

頭部回転運動が上腕筋活動に及ぼす効果の 筋電図学的解析

渡 部 かなえ

【緒 言】

身体のある部位の筋を随意的に収縮させると、共同筋・拮抗筋以外の遠隔筋の運動ニューロンの興奮性にも影響が現われる。特に頭部の運動は、日常動作における体幹や上下肢の運動に影響を与えることから、興味深い。さらに頭部の運動は、緊張性頸反射や緊張性迷路反射といった姿勢反射を引き起こし、それらの反射は運動中の身体調整に重要な役割を果たしている、とする報告がなされている（福田，1957）。

本研究は、頭部の随意的な水平回転運動が肘関節屈筋・伸筋の運動ニューロンの興奮性に及ぼす効果を筋電図学的に観察し、頭部と上肢の協調運動の背後にある制御機構を検討することを目的として行った。

【方 法】

1. 被験者

健康な成人男女12名（20—54才）である。被験者には予め実験の目的と操作手順を口頭で説明し、理解と了承を得てから実験を行った。このうち3名に対しては、日を変えて同じ実験を行い、結果の再現性を確認した。

2. 実験手順

実験は座位（7名）または立位（7名）の姿勢で行った。内2名については両方の体位で実験を行った。図1に座位による実験のセットアップを図式的に示した。被験者を楽な姿勢で肘掛け安楽椅子に座らせ、前腕部を掌を上回外して肘掛けに乗せさせ、手首をバンドで固定した。立位による実験の場合には、肩幅よりやや狭い開脚位（被験者に最も楽なスタンスを取るよう指示）をとらせ、上肢の肢位は座位におけるのとほぼ同等になるように、架台に固定した。さらに頭部の水平回転角度を検出するための装置（ゴニオメータ；ウィーストーン・ブリッジの1辺となる高精度ポテンシオメータおよびその固定保持梁から構成）に接続させるための金属軸を頭頂部にとりつけたヘルメットを着用させた。このヘルメットにはさらに、被験者が上腕筋の随意収縮量をモニターするための装置（2チャンネル電流計）を、常に被験者の目の前にくるように取り付けられた。

筋電図は、頭部の水平左方回転運動の主動筋の右の胸鎖乳突筋（以下、SCMと略記）、肘関節伸筋の上腕三頭筋（EXT）および屈筋の上腕二頭筋（FLEX）から両側性に記録した。それぞれの筋の筋腹に一对の表面電極（径10mm，ディスポーザブル・タイプ）を約2 cm

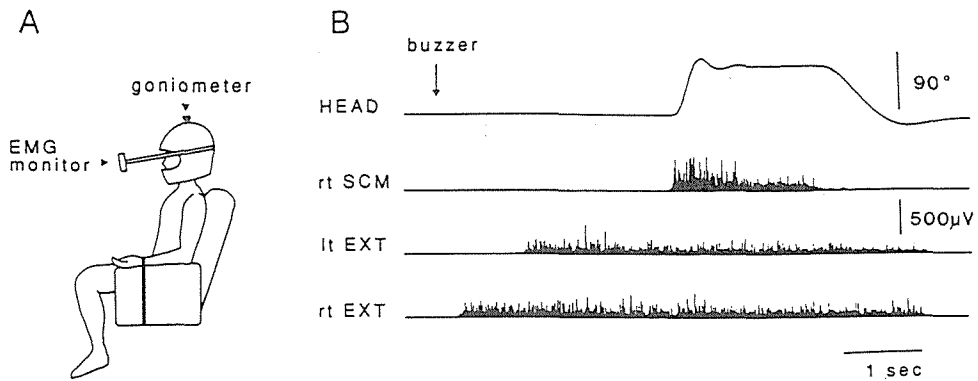


図1 実験のセットアップ。A：座位での実験での被験者のセッティング。B：被験者の運動課題と記録の状況。記録は上から順に頭部回転角度，右胸鎖乳突筋，左上腕筋右上腕筋の筋電図を全波整流したもの。これは両肘伸展の場合。運動課題は，ブザーが鳴ったら（矢印）上腕筋を指示された方向（屈曲または伸展）に持続的に収縮させ，それを保持したまま頭部を左方向に回転させるというもの。詳細は本文参照。（引用：Watanabe et, al., 1994）

間隔で貼付した。増幅器の周波数特性を50～3000Hzに設定した。増幅した筋電図を，加算平均（後出）を行うために，全波整流した。上腕筋の随意収縮量をモニターするために，筋電図を積分計（全波整流した筋電図をロウ・パス・フィルターに通したもの；Lippold, 1952）にかけた出力をヘルメット装着の電流計に表示した。

上腕筋活動の変化は，持続収縮させた上腕筋筋電図を頭部回転運動に同期させて加算平均することにより観察した。試験運動課題は，被験者は正面位の安楽姿勢から1) ブザーによる開始信号を待ってあらかじめ指示された2種の上腕筋収縮を開始し，2) 上腕筋の収縮を維持したまま頭部を左方向に回転させ，その後数秒間その位置を保持し，3) 最後に正面位にもどって上腕筋収縮を停止する，というものであった。実験の試験課題と記録の状況を図1 Bに示す。

上腕筋の筋収縮の方向は，一度に伸展または屈曲のどちらかしかできないので，肘関節の対称性収縮，すなわち a) 左右同時伸展あるいは b) 屈曲，または非対称性収縮，すなわち c) 左屈曲・右伸展あるいは d) 左伸展・右屈曲，の4種類の組み合わせについて観察した。筋収縮の強さを，維持し易さと疲労除外の点から，あらかじめ計測しておいた最大随意収縮量（積分値）の10%とした。頭部回転の速度については，急速回転運動実験の場合，被験者が苦痛を感じない範囲でできるだけ早く回転させた。速度変化実験の場合，(a) 急速回転，(b) おおむね急速時の1/2の速度（被験者への指示：2倍の時間をかけて），(c) 急速時の1/10の速度（被験者への指示：10倍の時間をかけて），を目標とした。

各試行は，1セッションにつき，10秒から13秒の間隔をあけて，34回から36回行った。各セッションの間には数分の休息を入れて，被験者の疲労を避け，安定して課題を実行できるように配慮した。

この運動課題はブザーが開始の合図となっているが，各筋の収縮の開始と維持は被験者の

意志にまかせられており、いわゆる反応時間試験法には従わなかった。実験の進行と定常性は頭部回転運動と筋電図をオシロスコープ、ペンレコーダーでリアルタイムにモニターしながら確認した。頭部回転の角度変化および各種筋電図をDAT型データレコーダー（SONY, DAT-PC116）に記録保存し、off-lineで解析した。

3. 解析方法

上腕筋の随意筋電図に対する効果を個々の筋電図記録トレースから読みとることは、背景筋電図記録の変動が大きいために非常に困難である。よって表面筋電図の加算平均法（*1）を採用した。4チャンネル平均加算装置（ATAC-3500, 日本光電）を用い、頭部水平回転運動の主動筋であるSCM筋電図の開始をトリガーとして、頭部回転角度・SCM・試験上腕筋2ケの4記録の加算を行った。

【結 果】

[1] 急速頭部回転運動時に上腕筋筋電図に現われる変化

1. 頭部急速回転運動と主動筋活動

主動筋（rt. SCM）の筋電図（図2：2段目のトレース）活動の開始は、頭部の回転運動開始に約 90.8 ± 16.0 ms（mean & SD, n=28）先行した。rt.SCMの筋電図のパターンは、最初の著明な群発発射にはじまり、一度減少し、再度興奮するという三相性を示した。これは、頭部の急速な運動時の典型的な主動筋筋電図パターンとして報告されているもの（Zan-gemeister et al, 1982）と一致した。

2. 上腕筋に見られる変動

(1) 収縮の異なる組み合わせの結果（座位）

図2の左カラムは対称性収縮実験（両上肢伸展または屈曲）の結果の例である。この被験者では、伸筋は左右とも胸鎖乳突筋の筋電図の活動開始に約70ms先行して筋電図量の増加（促通）が見られ、屈筋では約40ms先行して、減少（抑制）がみられた。左屈筋の抑制はわずかではあるが、t検定により有意差のあることが確認できた。SCM活動開始後は、左側伸筋の促通は、頭部の回転の開始まで増加し続けるが、頭部回転開始後急激に減少した。しかし幾らかの促通効果が頭部の回転運動が行われている間持続した。右の伸筋はSCM活動開始と同時に抑制が始まり、頭部の回転運動開始後には、背景筋活動よりもかなり低いレベルまで下がった。屈筋はおのおの拮抗筋である伸筋に相反的な変化、つまり伸筋に促通があると屈筋には抑制が、伸筋に抑制があると屈筋には促通が現れていた。

このような変化は右カラムに示した非対称性収縮（左伸展・右屈曲及び左屈曲・右伸展）においても認められた。すなわち、上記の変化は、上腕筋収縮の組み合わせ条件が左右対称

1* 神経系の活動は、求める信号が小さい、すなわち信号/雑音(S/N)比が極めて小さく判定し難い場合が多い。加算平均法は、信号の発生に一定の時間関係があるとき、その基準時間に同期させて信号の加算を行うことにより、信号を増大させ、ランダムにおこる雑音を平均化してS/N比を上げる。本法は、対象筋が活動中であること、背景筋活動が定常値を保つこと、などの観察条件に制限があるが、大局的な判定には十分に有効であり、方法の簡便さからも利用価値は非常に高い。(田中, 1991)

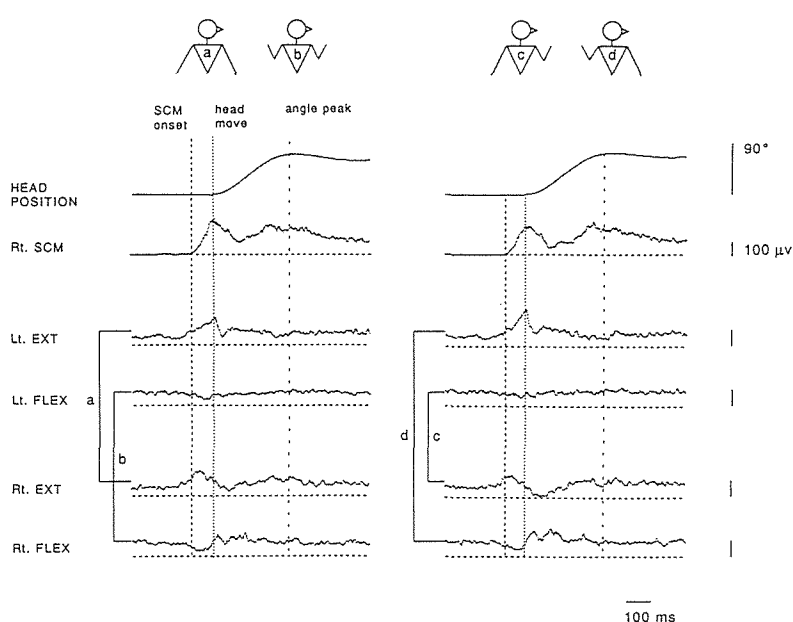


図2 頭部急速回転運動により、上腕筋に生じる効果 (Subj,YK)。トレースの配列は、上から順に、頭部の回転角度、右胸鎖乳突筋（主動筋：rt.SCM）、左上腕三頭筋（伸筋：lt. EXT）、左上腕二頭筋（屈筋：lt. FLEX）、右上腕三頭筋（伸筋：rt. EXT）、右上腕二頭筋（屈筋：rt. FLEX）の筋電図。左のカラムは上腕筋の対称性収縮で、aが左右同時伸展、bが左右同時屈曲における結果、右のカラムは非対称性収縮で、cが左屈曲右伸展、dが左伸展右屈曲における結果を、便宜的に一つのカラムにまとめたもの。加算回数は32回。両カラムの縦鎖線は、左から右へ順にSCM筋電図活動開始、頭部回転開始、最大角度に達した時点を示す。

性でも非対称性でも、基本的に同じであることが観察された。

(2) 被験者間での非共通性

しかし、このような上腕筋活動の変動パターンは、各被験者に共通しているとは言えなかった。表1に、座位・非対称条件下の7名の被験者から得られた結果を示す。第I期、すなわちSCM筋電図の開始前に明らかな変化が始まっている被験者が3名おり、先行する時間は20~80msであった。第II、III、IV、期での各筋の変化は複雑で、筋ごとに異なっていた。第II期の左伸筋と第III期の右屈筋には、全被験者に促通がみられた。しかし、4つの筋に起こる変化を見てみると、タイミングおよび方向（増減）が、左右共に被験者間で共通している部分は認められなかった。

(3) 日を変えて行った実験の結果

データの再現性を確認するために、3名の被験者において日を変えて再実験を行った。変化の量は多少変わっていたが、変化の方向は同じであり、日をおいても同一のパターンが再現されることが確認された。

表1 頭部回転運動によって上腕筋活動に生じる効果のまとめ（座位・非対称性収縮）

効果の観察時期を、以下の4期に分けた。I期：主動筋（rt. SCM）筋電図の開始前，II期：そこから頭部回転開始まで，III期：回転角度がピークに達するまで，IV期：それ以降。矢印は背景筋電図量に対する変化量。増減が10%以内なら横向き，10~20%は増加なら上，減少なら下向きの矢印1つ，20~50%は2つ，それ以上は3つの矢印で示した。被験者名の下に数字は年齢（yrs），記号は性別を示す。

（引用：Watanabe et. al., 1994）

MUSCLE		STAGE	I	II	III	IV
Subj. YK	lt. EXT		↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑
	lt. FLEX		↓	↓↓	↑	↑
38 yrs ♂	rt. EXT		↑↑↑	↑↑↑	↓↓↓	↑↑
	rt. FLEX		↓↓	↓↓	↑↑↑	→
Subj. SF	lt. EXT		→	↑↑↑	↑↑↑	↓↓↓
	lt. FLEX		→	↑↑	↑↑↑	↑↑
27 yrs ♀	rt. EXT		→	↓↓↓	↑↑↑/↓↓↓	→
	rt. FLEX		→	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Subj. RT	lt. EXT		→	↑↑	↑↑↑	↑↑↑
	lt. FLEX		→	↑	↑	↑↑
54 yrs ♂	rt. EXT		→	↓	↑↑↑	↑↑
	rt. FLEX		→	→	↑↑↑	↑↑↑
Subj. YT	lt. EXT		↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
	lt. FLEX		↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑
21 yrs ♂	rt. EXT		→	↑↑	↓↓	↑
	rt. FLEX		↓↓	↑↑	↑↑	↑
Subj. KS	lt. EXT		→	↑	↓↓	↓
	lt. FLEX		↓	↓	↓	↓
30 yrs ♂	rt. EXT		→	↓↓	↓↓↓	↑↑
	rt. FLEX		↓	↑	↑↑↑	↑
Subj. DS	lt. EXT		↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	→
	lt. FLEX		↑↑	↑↑↑	↑↑↑	→
20 yrs ♂	rt. EXT		→	↑↑↑	↑↑↑	↑
	rt. FLEX		↓↓	↑↑↑	↑↑↑	↑
Subj. DY	lt. EXT		↑	↑↑↑	↑↑↑	↓↓
	lt. FLEX		→	↓↓	↓↓↓	→
20 yrs ♂	rt. EXT		→	↓↓↓	↓↓	↓↓
	rt. FLEX		↓	↓	↑	→

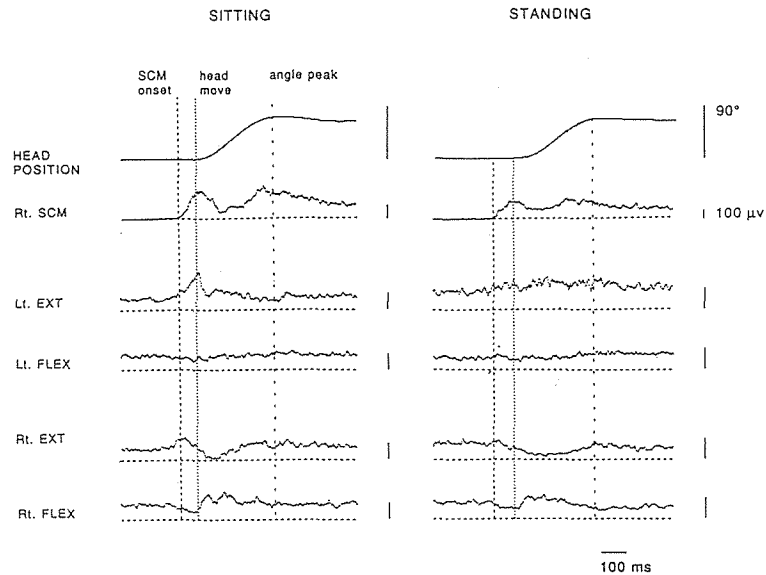


図3 座位（左カラム）・立位（右カラム）における上腕筋活動の変化。非対称性収縮実験。各カラムのトレースの配列は、図2に同じ。

(4) 立位と座位

図3は同一被験者による座位と立位による実験結果の比較を示す。左の屈筋、右の伸筋・屈筋は全体を通して座位でも立位でも、ほぼ同じパターンを示した。左の伸筋は、主動筋筋電図の開始前に筋電図量が増加し始め、同時または直後から頭部の回転開始付近で極大値をとった。座位ではこの極大値が突出してその後、いくらかの促進効果が見られるというレベルに戻っているが、立位では増加したそのレベルを保っており、変化の強さには違いはみられたが、変化のパターンは同じであるとみなすことができる。このような立位と座位での筋電図変動パターンの共通性は他の被験者でも確認された。しかしながら、各被験者間の共通性は認め難かった（表2）。

[2] 頭部回転速度の変化による上腕筋反応への影響（図4）

頭部の回転速度を減少させると、主動筋活動は、急速運動時の典型的な三相性パターンを失っていき、回転角度のピーク時に向かっての暫増性パターンに変わった。筋電図量も減少した。頭部の回転開始からピークに達するまでに要した時間が、急速回転では340ms、中等度の速度での回転では520ms、遅い回転では2420msであり、相互の速度比率は1.00：0.57：0.13であった。中等度（57%）での上腕筋筋電図の変化は急速条件時に比べると、パターンは維持されていたが、変化の程度が少なくなってやや不明瞭になり、遅い回転（13%）では上腕筋活動の変化はほとんど見られず、最初に指示したバック・グラウンドの筋電図量を維持していた。

以上の結果から、急速回転時に見られた筋電図変化は速度低下とともにその量が減少し、

表2 頭部回転運動によって上腕筋活動に生じる効果のまとめ(立位・非対称性収縮)
記載は表1に同じ。

MUSCLE		STAGE	I	II	III	IV
Subj. YK 38 yrs ♂	lt. EXT		↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑
	lt. FLEX		→	↓↓	↓	↑↑
	rt. EXT		→	↓↓	↓↓↓	↑
	rt. FLEX		↓↓	↓↓↓	↑↑	↓↓
Subj. SF 27 yrs ♀	lt. EXT		→	↑↑↑	↑↑↑	↑↑
	lt. FLEX		→	↑	↑↑↑	↑↑↑
	rt. EXT		↓	↓↓	↓↓	↓↓↓
	rt. FLEX		↓↓	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Subj. NK 31 yrs ♂	lt. EXT		↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑
	lt. FLEX		↓↓	↓↓↓	↑↑↑	↓
	rt. EXT		↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓
	rt. FLEX		→	↑↑	↑↑↑	→
Subj. KT 30 yrs ♂	lt. EXT		↓	↓↓	↑↑↑	→
	lt. FLEX		↑	↑↑↑	↑↑	↑↑
	rt. EXT		→	→	↑↑↑	→
	rt. FLEX		↓	↑↑	↑↑↑	↑↑
Subj. SW 27 yrs ♂	lt. EXT		→	→	→	→
	lt. FLEX		↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
	rt. EXT		↓↓↓	↓↓↓	↓	↑↑
	rt. FLEX		→	↑↑	→	→
Subj. NH 24 yrs ♀	lt. EXT		→	↓	↑↑↑	→
	lt. FLEX		↑	↑↑	↑↑	↑↑
	rt. EXT		↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
	rt. FLEX		→	→	↑↑↑	↓
Subj. AT 31 yrs ♀	lt. EXT		→	↑↑	↑↑↑	↓
	lt. FLEX		↑↑	↑↑↑	↑↑	→
	rt. EXT		↓↓	↓↓	↓↓	↑↑↑
	rt. FLEX		↓	↓↓	↓↓	↓

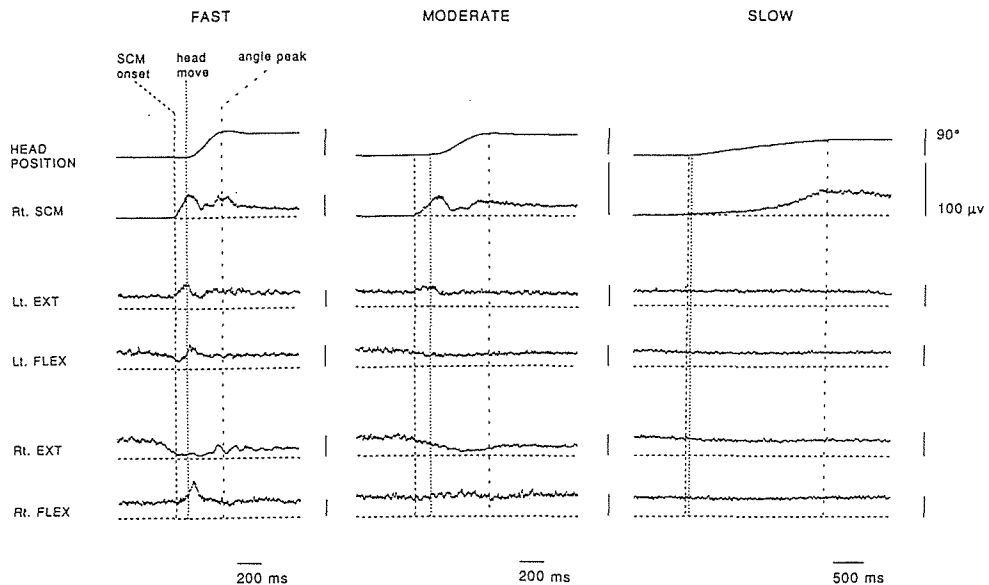


図4 頭部回転速度の変化による上腕筋活動の変化 (Subj. NK)。左カラム：急速，中央カラム：中等度，右カラム：遅速。回転の所要時間から求めた速度比率は，1.00：0.57：0.13。各カラムのトレースの配列は，図2に同じ。

ついには消失することがわかった。

【考 察】

頭部の随意急速回転運動に伴って上腕筋（肘関節屈筋・伸筋）に筋電図活動の変化が観察された。その変化の発現は，大部分の被験者で，主動筋活動の開始に数十ミリ秒先行した。また変化のパターンは，1) 肢位の初期条件（左右対称・非対称），2) 姿勢（座位・立位），3) 日を改めて再実験，という条件の違いに関わらず同一被験者では基本的に同じであった。しかし被験者間には4つの筋での変化の起こるタイミングおよび方向性（増減）に共通性はなく，明確に緊張性頸反射のパターンに従う変化も認め難かった。また，上腕筋筋電図に現れる変化は，頭部の急速運動時に著明であったが低速時には消失した。

これらの変化を，第I期：主動筋筋電図（活動）開始前，第II期：主動筋筋電図（活動）開始～頭部回転運動開始，第III期頭部回転運動開始～頭部回転の頂点，第IV期それ以後，の4期に分けて解析した。

第I期において大部分の被験者（7名中5名）で上腕筋活動の変化が見られた。この変化の機序をJendrassik効果（ある筋を随意的に収縮させると遠隔筋の腱反射が増強する現象）で説明することは以下の2点の理由で困難である。1) 一般にJendrassik効果はどの筋にも促通として現れるとされているが（DeJong, 1979），今回の結果は同一人において筋の違いにより促通も抑制も同時に存在した。2) Jendrassik効果は主動筋活動の開始と同時に直後に出現することがH反射を用いた実験によって示されているが（Hayashi et al., 1992），今

回の結果では主動筋活動の開始に数ミリ秒も先行して出現した。

第II期の早期における Jendrassik 効果の関与の可能性も、前出1)の理由から少ない。ここでの筋活動は第I期の効果の継続として考えるべきであろう。

第II期の後半部、および第III・IV期には主動筋収縮が開始されているので、頸部・頭部にある感覚受容器が興奮を始めている可能性が高い。従って、これらの入力による緊張性頸反射および緊張性迷路反射の姿勢反射性効果を考慮に入れる必要があると思われる。

まず緊張性頸反射の関与の可能性について検討する。動物実験によって明らかにされた非対称性緊張性頸反射は、顔面の向いた方の上下肢が伸展し後頭部の向いた方の上下肢が屈曲するという左右非対称なパターンが四肢に現れる (Magnus, 1926)。そして回転運動に伴う一過性の反応ではなく頸部の捻りが維持している間持続して現れる。今回の実験結果にもし緊張性頸反射が発現しているとするれば、この反射パターンに合致した変化が全被験者に共通して、第2・3・4期を通して持続して、左右伸筋・屈筋の4筋に観察されるはずである。しかしこれに合致する筋電図パターンは、ただ1名(表1, Subj. KS)のしかもII期のみでしか観察されなかった。各期における上腕筋電図変化が被験者毎に多様であることは、これらの反応が単純な反射性反応ではないことを示している。さらに頸反射の発現は回転速度に大きく依存しないはずであるが、上腕筋反応は急速回転に特徴的であった。以上から、緊張性頸反射は今回得られた結果には重要な関与はしていないと考えられる。

次に緊張性迷路反射の関与の可能性について検討する。この反射の入力部は頭蓋内前庭の卵形嚢であり、適刺激は頭の傾きと直線方向に働く加速である (Fernandez et al., 1972)。従って、今回の実験条件である頭部の水平方向の回転によっては賦活化され難いので、今回の結果に大きな影響を及ぼさないとと思われる。

頸筋内の筋受容器による反射も考慮する必要がある。事実、頸椎周囲の小筋群には筋紡錘が豊富に分布している (Cooper and Daniel, 1963)。しかし、それが入力する脊髄節を越えて上腕筋にまで反射を引き起こしているという仮説では、やはり反応パターンの個人差のあまりの広がりの説明するのは困難である。

このように Jendrassik 効果や反射機序で本実験結果を説明するのは難しい。そこで随意運動の中枢制御機構の重要な概念である「プログラム制御」の観点から考察を行う。

まず第I期であるが、上腕筋筋電図活動の最初の変化発現のタイミング(主動筋活動に数十ミリ秒先行)は、随意運動開始時における主動筋運動ニューロンの興奮性の上昇の開始 (Kagamihara et al, 1992) と近似していた。これは上腕筋における最初の変化が上位運動中枢において主動筋への運動コマンドとほぼ同時に作られていることを示唆している。すなわち、末梢からのフィードバックに依存することのない、主動運動(頭部回転運動)の結果として生じる急速主動運動のプログラムに付随するものであると考えられる。

次に、頭部の運動に伴って、空間的にみて異なる部位である上腕筋活動に変化が現れたことについて考察を行う。運動の実行のための大脳レベルにおける最前線基地が大脳皮質運動野である。運動野における身体各部の筋活動の再現パターンは、各々の筋の個別的駆動に適したモザイク局在構造をとらず、多分に重疊的である (Phillips and Porter, 1977;)。あ

る特定の筋の再現部位は、当該筋を支配する運動ニューロンプールと単シナプス性興奮結合をする皮質脊髄路ニューロンの皮質でのかなり広い範囲にわたる種々の密度での分布で代表される。その最も密度の高い部分が当該筋への支配力が高いと考えられ、再現の「主領域」Leading part とみなせる。密度のより低い部分は従的な支配力を持ち、「従領域」Subordinate parts となる。近隣の筋の再現部位も基本的に同様の分布様式を持ち、お互いの領域は運動野の中で複雑に重なり合っている。従って、たとえば頸の動きを再現する主領域は他の筋群、上腕筋など、の従領域と重なり合うことになる。連合野や皮質下組織から運動野への線維結合も個々の筋支配のための多重構造を要求される。従って、運動野に入力される情報の効率的利用を考慮すれば、運動野における重合分布パターンは、単純な物理的な重なり合いではなく、複数の筋を組み合わせた運動を選択できるように仕組みられたものと考えた方が合理的である。

このような大脳皮質運動野の機構に基づいて、本研究において頭部回転運動に付随して現れた上腕筋の変化は、以下のように考察できる。頭部回転運動を再現する皮質領域には、他の身体部位の運動を再現する領域も種々の密度で重なっている。その中には上腕筋活動を再現する従領域も含まれているであろう。このような神経回路の制御機構のオーバーラップから、頭部回転運動の主動筋活動を時間的空間的に制御している運動プログラムの実行に付随して、上腕筋にも影響が再現されたのであろう。いずれにせよ、運動命令による主動筋へのシナプス入力強度に比し、上腕筋へのシナプス効果の波及は小さくあくまで従であろう。したがって、回転速度の減少により上腕筋活動の変化が減少・消失したことは、主動筋活動の弱化に伴い上腕筋へのシナプス効果が早期に閾値下に減衰するため、と解釈できる。

【結 論】

本実験結果および関連文献の検討から、従来の1) 緊張性頸反射が健康なヒトの運動の中に発現する、2) 緊張性頸反射が随意運動の調整に大きな役割をはたしている、という仮説を支持することは出来なかった。本研究の結果は、「頭部回転運動時に見られた上腕筋の筋電図活動の変化は、運動プログラムに随伴する各人固有のパターンをもっている」ことの表れと考察した。

【附 記】

本研究は、お茶の水女子大学審査学位論文（1994年度）、題目「頭部回転運動が上肢筋活動におよぼす効果」の一部である。

参 考 文 献

- Cooper S. and Daniel P. M.: Muscle spindles in man; their morphology in the lunbricans and deep muscle of the neck. Brain 86: 563-586, 1963.
 DeJong R. E.: Neurologic Examination, 4th ed., Harper and Row / New York, 1979. pp 840.
 Fernandez C., Goldberg J. M. and Abend W. K.: Responce to static tilts of peripheral neurons

- innervating otolith organs of the squirrel monkeys. *J. Neurophysiol.* 50 : 688-695, 1983.
- 福田 精：運動と平衡の反射生理. 医学書院. 1957, pp 367.
- Hayashi A., Konopach A. R. and Hunker J. C. : Remote facilitation of H-reflex during voluntary contraction and limb muscles. In: Stelmach G. E. and Requin J. (eds.), *Tutorial in Motor Behavior II*, Elsevier/Amsterdam, pp 475-482, 1992.
- Kagamihara Y., Komiyama T., Ohi K and Tanaka. R : Facilitation of agonist motoneurons upon initiation of rapid and slow voluntary movement in man. *Neurosci. Res.* 14 : 1-11, 1992.
- Lippold O. C. J. : The relation between integrated action potentials in human muscle and its isometric tension. *J. Physiol. (Lond.)* 117 : 492-499, 1952.
- Magnus R. : Some result of studies in the physiology of posture. *Lancet*, 11 : 531-536 & 585-588, 1926.
- Phillips C. G. and Porter R. : *Corticospinal Neurons ; Their role in movement*, Academic Press/ New York, 1977, pp 450.
- 田中勵作：ヒト運動機能研究の進歩—脊髄反射. *脳と神経*43 : 1003-1008, 1991.
- Zangemeister W. H., Stark L., Meienberg O. and Waite T. : Neural control of head rotation : Electromyographic evidence. *J. Neurol. Sci.* 55 : 1-14, 1982.
- Watanabe K., Fujie S. and Tanaka R. : Effects on EMG activities of elbow joint muscles by rapid head rotation movement in horizontal plane in man. *Neurosci. Lett.* 165 : 9-12, 1994.

(1995年11月30日 受理)