

VII章. 運動開始前の持続的な随意収縮が体性感覚誘発電位に及ぼす影響

1. 目的

研究課題Ⅲまでに、運動開始前の持続的筋収縮状況において安静状況よりも CNV 後期成分が減少する結果を得た。また、研究課題Ⅲでは CNV 後期成分の減少がその構成要素である RP の減少と関係することが示された。さらに、これらの結果は行われた反応運動の要素や心理的要因と関係する可能性が少なく、持続的筋収縮に伴う生理的事象との関連が示唆された。そこで研究課題Ⅳでは持続的筋収縮に伴う末梢からの求心性入力に注目し、体性感覚誘発電位 (SEP) を用いて CNV の変化との対応を検討した。

2. 方法

被験者と実験状況

被験者は健常成人 9 名だった。被験者には事前に実験の主旨を説明し同意を得た。被験者の実験状況は研究課題Ⅰ～Ⅲと同様だった。持続収縮の大きさは実験課題Ⅲと同様に設定された。

実験課題

本実験において設定された課題を図 22 に示した。課題は大きくコントロールセッションとテストセッションに分けられた。コントロール試行は 2 種類あり、安静維持(control rest:CR)と、筋収縮維持(control contraction:CC)の状況であった。それぞれにおい

て、正中神経を肘レベルで 1ms の矩形波を用いて経皮的に電気刺激し、頭皮上から SEP を、橈側手根屈筋から H 反射を同時に誘発した。刺激強度は M 波最大振幅の 5%程度が得られるものとし、振幅が一定となるように、必要に応じて調節された。コントロール試行はテストセッション前後に 40 回施行した。テストセッションのデータは、その前後に得られたコントロール試行の M 波及び H 反射の波形に大きな変化が無いことを確認してから加算平均された。

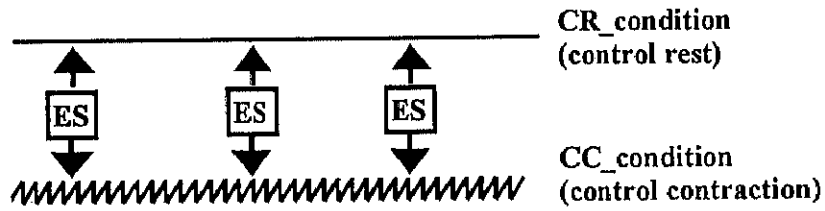
テストセッションでは以下のような種類の試行が設定された。1) 反応信号(RS)前 200ms の時点で電気刺激が与えられる試行, 2) CNV を得るために電気刺激が与えられない試行, 3) 反応信号(RS)の与えられないキャッチ試行であった。1)~3)には、それぞれ警告信号(WS)と反応信号(RS)の間が安静の安静状況(test rest:TR), 筋収縮を維持する収縮状況(test contraction:TC)が設定された。これらの設定はランダムに分配された。試行間隔は 4~5s であった。

持続収縮の大きさは研究課題Ⅲと同様に決定され、被験者の反応動作も研究課題Ⅲと同様であった。

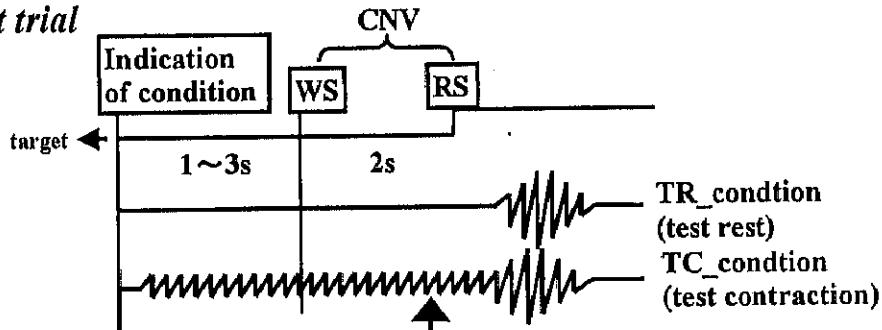
記録

脳波は、SEP に関しては Fz, C3" (C3 の後方 2cm), Cz" (Cz の後方 2cm), C4" から (C4 の後方 2cm) (時定数 0.03s, high cut 1.5 KHz), CNV に関しては Fz, Cz, Pz, C3, C4, C3' (C3 の前方 2cm), C3", C4" から両耳朶を基準として単極導出した (時定数: 5s, high cut: 100 Hz)。SEP と H 反射は 5KHz, CNV は 200Hz のサンプリング周波数で A/D 変換して off line 処理した。解析区間は CNV が警告信号 (WS) 前 1s から反応信号 (RS) 後 1s, SEP

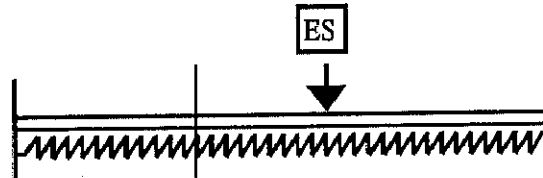
1) control trial



2) test trial



3) catch trial



ES:electrical stimuli
 WS:warning signal
 RS:response signal

図 2 2. 研究課題IVにおける課題の模式図。1) : コントロール試行。上段は安静状況, 下段は収縮状況。2) : テスト試行。"indication of condition"の時点で状況の教示が行われ, その1~3sの間にWSが, WSの2s後にRSが与えられる。RSの前200msの時点でSEPを誘発するための電気刺激が入る場合と, CNVを得るために電気刺激の与えられない試行がある。

と H 反射は電気刺激の提示前 50ms から提示後 150ms であった。

解析と統計

SEP はそれぞれの状況において刺激提示時点を基準に 60~80 回の脳波を加算平均することによって得られた。全ての被験者において、陰性と陽性の連続する 2 つのピークが観察され解析の対象とされた (図 23B と図 24 上段)。それぞれの頂点は潜時から N13, P19, N25, P35 と名付けられ、頂点間振幅が求められた。H 反射と M 波は 1 試行ごとのピーク振幅から平均値を算出した。CNV は警告信号 (WS) を基準に約 30 回の脳波を加算平均することによって得られた。また、CNV 後期成分は反応信号 (RS) 前 500ms の振幅の平均値として算出された。ベースラインは警告信号 (RS) 前 1s のデータの平均であった。筋電図反応時間 (EMG RT) の測定は実験 III と同様であった。

用いられた統計的手法について以下に述べる。C3" から得られた SEP に関して、それぞれの成分ごとに 1 要因の分散分析を行った。その後 N25 成分に関して状況ごとにコントロールとテスト試行間の平均値の差について対応のある t 検定を行った。CNV 後期成分に関しては導出部位と状況に関する 2 要因の分散分析を用いた。筋電図反応時間 (EMG RT) と H 反射には対応のある t 検定を用いて状況間の差を検討した。

3. 結果

体性感覚誘発電位 (SEP)

図 23 B に一人の被験者における SEP の記録例を示した。研究課題 IV では全ての被験者において刺激提示から 50ms 以内に、明らかな陰性と陽性のピークがそれぞれ 2 つ観察された。それ以後の成分に関しては波形が個々の被験者によって異なり、波形の同定も困難だったことから解析の対象とされなかった。全被験者をまとめた結果が図 24 である。SEP の各成分は、頂点潜時から N13, P19, N25, P35 と名付けられた。分散分析の結果 N25 成分に関して変化の傾向があった ($F=2.64$, $p=0.07$)。そこで、N25 成分に関して、コントロール試行とテスト試行を比較した (図 25BC)。その結果、安静状況ではコントロールに比べてテスト試行が有意に減少する結果を得た (図 25B) ($t=4.62$, $P<0.01$) が、収縮状況では両試行間で同様だった (図 25C) ($t=0.49$, $P=0.63$)。また、安静状況と収縮状況のコントロール試行間には、統計的な差は得られなかったが、9 人中 7 人において収縮状況の振幅が減少した (図 25A)。

H 反射

図 23 C に SEP 誘発刺激によって同時に誘発された H 反射の一人の被験者における例を示し、全被験者の H 反射振幅を図 26 に示した。安静と収縮の両状況において、統計的に有意な差は得られなかった (安静状況 : $t=0.21$, $P=0.83$, 収縮状況 : $t=1.3$, $P=0.22$) ものの、収縮状況において 9 人中 7 人の被験者がコントロールよりテスト試行において振幅を減少させた (図 26B)。

随伴性陰性変動 (CNV)

CNV 後期成分は状況間で統計的に有意な差は得られなかったものの ($F=1.02$, $P=0.31$)、全導出部位において収縮状況の減少傾

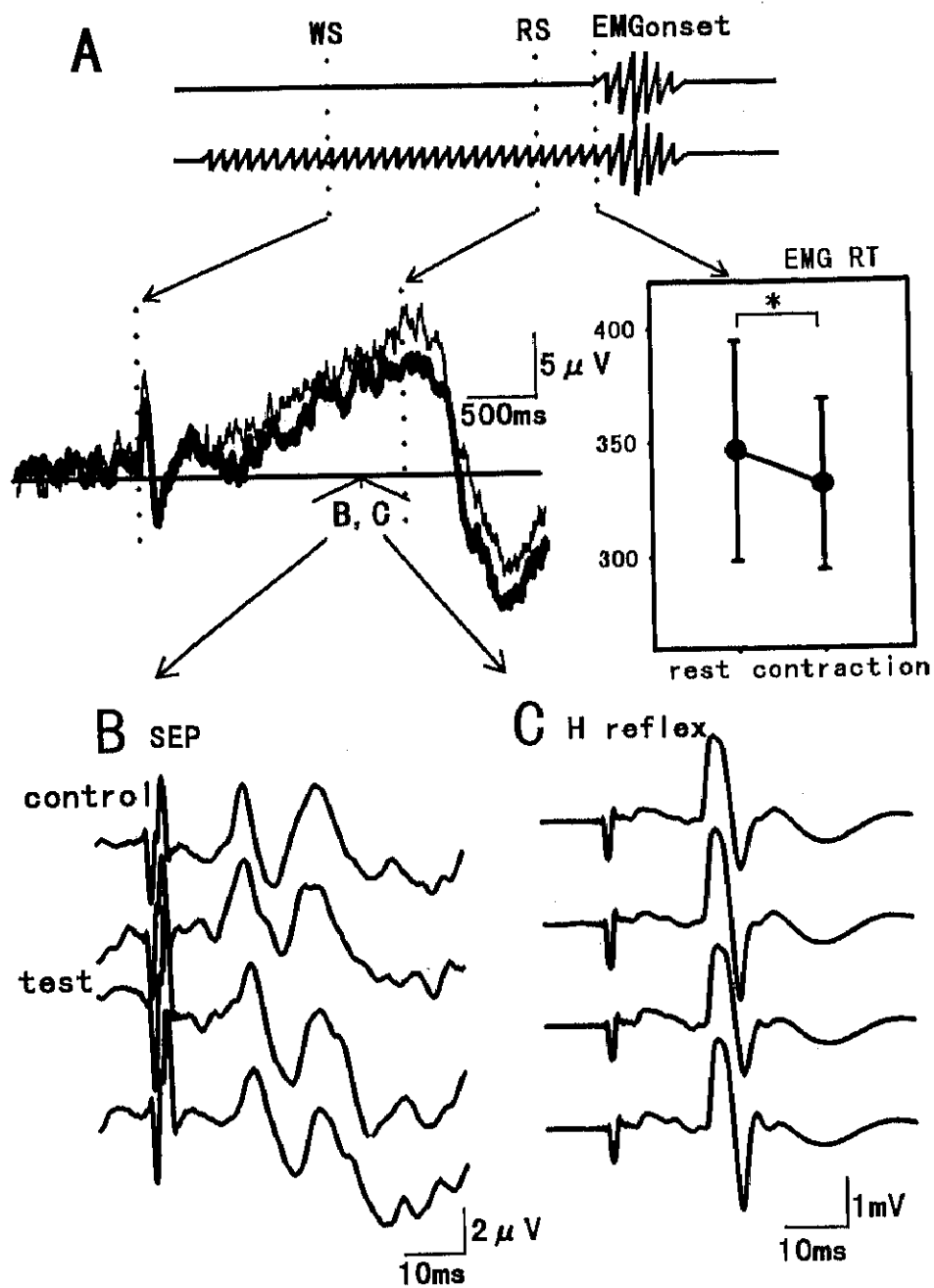


図23. CNV, SEP, H反射及びEMG RTの記録例。Aの上段は反応課題に伴うFCRからの筋放電を模式化したもの。CNVは総加算平均結果。細線は安静状況, 太線が収縮状況。Bは一人の被験者におけるSEPの記録例。CはBの誘発刺激によって同時に記録されるFCRからのH反射。* : $p < 0.05$ 。

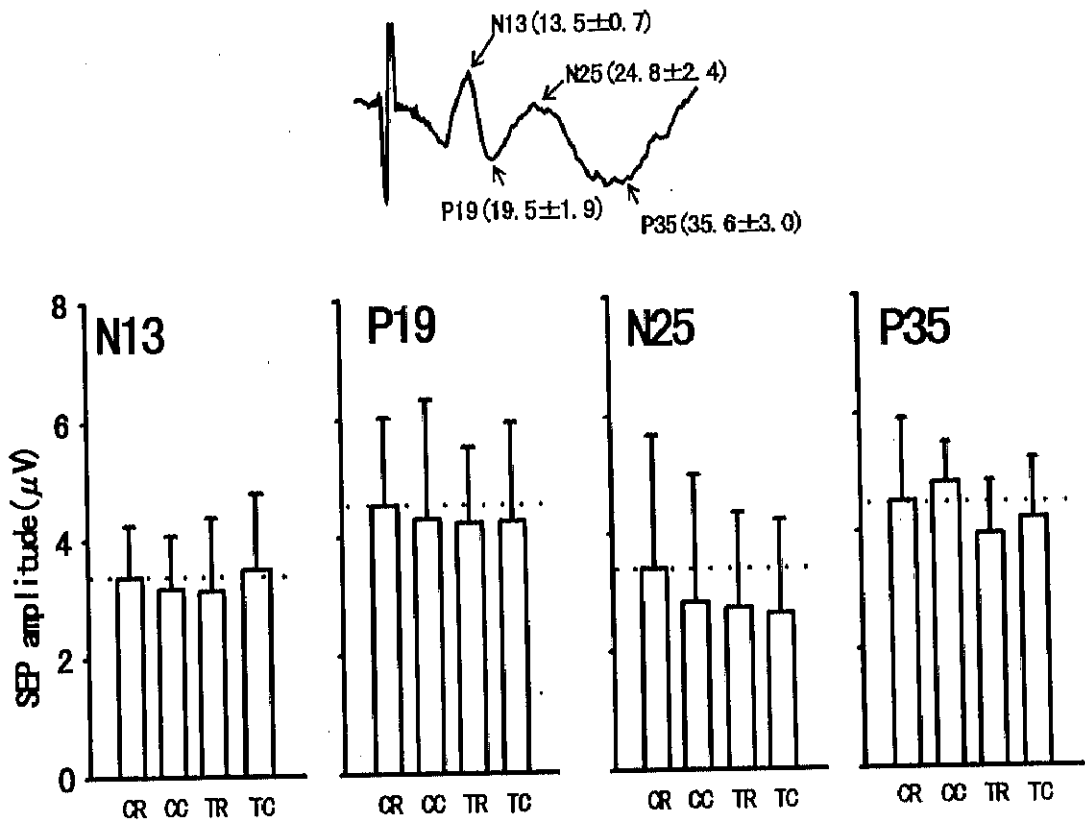


図 24. SEP 各成分の大きさ。上段は C3" から誘発された SEP の総加算平均結果。挿入されたシンボルはそれぞれの成分の頂点潜時から名付けられた名称である。下段は頂点間振幅を定量化した。グラフの棒はそれぞれの振幅を条件ごとに平均と標準偏差によって示した。

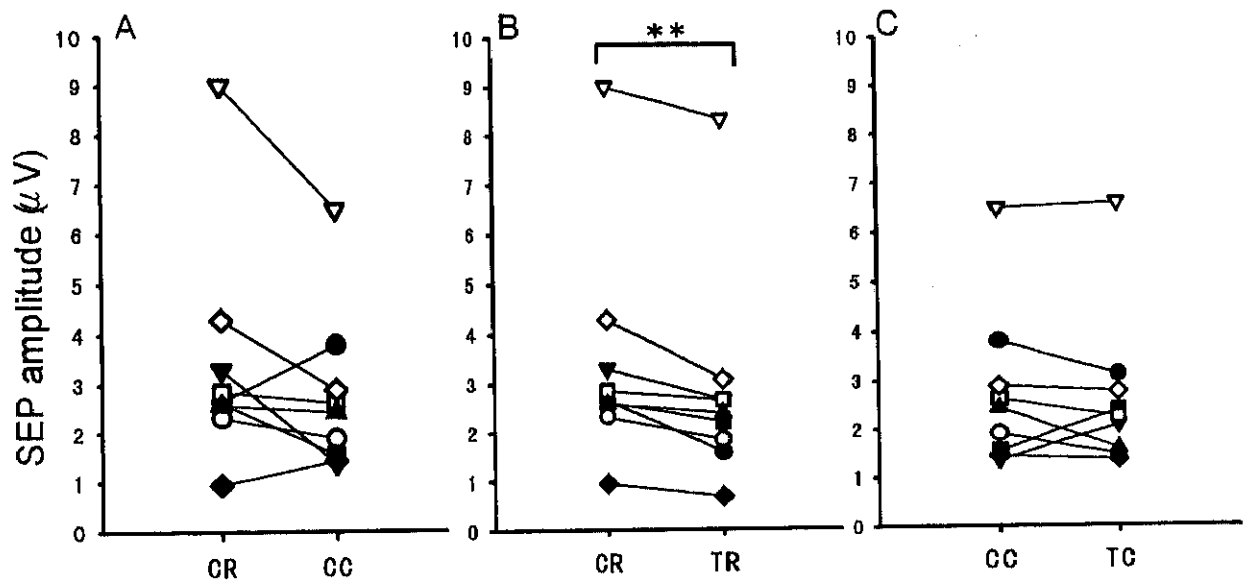


図 25. N25 成分の状況間の比較。縦軸は SEP の大きさ。横軸は条件。
各シンボルは個々の被験者を示す。** : $p < 0.01$ 。

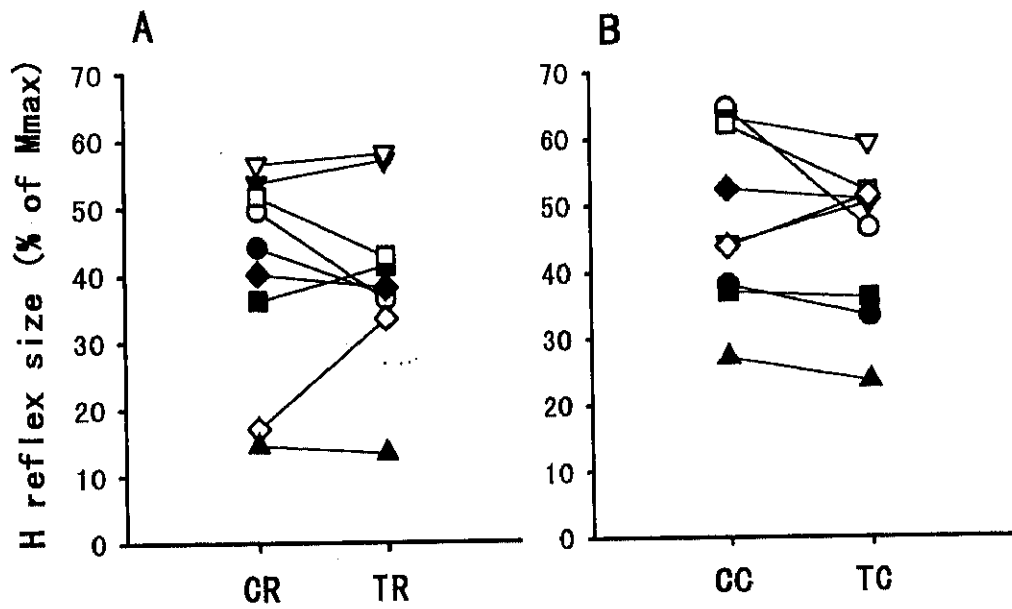


図 26. H 反射振幅の条件間の比較。縦軸は H 反射の大きさを M 波最大振幅の%で示した。横軸は条件。各シンボルは個々の被験者を示す。

向が観察され (図 23A), その傾向は中心及び運動側と対側の中心部が大きかった。

筋電図反応時間 (EMG RT)

筋電図反応時間 (EMG RT) は統計的に有意に収縮状況において短縮した (図 23A) ($t=2.79$, $P<0.05$)。

4. 考察

研究課題IVでは, 1)収縮状況の CNV 後期成分が安静状況より減少傾向にあること, 2)H反射は収縮状況ではコントロールから減少傾向にあるが, 安静状況では一定の傾向を示さないこと, 3)EMG RT は収縮状況において短縮する, という結果が得られ, これらは研究課題 I ~ IIIまでとほぼ同様であった。そして今回, CNV 後期成分出現期間の SEP に含まれる N25 成分が安静状況においてコントロールよりテスト試行で減少し, 収縮状況では両試行で同様であるという新たな結果を得た。

運動開始前の SEP の変化はいくつかの報告によって示されてきた。しかし, 準備期 (PP) に誘発される SEP を調べた報告は少ない。Bocker et al,1993 は単純反応課題を用い, 指神経の刺激によって反応信号 (RS) 前 500ms の時点で誘発された SEP の変動を調べた。その結果, 彼らは 46ms 以後の振幅に減少を観察した。Hoshiyama and Sheean,1998 は 2 種類の反応信号 (RS) がランダムに提示される選択課題 (Go-No go 課題) を用いて, 反応信号 (RS) 前 150ms に, 正中神経を手首のレベルで刺激して比較的早期の SEP 成分を調べた。その結果, 彼らはいずれの成分に

も変化を認めなかった。これらの報告は刺激部位、解析対象の SEP 成分、課題が今回の実験とは異なるため、結果の相違について直接的に言及できない。しかしながら、反応信号 (RS) 前に SEP を調べた報告は非常に少なく、課題や刺激部位の違いによって SEP に変化が生じる可能性は否定できない。実際、本実験では安静状況において、反応信号 (RS) 前 200ms に誘発した比較的早期の SEP 成分が、コントロールと比べて減少する結果が得られた。この結果は、反応信号 (RS) に対する準備的な過程に、より上位の中樞への体性感覚経路の調節が含まれることを示唆する。

今回得られた N25 成分は正中神経を手首で刺激した時の N35 成分に相当し、感覚皮質に限局された成分と考えられる。すなわち、ヒト、動物の頭皮上記録、頭蓋内皮質表面及び深部からの電位記録、破壊及び切除実験によって、P25-N35 成分の起源が体性感覚 1 野であることが示されている (Allison et al,1991)。

SEP の比較的早期の成分が各種運動中に減少すること及び筋放電開始直前に減少すること (gating) に関しては多くの報告がある (Nishihira et al,1997a,b : Morita et al,1998 : Staines et al,1997a)。これらの報告では、その減少の機序として中樞遠心性と中樞求心性の大きく二つが考えられている。そして、運動中に SEP が減少する場合は両者が、運動開始前に SEP が減少する場合は末梢の求心性入力が生じていないので主として前者が関与すると考えられている。本実験の安静状況の準備期 (PP) においても末梢からの求心性入力は生じていないので、N25 成分の変化には中樞遠心性の影響のみが関与する可能性が大きい。

N25 成分に関して、収縮状況のコントロール試行は、安静状況のそれより減少傾向にあった(図 25A)。これは、持続的な筋力発

揮時に SEP の比較的早期の成分が減少するとした過去の報告 (Huttunen and Homberg,1991 : Nishihira et al,1991,1997a) と同様の結果である。また、この減少は安静状況の反応信号 (RS) 前に誘発された N25 成分のコントロールからの減少と類似していた。収縮状況では筋収縮に伴う末梢からの求心性入力も SEP に影響する。従って、N25 成分の減少傾向には中枢求心性の影響も関与すると考えられる。これらのことから、収縮状況の N25 成分がコントロールとテスト試行間で変化しなかった理由として、持続収縮のみの影響によって N25 成分が減少したため、反応信号 (RS) に対する準備的な過程は、安静状況と同様に N25 成分に影響しなかったと考えられる。

前段で述べた体性感覚入力の調節は CNV 後期成分の変化とも関係する可能性がある。すなわち、CNV 後期成分が運動のプログラミング的な側面を反映するとした報告 (Mackay and Bonnet,1990 : Franc et al,1995) にもとづく、体性感覚入力の調節に関する計画も CNV に含まれる可能性がある。安静状況においては体性感覚入力の調節は中枢遠心性に行われる必要があるが、収縮状況においては持続的な筋収縮に伴って発生する末梢求心性入力も関与する。従って、CNV 後期成分が安静状況より減少傾向にあったことは、CNV に反映される運動プログラムの量的な側面が運動開始前に収縮を課したときの方が少ないことに起因し得る。この仮説は研究課題 I ~ III までに得られてきた CNV 後期成分および RP の減少とも関係する可能性がある。

5. 要約

研究課題Ⅰ～Ⅲまでの実験結果を確認するとともに、持続的筋収縮が伴う求心性入力について調べるため、反応信号（RS）前に、体性感覚誘発電位（SEP）を誘発し、安静状況と収縮状況間の違いについて調べた。得られた結果は以下のとおりである。

1. N25成分は、安静状況ではコントロールよりテスト試行において減少したが、収縮状況では変化しなかった。
2. H反射は、安静状況ではコントロール試行とテスト試行との違いは一定でなかったが、収縮状況ではコントロールよりテスト試行が減少傾向にあった。
3. CNV後期成分は、安静状況より収縮状況において減少傾向にあり、筋電図反応時間（EMG RT）は短縮した。

これらの結果から、反応信号（RS）への準備的な過程が体性感覚系の調節的な要素を含むこと、及びこの調節機序が安静と収縮状況では異なる可能性が考えられた。