告がある。[28)43)] Leeと Tatton(1982)[43)]は、M2の大きさは伸展の持続時間と関係し、その伸展の持続時間が40-50msec以内であるとM2は出現せず、持続時間がそれ以上に増大していくと、M2が出現しその大きさが増大していったということを報告している。[28)] GhezとShinoda(1978)もまた、M2の生成に伸展の持続時間が影響し、その時間が20msec以内ではM2は出現せず、その時間を長くしていくとM2の大きさが増大されたと報告している。本実験では、Table 3に示したように、4名の被験者において手首の伸展角度及び最高伸展速度が求められた。

被験者H.Tは M2が認められなかった例である。結果の第4節に述べたように、この被験者の手首の伸展角度及び最高伸展速度は、他のM2が出現した被験者の数値とほとんど同じであった。したがって、この被験者の手首の伸展の持続時間は、他の被験者のものとほぼ等しいと推測された。しかしながら、M2は一方では出現し、一方では出現しなかった。したがって、本実験では、M2の出現において、従来報告されているように伸展の持続時間がその要因ではないと考えられる。

Colebatchら(1979)[9]、Hammond(1956)[34]、LeeとTatton(1975)[43]、Rothwellら(1980)[57]は、被験者に外乱に対する動作の指示を事前に与えた時、M2の大きさが修正されることを報告している。これらの報告において、M2の大きさは被験者がその外乱に対して"抵抗せよ"と指示され、そしてそのように対処した時、非常に大きくなり、また"従え"と指示された時に小さくなることが示された。すなわち、

外乱に対する意識の状態によってM2の大きさが変化することが示された。これらの報告に従えば、被験者が落下してきたボールの衝撃によって引き起こされた手首の伸展に如何に対処して捕球動作を行ったか、またその捕球動作時の意識の持ち方によってM2の大きさが変化するものと予想することができる。すなわち、捕球動作が手首の伸展に抵抗するような動作で行われる被験者では、M2がはっきりと出現し、逆に、その伸展にあえて抵抗しないような動作で捕球する被験者では、M2が出現しにくいということが考えられる。

本実験では被験者に対して単に「ボールを強く把握せよ」という教示を与えた。落下してきたボールの運動エネルギーにより引き起こされる手首の伸展は捕球動作の一連の過程の中で行われ、また被験者はその手首の伸展に対して特に意識していないと考えられる。したがって、落下してきたボールによる手首の伸展に対しては各被験者が自由に対処し、

また その伸展に対する意識の持ち方も様々であったと考えられる。M2の出現の状況が様々であったという結果は、本実験での捕球動作が随意的で自由な活動状況下において行われたということを示唆するものであると考える。

第2節 反復経験によるM1、M2の変動について

Wolpawら(1983)[67][68][69]、Christakosら(1983)[8]、Meyer-Lohmannら(1986)[51]は、サルにおいて、M1及びM2の大きさが1日数百から数千回の練習を数カ月から数年間持続する長期間の練習によって変化していくことを報告している。彼らは、M1及びM2の大きさが変化したことは伸張反射の可塑性を示すものであると述べている。本実験においては、結果の第2節に示したように、M1及びM2の大きさの反復経験による変動が認められたが、この事は、彼らが言う伸張反射の可塑性がヒトで

短時間で起こり得るということを暗示するものであるかもしれない。

(1) M1について

結果の第2節に示したように、M1の振幅は、反復的に経験を積む過程において、変動するということ、またその変動のパターンには個人差があるということが認められた。

M1の振幅は、筋伸張の速度すなわち手首の変位の角速度と密接に関係することがLeeとTatton(1982)[43]によって報告されている。しかしながら、本実験では、結果の第4節に示したように手首の伸展角度及び最高伸展速度は、捕球動作を300回行った過程においてほとんど変化していなかったにもかかわらず、M1の振幅が変動するという結果が示された。したがって、M1の振幅の変動と伸展速度の関係は明確に示されず、本実験ではM1の振幅の変動を手首の伸展の速度から説明することはできなかった。

M1は、脊髄における単シナプス性の伸張

反射として一般に考えられている。(18)(42)(46)(61)(67) したがって、M1の振幅の変動はα運動ニューロンプールに対する脊髄より上位の中枢の活動によって影響されたとの推測も可能である。すなわち、M1の振幅の変動のパターンに個人差が認められたのは、脊髄の伸張反射弓に対する上位の中枢の影響の様式が各被験者によって相違していたということが考えられる。もし脊髄より上位の中枢の活動が主働筋のα運動ニューロンプールに対して影響を及ぼしているのならば、主働筋のα運動ニューロンプールの興奮性にその影響が反映されるものと考えられる。そこで本実験では、結果の第3節に示したように、H反射を記録し、M1の振幅の変動とα運動ニューロンプールの興奮性との関係を検討した。しかし、その結果においては、M1の振幅の変動とα運動ニューロンプールの興奮性との間には関係がないと結論された。しかしながら、この点については再検討の余地があると思われる。というの

は、本実験では、H反射が捕球実験の各セットの終了後に記録されたので、本実験のH反射の結果は捕球動作遂行中のα運動ニューロンプールの興奮性を反映するものではないかもしれないと思われる。したがって、今後、捕球動作を遂行している最中にH反射を記録し、再検討する必要があることが示唆された。

以上考察したように、M1の振幅が反復経験によって変動したこと、またその変動のパターンに個人差が認められたことにおいて、どのような要因が最も強い影響要因になり得るかについては、現在の結果からは何とも言えない。

(2) M2について

M2は、結果の第1節と第2節に示したように、全く認められないか、認められたとしても経験を重ねると減衰していく傾向を示した。M2の出現について被験者間で差異が示されたことは、考察の第1節で述べたように本実験では、手首の伸展の持続時間がその要

因ではなく、落下してきたボールによる手首の伸展に対して被験者が自由に対処し、その伸展（外乱）に対する被験者の意識が様々であると予測されたからと考えた。それでは、M2が経験を積む前の初期において認められた被験者において、そのM2が減衰していったのは何故であろうか。前述したように、M2の大きさには、その刺激とされる伸展の持続時間が関係するという報告がある。(28)43) 本実験では、結果の第4節（Fig.9, Table 3）で示したように、手首の伸展角度と最高伸展速度は、各被験者が捕球動作を反復経験していく過程においてほとんど変化していなかったので伸展の持続時間もほとんど変化していないものと考えた。したがって本実験では、M2の大きさの減少を伸展の持続時間から説明することはできなく、別の要因で生じるものと考えられる。

その要因としては考察の第1節で述べたように、被験者が外乱に対してどのような意識

を持ち、どのように対処して行ったかによると考えることができる。すなわち、経験を積む過程でM2の大きさが変動したのは、落下してきたボールの衝撃により引き起こされた手首の伸展に対する被験者の意識また対応の仕方が変容したからではないだろうかと考えられる。前述したように、M2の大きさは被験者が外乱に対して事前に”抵抗せよ”と指示された時大きくなり、”従え”と指示されそのように対処した時小さくなることが報告されている。[9)34)42)57)] これにしたがってM2の大きさが経験を積むにつれて減少していったことを考えれば、経験を積むことによって被験者はその外乱に対して”抵抗する”という意識また対処の仕方から”従う”という意識また対処の仕方へとその捕球動作の内容を変容させていったのではないかという推測もできる。

また文献考証の第2節で述べたように、M2の生成に大脳皮質を必要とし、M2が大脳皮質経由の反射であると考えれば、[10)11)23)24)26)42)61)] M2の大

きさの変化は、経験を積む過程における大脳皮質の活動の変化を反映するものと考えられる。したがって、経験を積むにつれてM2が減衰していったことは、M2を生成するのに関わった大脳皮質の活動が経験を積むにつれて減少していったことを予想させる。

第3節　視覚情報を遮断した場合の反射性筋放電について

本実験では、捕球動作時に出現した反射性筋放電（M1、M2）が特に視覚情報を遮断した時にどのような様相を呈するのかの点についても3名の被験者において検討した。この実験試行の場合は、被験者は捕球動作時に目かくしをされ、ボールの落下状況を見ることができない状態で行われた。また、このような遮眼条件での捕球動作は通常の捕球動作の試行系列がすべて終了した後に行われ、その際の実験方法は通常の捕球動作の実験方法と同様の方法で行われた。遮眼条件での捕球

動作は50回の試行のみで、それらについての反復経験による影響は検討されなかった。

Fig.10

Fig.10は、3名の被験者について、遮眼条件での50回の捕球動作を平均加算し、そのAveraged EMGに出現したM1、M2の振幅を、通常の捕球実験の第1セットの振幅をコントロール値(100%)として、その相対値として求めたものである。

M1においては、Fig.10に示されるように、遮眼条件でのM1の振幅は、通常の捕球実験の第1セットまた第6セットのものと比較して著しく小さかった。すなわち、遮眼条件でのM1の振幅は、それより前に行われた通常の捕球動作時のM1の反復経験による変動の傾向にかかわらず、一様に小となることが認められた。

一方、M2については、通常の捕球動作時に認められなかった者(H.K, H.T)では遮眼条件においても同様に認められなかった。また、通常の捕球実験時において反復経験して

いく過程でその振幅が小となる傾向を示した被験者(H.N)の遮眼条件での振幅は、第6セットのものとの差はほとんどないが、第1セットと比較すれば、M1と同様に小さかった。

以上の結果から、捕球動作時に出現する反射性筋放電、特にM1の振幅は視覚情報の有無によって影響されることが示された。しかしながら、M1の振幅が視覚情報の有無によって影響されたことがどのような要因で生じたのかについては、現在の結果だけでは解明できないので、今後さらに検討する必要があるものと思われる。

第6章　結論

随意的で自由な活動状況下で行われる捕球動作時の手首の屈筋に、従来報告されていたM1とM2に相当する反射性筋放電が認められた。M1は被験者全員に認められたが、M2はその出現の状況に個人差があった。

捕球動作を反復経験することによってM1及びM2の振幅は変動した。M1の変動の傾向には個人差があったが、M2の振幅は経験を積むにつれて減少していく傾向が強いことが示された。以上の結果より、M1及びM2の生成に関わる神経系のメカニズムは可塑性を有することが示唆された。

第7章　要約

1、反射性筋放電が捕球動作時に出現するかどうかを検討するため、落下してきたボールを捕球する動作を10名の被験者に行わせた。捕球の際、ボールの衝撃により手首の伸展が生じた。この捕球動作時の筋電図を前腕の屈筋及び伸筋より表面電極を用いて導出し、平均加算した。

2、平均加算された屈筋の筋電図において、連続している二つに分離された筋電図反応が被験者の半分で観察された。それらのpeakの潜時を測定したところ、最初のpeakは約25msec、二番目は約50msecであり、それらの筋電図反応は従来報告されていたM1、M2に相当するものと考えた。M1は被験者の全員に認められた。M2は被験者の半分にのみ認められ、その出現の状況に個人差があった。

3、M1及びM2の大きさが捕球動作を反復経験することによって変化するかどうかを検討するため、捕球動作を300回行わせた。そ

の結果、経験を積む過程においてM1及びM2の振幅が変動することが示された。M1の振幅の変動の傾向には個人差が認められた。M2の振幅は経験を積むにつれて減少していく傾向が強いことが示された。

4、反復経験していく過程の屈筋のα運動ニューロンプールの興奮性の動態を調べるため、数名の被験者においてH反射が記録された。その結果、屈筋のα運動ニューロンプールの興奮性はほとんど変化していなく、本実験ではM1及びM2の振幅の変動とは関係していなかった。

5、手首の動きに関するパラメーターとして、手首の伸展角度と最高伸展速度が数名の被験者について求められた。その結果、手首の伸展角度と最高伸展速度は、各被験者の反復経験していく過程でほとんど変化していなく、本実験ではこれらの伸展のパラメーターがM1及びM2の出現及び変動の要因とは考えられなかった。

6、以上の結果より、捕球動作時に反射性筋放電すなわち、M1及びM2が出現し、それらの振幅は反復経験することによって変化すること、またそれらの生成に関わる神経系のメカニズムは可塑性を有することが示唆された。

謝辞

稿を終るに臨み、御指導を賜った本大学体育学部生理学研究室石田絢子教授、並びに実験に際し終始御親切なる御指導、御示唆を下さった米田継武講師に深く感謝の意を表します。

併せて、本実験の被験者として御協力頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

1) Allum,J.H.J. :Responses to load disturbances in human shoulder muscles:the hypothesis that one component is a pulse test information signal.Exp.Brain Res.,22:307-326(1975)

2) Bawa,P.& Tatton,W.G. :Motor unit responses in muscles stretched by imposed displacements of the monkey wrist.Exp.Brain Res.,37:417-437(1979)

3) Bulbulian,R.& Darabos,B.L. :Motor neuron exicitability:the Hoffmann reflex following exercise of low and high intensity. Med.Sci.Sports Exerc.,18:697-702(1986)

4) Calancie,B.& Bawa,P. :Firing patterns of human flexor carpi radialis motor units during the stretch reflex.J.Neurophysiol.,53 :1179-1193(1985)

5) Capaday,C.& Stein,R.B. :Difference in the amplitude of the human soleus H reflex during walking and running.J.Physiol.,392:513-522 (1987)

6) Cavallari,P.,Fournier,E.,Katz,R.,Pierrot-Deseilligny,E.& Shindo,M. :Changes in reciprocal Ia inhibition from wrist extensors to wrist flexors during voluntary movement in man.Exp.Brain Res.,56:574-576 (1984)

7) Chan,C.W.Y.,Melvill-Jones,G.,Kearney,R.E.& Watt,D.G.D. :The 'late' electromyographic response to limb displacement in man. I .Evidence for supraspinal contribution.Electroencephalogr.Clin.Neurophysiol. ,46:173-181(1979)

8) Christakos,C.N.,Wolf,H.& Meyer-Lohmann,J. :The 'M2' electromyographic response to random perturbations of arm movements is missing in long-trained monkeys.Neurosci.Lett.,41:295 -300(1983)

9) Colebatch,J.G.,Gandevia,S.C.,McCloskey,D.I.& Potter,E.K. :Subject instruction and long latency reflex response to muscle stretch. J.Physiol.,292:527-534(1979)

1 0) Conrad,B.,Matsunami,K.,Meyer-Lohmann,J.,Wiesendanger,M.& Brooks,V. B. :Cortical load compensation during voluntary elbow movements. Brain Res.,71:507-514(1974)

1 1) Conrad,B.,Meyer-Lohmann,J.,Matsunami,K.& Brooks,V. :Precentral unit activity following torque pulse injections into elbow movements.Brain Res.,94:219-236(1975)

1 2) Crenna,P.& Frigo,C. :Excitability of the soleus H-reflex arc during walking and stepping in man.Exp.Brain Res.,66:49-60(1987)

１３) Darton,K.,Lippold,O.C.J.,Shahani,M.& Shahni,U. :Long-latency reflexes in humans.J.Neurophysiol.,53:1604-1618(1985)

１４) Delwaide,P.J.& Toulouse,P. :Jendrassik maneuver vs controlled contractions conditioning the excitability of soleus monosynaptic reflexes.Arch.Phys.Med.Rehabil.,61:505-510(1980)

１５) Deschuytere,J.,Rosselle,N.& Keyser,C.D. :Monosynaptic reflexes in the superficial forearm flexors in man and their clinical significance.J.Neurol.Neurosurg.Psychiat.,39:555-565(1976)

１６) Dietz,V.& Noth,J. :Pre-innervation and stretch responses of triceps bracchii in man falling with and without visual control. Brain Res.,142:576-579(1978)

１７) Dietz,V.& Noth,J. :Spinal stretch reflexes of triceps surae in active and passive movements.J.Physiol.,284:180-181P(1978)

１８) Dietz,V.,Noth,J.& Schmidtbleicher,D. :Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls.J.Physiol.,311:113-125(1981)

１９) 藤森　聞一　:H波及びMonosynaptic reflex とその中枢機序に及ぼす諸要因,脳と神経,10:823-837(1958)

２０) Eichenberger,A.& Ruegg,D.G. :Relation between the specific H reflex facilitation preceding a voluntary movement and movement parameters in man.J.Physiol.,347:545-559(1984)

２１) Eklund,G.,Hagbarth,K.E.,Hagglund,J.V.& Wallin,E.U. :Mechanical oscillations contributing to the segmentation of the reflex electromyogram responses to stretching human muscles.J.Physiol., 326:65-77(1982)

２２) Eklund,G.,Hagbarth,K.E.,Hagglund,J.V.& Wallin,E.U. :The 'late' reflex responses to muscle stretch:the 'resonance hypothesis' versus the 'long-loop hypothesis' J.Physiol.,326:79-90(1982)

２３) Evarts,E.V. :Motor cortex reflexes associated with learned movement.Science,179:501-503(1973)

２４) Evarts,E.V.& Fromm,C. :Transcortical reflexes and servo control of movements.Can.J.Physiol.Pharmcol.,59:757-775(1981)

２５) Evarts,E.V.& Tanji,J :Gating of motor cortex reflexes by prior instruction.Brain Res.,71:479-494(1974)

２６) Evarts,E.V.& Tanji,J. :Reflex and intended responses in motor cortex pyramidal tract neurons of monkey.J.Neurophysiol.,39:1069-1080(1976)

２７) 藤原　哲司　:筋電図マニュアル,第１版.67-71,金芳堂:京都(1985)

2 8) Ghez,C.& Shinoda,Y. :Spinal mechanisms of the functional stretch reflex.Exp.Brain Res.,32:55-68(1978)

2 9) Granit,R. :The basis of motor control.264-276,Academic Press : London(1970)

3 0) Granit,R. :The purposive brain.133-156,The MIT Press :Cambridge (1977)

3 1) Hagbarth,K.E.,Young,R.R.,Hagglund,J.V.& Wallin,E.U. :Segmentation of human spindle and EMG responses to sudden muscle stretch. Neurosci.Lett.,19:213-217(1980)

3 2) Hagbarth,K.E.,Hagglund,J.V.,Wallin,E.U.& Young,R.R. :Grouped spindle and electromyographic responses to abrupt wrist extension movements in man.J.Physiol.,312:81-96(1981)

3 3) Hammond,P.H. :Involuntary activity in biceps following the sudden application of velocity to the abducted forearm.J.Physiol.,127:23-25P(1954)

3 4) Hammond,P.H. :The influence of prior instruction to the subject on an apparently involuntary neuro-muscular response.J.Physiol.,132: 17-18P(1956)

３５）Hoffmann,P.A. :Beiträge zur kennt niss der menschlichen reflexe mit besonderer berücksichtigung der elektrischen erocheinungen. Arch.Physiol.,1910:223-246(1910)

３６）Hugon,M. :Methodology of the Hoffmann reflex in man.New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology, In Desmedt,J.E. ed.,vol.3,:277-293(1973)

３７）笠井　達哉　:脊髄の興奮性と反応時間の関係.体育学研究,25:95-104(1980)

３８）笠井　達哉　:下肢肢位変化による反応時間とＨ波の変動性.体育学研究,26:129-135(1981)

３９）川口　新一郎　&渡辺　誠介　:筋電図の検査法とその読み方（２）Ｈ波.神経内科,6:400-406(1977)

４０）久保田　競　:随意運動メカニズムの特集にあたって.神経研究の進歩,28:3-6(1984)

４１）Kuffler,S.W.,Nicholls,J.G.& Martin,A.R. :From neuron to brain :a cellular approach to the function of the nervous system.2nd ed.105-109,Sinauer Associates Inc.:Sunderland(1984)

４２) Lee,R.G.& Tatton,W.G. :Motor responses to sudden limb displacements in primates with specific CNS lesions and in human patients with motor system disorders.Can.J.Neurol.Sci.,2:285-293 (1975)

４３) Lee,R.G.& Tatton,W.G. :Long latency reflexes to imposed displacements of the human wrist:dependence on duration of movement.Exp.Brain Res.,45:207-216(1982)

４４) Liddell,E.G.T.& Sherrington,C.C. :Reflexes in response to stretch (myotatic reflexes).Proc.R.Soc.Lond.,B.96:212-242(1924)

４５) Loo,C.K.C.& McCloskey,D.I. :Effects of prior instruction and anaesthesia on long-latency responses to stretch in the long flexor of the human thumb.J.Physiol.,365:285-296(1985)

４６) Marsden,C.D.,Merton,P.A.& Morton,H.B. :Stretch reflex and servo action in a variety of human muscles.J.Physiol.,259:531-560(1976)

４７) Marsden,C.D.,Merton,P.A.,Morton,H.B.,Rothwell,J.C.& Traub,M.M. : Reliability and efficacy of the long-latency stretch reflex in the human thumb.J.Physiol.,316:47-60(1981)

４８) 松波　謙一　:皮質経由の反射と随意運動.神経研究の進歩,28:47-57 (1984)

４９) Matthews,P.B.C. :Mammalian muscle receptors and their central actions.Arnold:London(1972)

５０) Matthews,P.B.C. :Evidence from the use of vibration that the human long-latency stretch reflex depends upon spindle secondary afferents.J.Physiol.,348:383-415(1984)

５１) Meyer-Lohmann,J.,Christakos,C.N.& Wolf,H. :Dominance of the short-latency component in perturbation induced electromyogrphic responses of long-trained monkeys.Exp.Brain Res.,64:393-399(1986)

５２) Miller,A.D.& Brooks,V.B. :Late muscular responses to arm perturbations persist during supraspinal dysfunctions in monkeys. Exp.Brain Res.,41:146-158(1981)

５３) Noth,J.,Friedemann,H.H.,Podoll,K.& Lange,H.W. :Absence of long latency reflexes to imposed finger displacements in patients with huntington's disease.Neurosci.Lett.,35:97-100(1983)

５４) Noth,J.,Podoll,K.& Friedemann,H.H. :Long-loop reflexes in small hand muscles studied in normal subjects and in patients with huntington's disease.Brain,108:65-80(1985)

５５) 大村　平：微積分のはなし.下，第１版，pp. 221-245,日科技連出版社：東京 (1972)

５６) Phillips,C.G.,Powell,T.P.S.& Wisendanger,M. :Projection from low-threshold muscle afferents of hand and forearm to area 3a of baboon's cortex.J.Physiol.,217:419-446(1971)

５７) Rothwell,J.C.Traub,M.M.& Marsden,C.D. :Influence of voluntary intent on the human long-latency stretch reflex.Nature,286:496-498 (1980)

５８) Schieppati,M.& Crenna,P. :From activity to rest:gating of excitatory autogenetic afferences from the relaxing muscle in man. Exp.Brain Res.,56:448-457(1984)

５９) Tanaka,R. :Reciprocal Ia inhibition during voluntary movements in man.Exp.Brain Res.,21:529-540(1974)

６０) 田中　勵作:H反射-ヒトにおける神経生理学研究の一技法.日本生理誌,48 :719-734(1986)

６１) Tatton,W.G.,Forner,S.D.,Gerstein,G.L.Chambers,W.W.& Liu,C.N. :The effect of postcentral cortical lesions on motor responses to sudden upper limb displacements in monkeys.Brain Res.,96:108-113 (1975)

６２) Toulouse,P.& Delwaide,P.J. :Reflex facilitation by remote contraction:topographic aspects.Arch.Phys.Med.Rehabil.,61:511-516 (1980)

6 3) Tracey,D.J.,Walmsley,B.& Brinkman,J. : 'Long-loop' reflexes can be obtained in spinal monkeys.Neurosci.Lett.,18:59-65(1980)

6 4) Vilis,T.& Cooke,J.D. :Modulation of the functional stretch reflex by the segmental reflex pathway.Exp.Brain Res.,25:247-254(1976)

6 5) Wolpaw,J.R. :Reflexes capable of change:Models for the study of memory.Federation Proc.,41:2146(1982)

6 6) Wolpaw,J.R. :Change in short-latency responses to limb displacement in primates.Federation Proc.,41:2146(1982)

6 7) Wolpaw,J.R.,Kieffer,V.A.,Seegal,R.F.,Braitman,D.J.& Sanders,M.G.: Adaptive plasticity in the spinal stretch reflex.Brain Res.,267: 196-200(1983)

6 8) Wolpaw,J.R. :Adaptive plasticity in the primate spinal stretch reflex:reversal and re-development.Brain Res.,278:299-304(1983)

6 9) Wolpaw,J.R. :Adaptive plasticity in primate spinal stretch reflex: initial development.J.Neurophysiol.,50:1296-1311(1983)

7 0) Wolpaw,J.R. :Adaptive plasticity in the spinal stretch reflex:an accessible substrate of memory?.Cell.Mol.Neurobiol.,5:147-165 (1985)

7 1) Wolpaw,J.R.& O'Keefe,J.A. :Adaptive plasticity in the primate spinal stretch reflex:evidence for a two-phase process.J.Neurosci. ,4:2718-2724(1984)

7 2) Wolpaw,J.R.,O'Keeefe,J.A.,Noonan,P.A.& Sanders,M.G. :Adaptive plasticity in primate spinal stretch reflex:Persistence. J.Neurophysiol.,55:272-279(1986)

Reflex Muscle Discharges of Human Wrist Flexors during Ball Catching Movements

Dai Yanagihara

Summary

The purpose of this study was to investigate the appearance of reflex muscle discharges of human wrist flexors during ball catching movements and the progressive influences of experience on the reflex muscle discharges.

Reflex activities of wrist flexors while catching a ball were studied by means of averaged surface EMG method. Impact force occurring when subjects caught the ball resulted in wrist extensions. Averaged EMG responses of flexor muscles in half of the subjects consisted of two successive segmented EMG activities. The first segment occured with a peak latency of about 25 msec. The second segment occured with a peak latency of about 50 msec. These segments were identified as M1 and M2 which have been reported in the previous study. M1 were observed in all of the subjects. However, M2 were observed in only half of the subjects.

Furthermore, to investigate the progressive influences of experience on M1 and M2, subjects performed 300 trials of the ball catching movement. The amplitudes of M1 and M2 changed with progressive experience. The changes of the amplitudes of M1 showed individual differences. The amplitudes of M2 decreased with progressive experience.

During the process of progressive experience, in order to study the change of excitability of the α-motoneuron pool of flexors, H-reflex was recorded for a few subjects. As a result, it was found that the excitability of the α-motoneuron pool was almost constant. That is, it was shown that the excitability of the α-motoneuron pool was not related to the changes of amplitudes of M1 and M2 in this study.

Angles and maximal velocities of wrist extension were calculated for a few subjects, as the parameters of wrist extension. Angles and maximal velocities were almost constant during the progressive experience. Therefore, in this study, these variables were considered not to be factors which affect the appearance or changes of M1 and M2.

From the consideration of the above results, it was suggested that M1 and M2 of reflex EMG responses would be affected by progressive experience and that their neural mechanisms possessed plasticity.

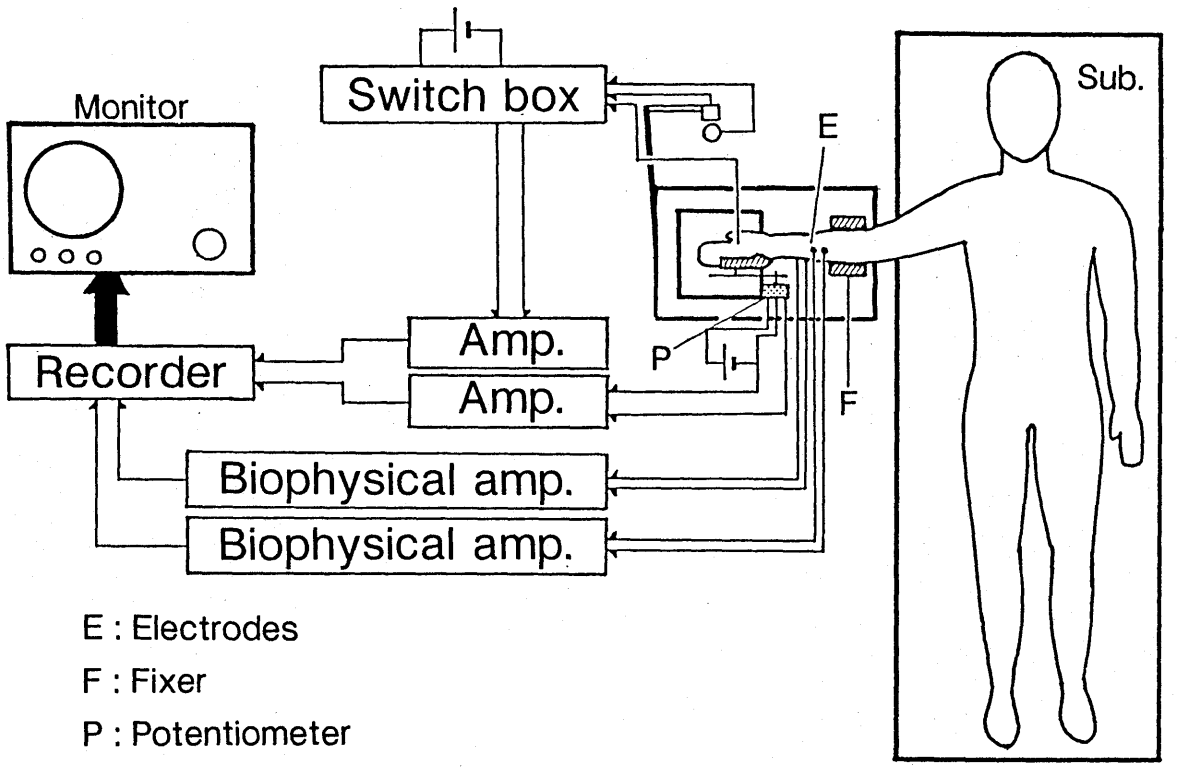
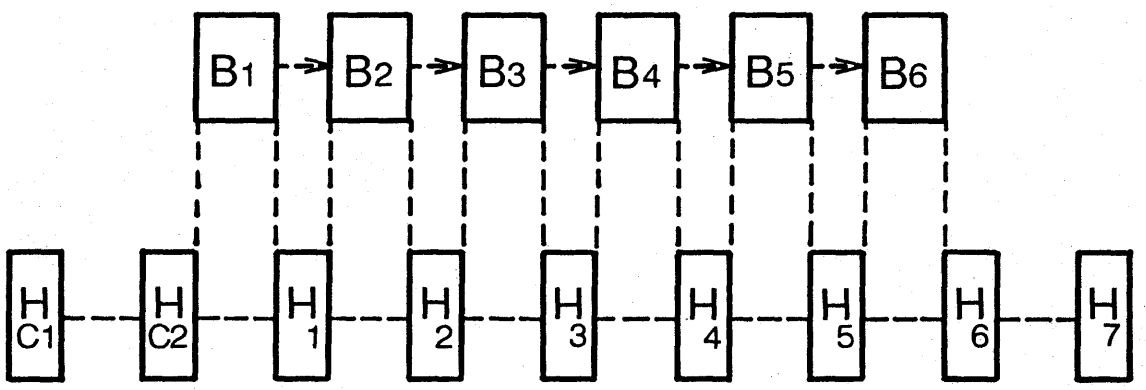


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus and recordings.

(順天堂大学用箋)



B (1-6) : The experiments of 50 ball catching movements

H (c1-7) : The experiments of evoked EMG (H-reflex and M-wave)
c1,c2 : control experiments

Fig.2 The process of experiments.

The ball catching experiment was constructed with 6 sets.

Each set consisted of 50 trials.

(順天堂大学用箋)

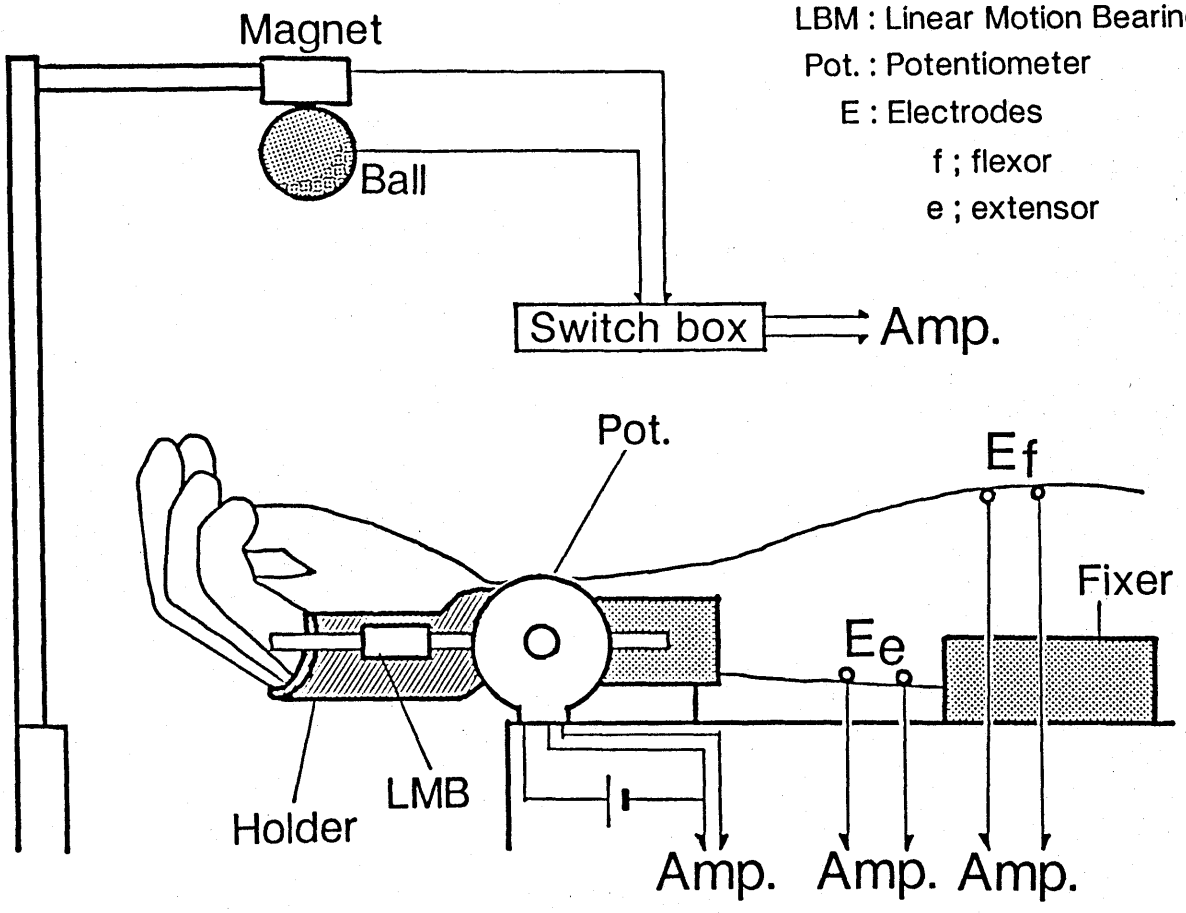


Fig.3 Experimental arrangement. Wrist extension was produced by the impact force of the fallen ball. EMG activities were recorded with surface electrodes over wrist flexors (Ef) and wrist extensors (Ee).

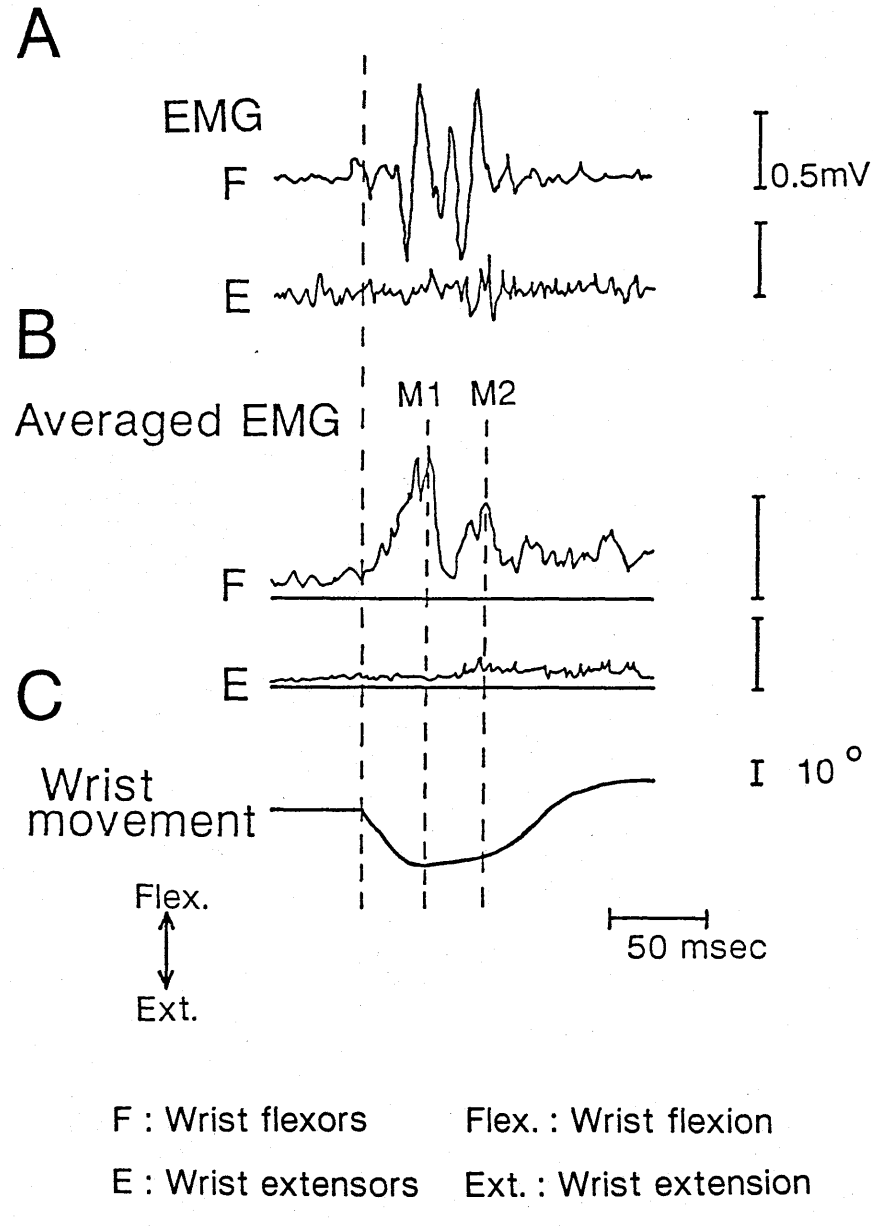


Fig.4 Typical records of raw EMG (A), averaged EMG of 50 trials (B) and wrist movement (C).

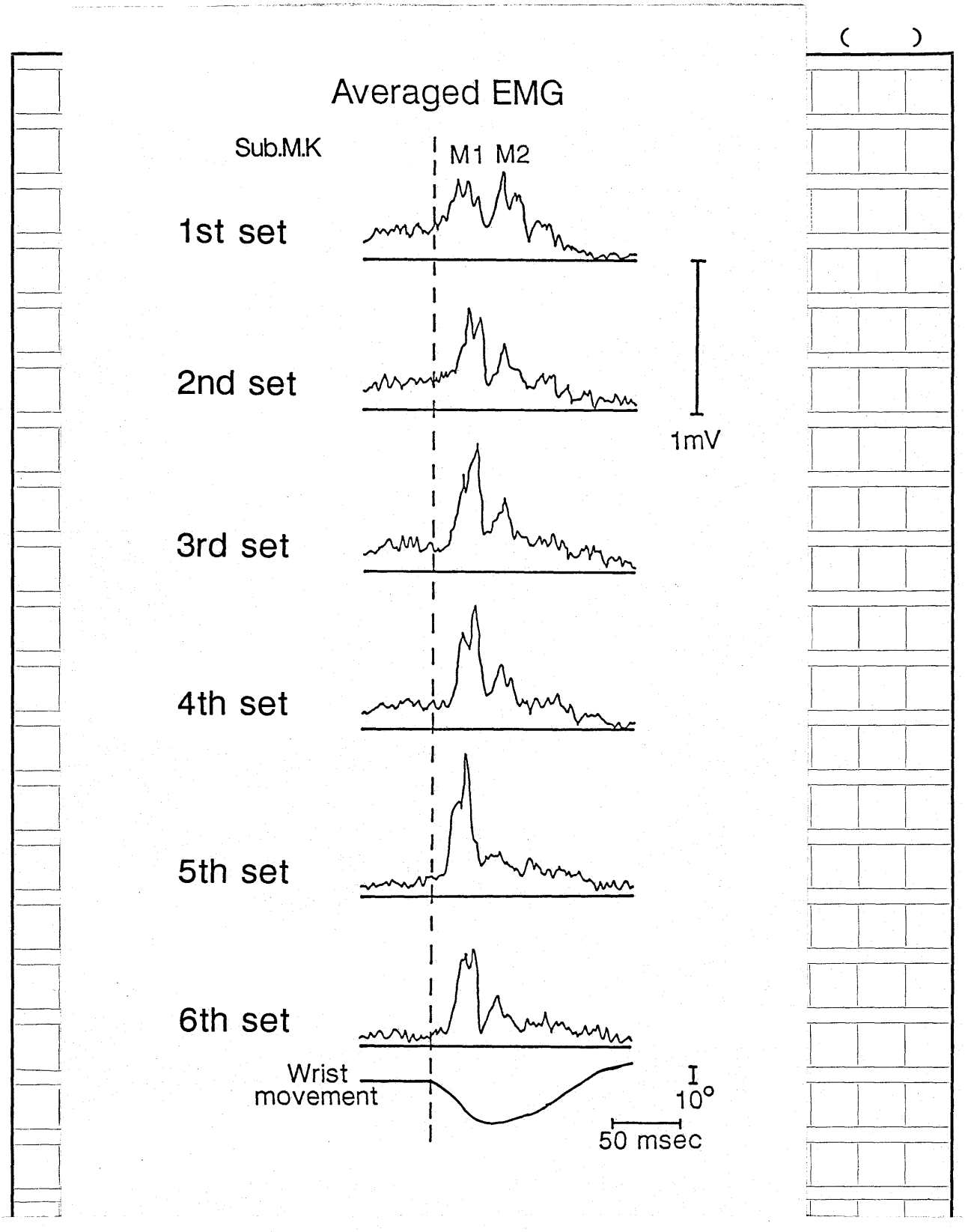


Fig.6 The change of averaged EMG responses (M1 and M2) of the wrist flexors occuring with progressive experience. Each trace (1st set - 6th set) is averaged EMG of 50 trials.

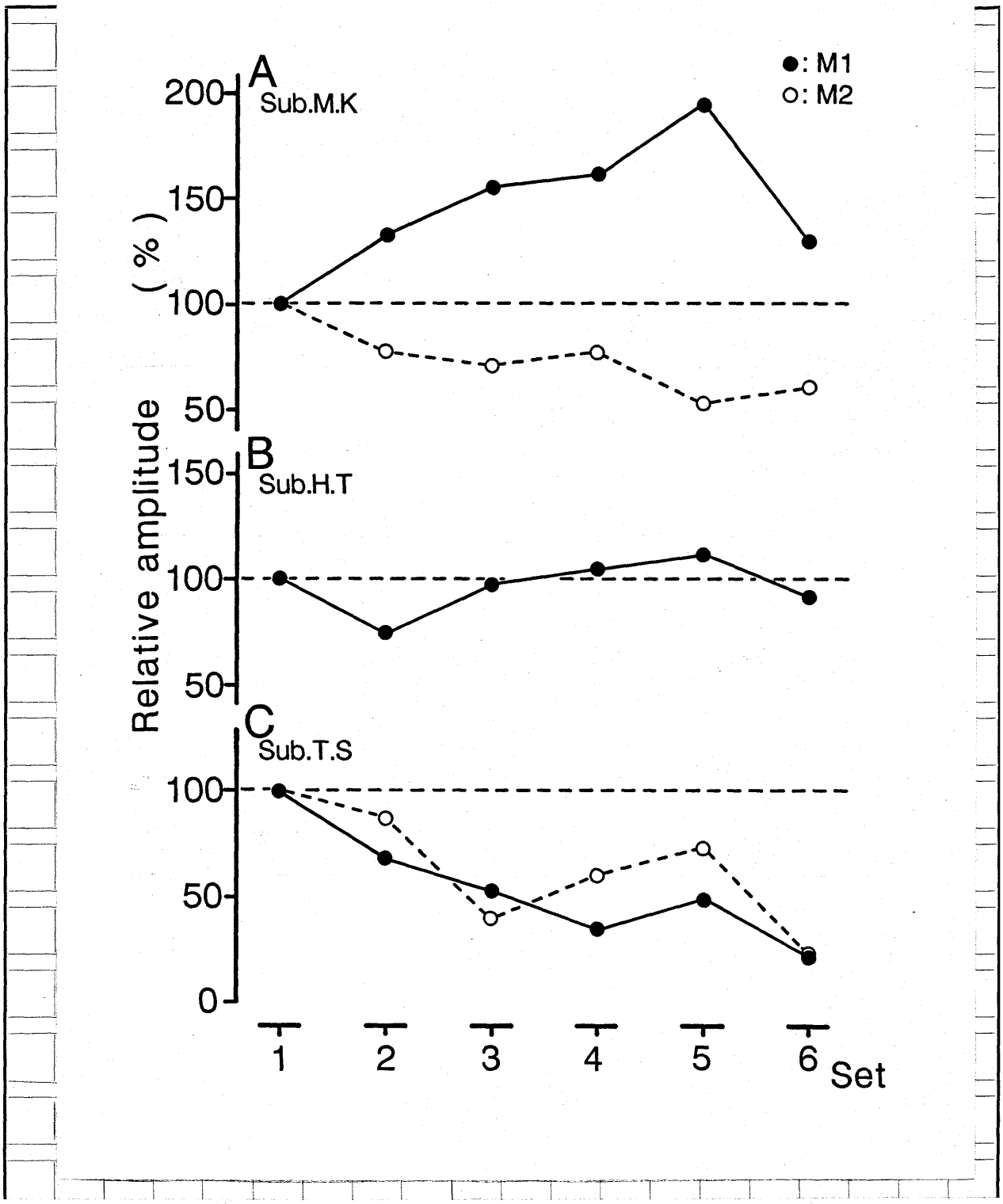


Fig.7 The changes of the amplitudes of M1 and M2 occuring with progressive experience in typical three subjects (A,B,C). M2 was not distinguished for sub.H.T .

(順天堂大学用箋)

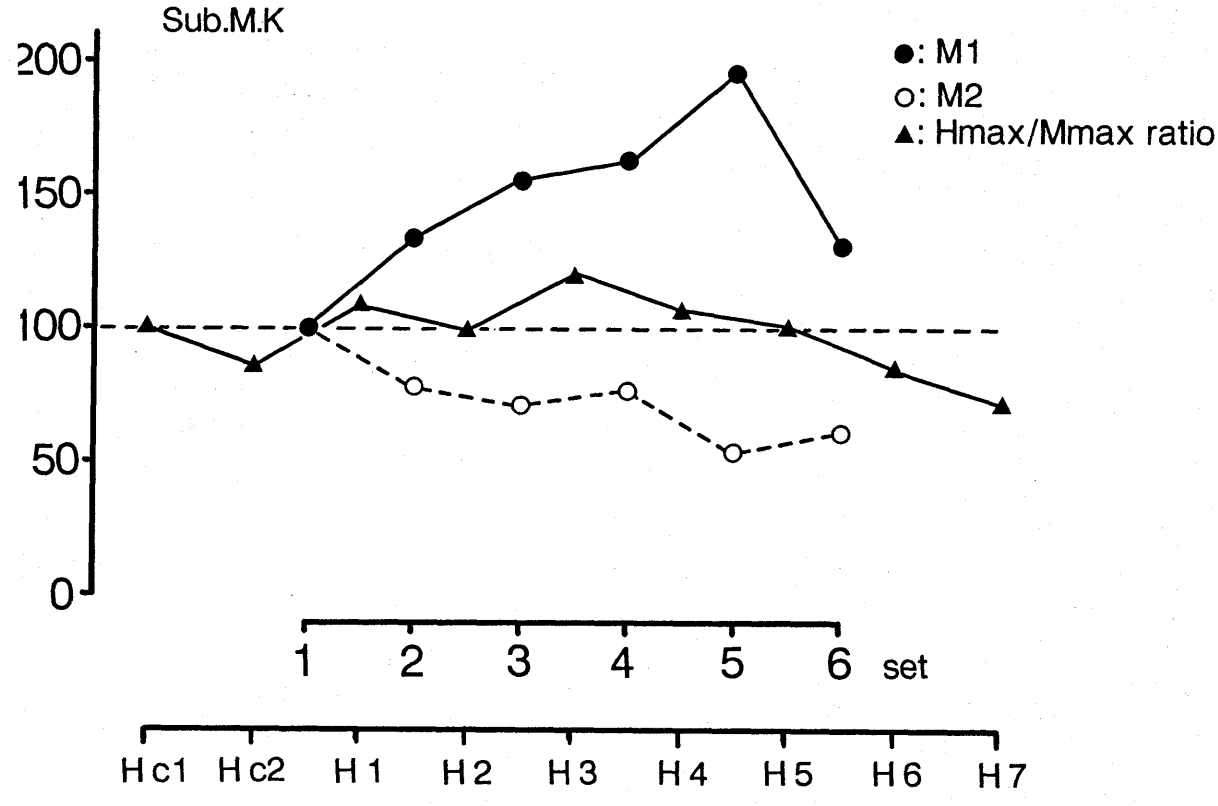


Fig.8 The changes of the amplitudes of M1 and M2, and of H max / M max ratio during the progressive experience.

(順天堂大学用箋)

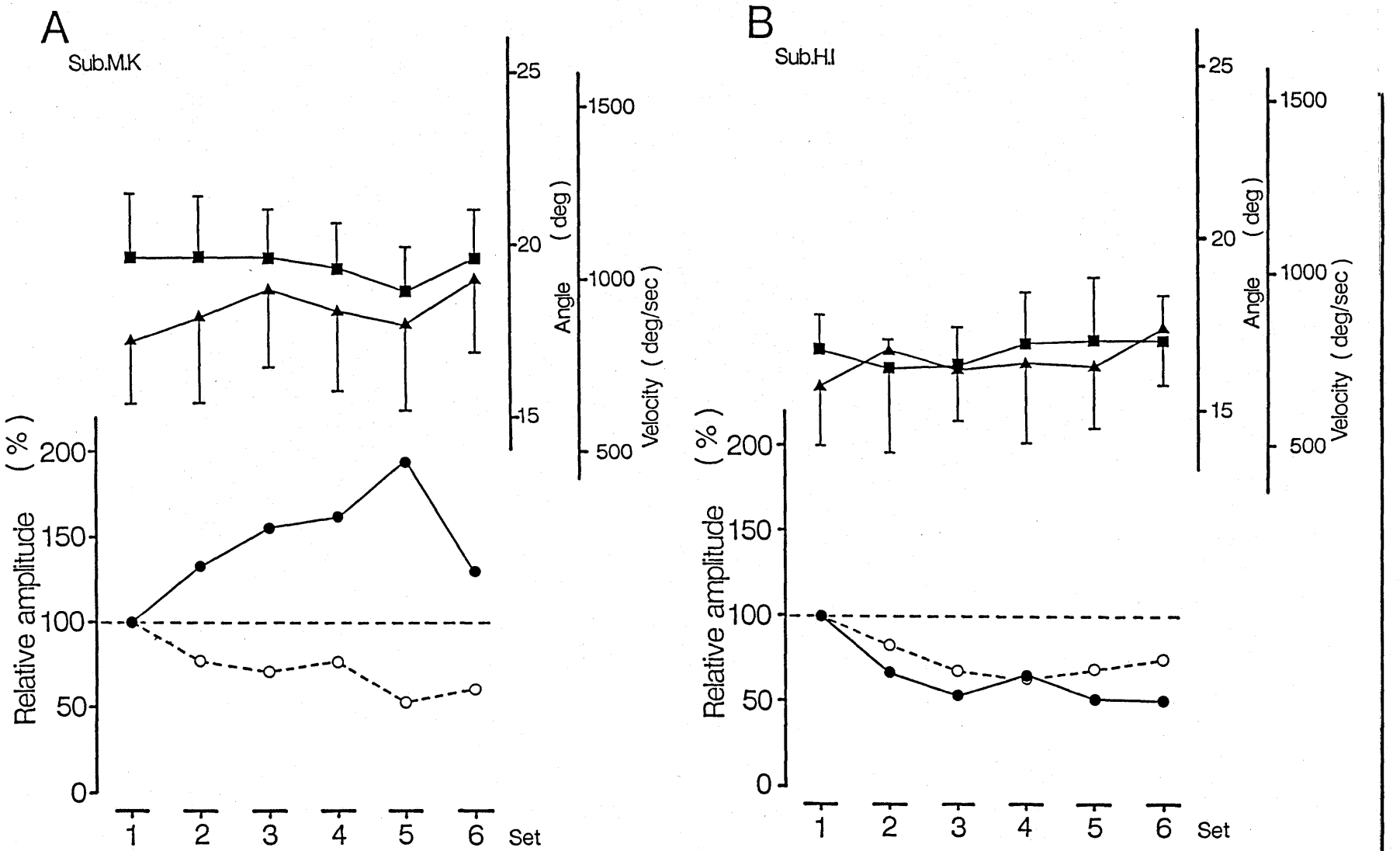


Fig.9 The changes of the amplitudes of M1 (●) and M2 (○), and of angles (▲) and maximal velocities (■) of wrist extension during the progressive experience.

(順天堂大学用箋)

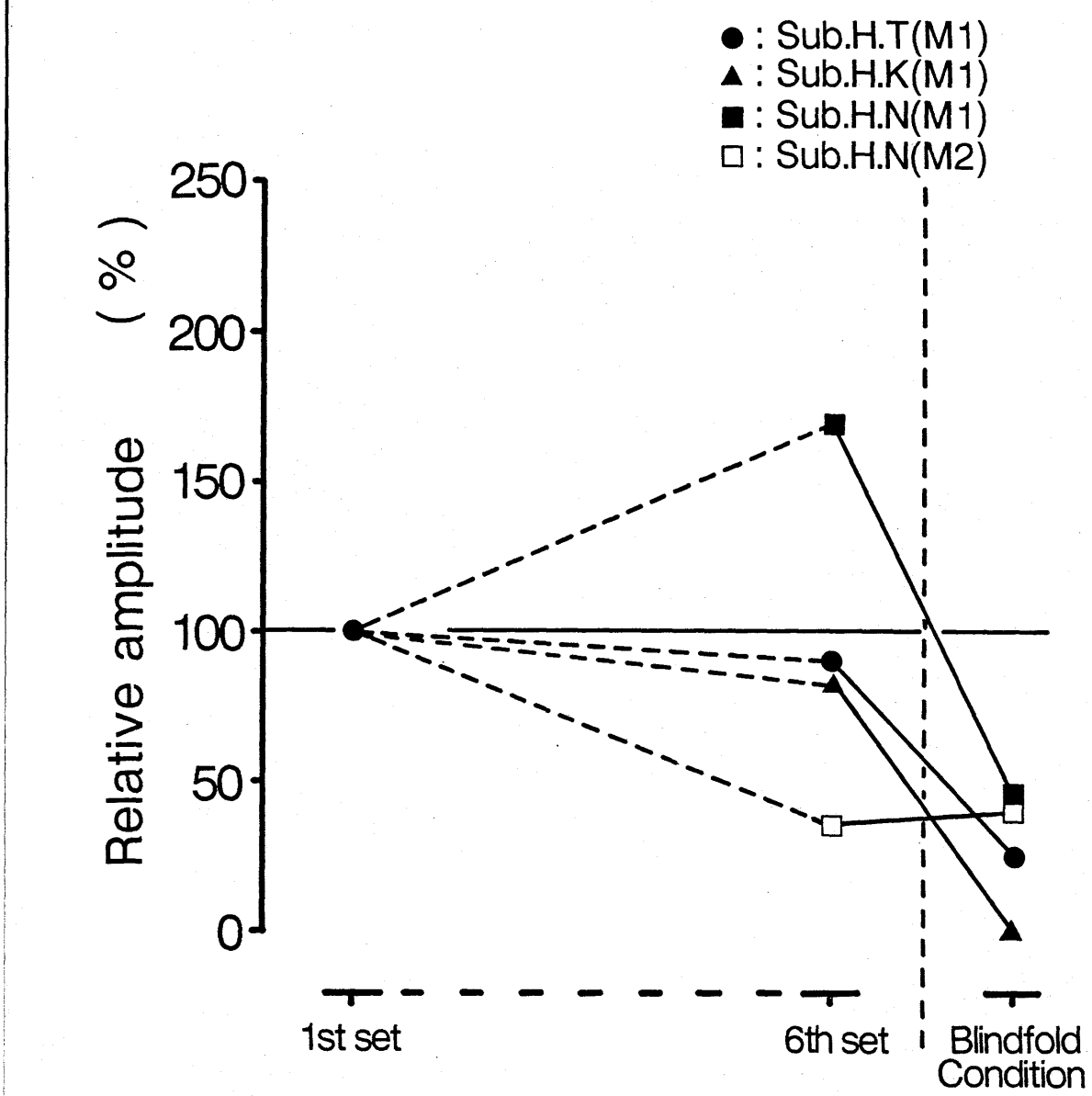


Fig.10 The effect of blindfold condition on the amplitudes of M1 and M2 in three subjects.

Table 1 Relative amplitudes (%) of M1 and M2.

Sub. \ Set		1	2	3	4	5	6
M. K	M1	100.0	133.0	155.4	161.1	195.6	129.0
	M2	100.0	77.7	70.8	77.5	53.6	60.9
Y. S	M1	100.0	104.2	120.8	126.1	118.9	136.6
	M2	100.0	82.2	97.9	63.1	58.5	61.4
H. N	M1	100.0	143.5	200.6	162.7	275.4	220.7
	M2	100.0	92.7	77.8	64.9	100.5	125.0
H. W	M1	100.0	119.1	214.0	322.7	202.9	220.5
	M2	*	*	*	*	*	*
H. K	M1	100.0	126.2	77.8	130.5	88.9	83.5
	M2	*	*	*	*	*	*
H. T	M1	100.0	74.2	97.0	104.5	111.3	91.0
	M2	*	*	*	*	*	*
T. Y	M1	100.0	76.9	98.4	125.3	111.0	77.3
	M2	*	*	*	*	*	*
H. I	M1	100.0	67.5	52.7	65.8	51.0	49.8
	M2	100.0	83.5	68.2	63.5	69.4	74.1
K. I	M1	100.0	95.9	68.0	72.1	67.7	56.6
	M2	*	*	*	*	*	*
T. S	M1	100.0	67.3	52.4	33.9	49.4	31.5
	M2	100.0	87.0	39.8	50.0	63.0	33.3

* : non-distinguishable

( )

Table 2 This table shows the tendencies of changes of M1 and M2 occuring with the progressive experience.

Sub.	M.K	Y.S	H.N	H.W	H.K	H.T	T.Y	H.I	K.I	T.S
M1	↗	↗	↗	↗	—	—	—	↘	↘	↘
M2	↘	↘	—	*	*	*	*	↘	*	↘

↗ : increase, — : no change

↘ : decrease, * : non-distinguishable

Table 3 Mechanical parameters of wrist extension in four subjects.

A : angles , B : maximal velocities.

Values are given as means ± SD (n=50).

A : angles (deg)

Set / Sub.	1	2	3	4	5	6
H.I	15.7±1.7	16.8±3.0	16.2±1.5	16.4±2.3	16.3±1.8	17.4±1.6
M.K	17.2±1.8	17.9±2.5	18.7±2.3	18.1±2.3	17.7±2.5	19.0±2.1
H.N	18.5±1.9	21.3±2.6	21.9±2.4	22.9±2.1	23.2±1.8	24.3±2.4
H.T	19.8±1.7	22.1±2.3	22.9±1.9	20.9±2.1	21.8±1.6	21.8±2.2

B : maximal velocities (deg/sec)

Set / Sub.	1	2	3	4	5	6
H.I	779± 95	725± 78	731±109	797±144	807±178	805±128
M.K	1067±178	1068±173	1064±138	1033±127	965±126	1060±144
H.N	1015±140	1266±226	1118±182	1225±138	1082±107	1090±108
H.T	1061±173	1114±116	1194±118	1074±103	1138±122	1048±113

（順天堂大学用箋）