

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500483

研究課題名（和文） 関節肢位に対応した筋への出力情報の解析

研究課題名（英文） Activities of Motor Neuron Related with Joint Positions

研究代表者

大山 峰生（OYAMA MINEO）

新潟医療福祉大学・医療技術学部・作業療法学科・教授

研究者番号：10367427

研究成果の概要（和文）：手関節背屈運動時の手関節伸筋群の活動は，前腕および手関節肢位によって影響され，長・短橈側手根伸筋は回内位で，尺側手根伸筋は回外位で増大し，これらの筋活動の変化は手関節肢位の違いによる変化より顕著であった．円筒握り時では，手関節伸筋全てが前腕回内位で大きかった．円筒握り時の浅指屈筋と深指屈筋の活動特性はそれぞれ異なるが，前腕肢位による違いは認めなかった．また，前腕肢位の違いは手関節伸筋群の錐体路細胞の興奮性に影響を与えている可能性があることが明らかになった．

研究成果の概要（英文）：In the isometric wrist dorsiflexion task, the wrist extensor muscles were influenced by forearm and wrist position. The extensor carpi radialis longus and brevis activities were significantly higher in forearm pronation and the extensor carpi ulnaris were in supination. The differences of muscle activities due to forearm position were more remarkable than that due to wrist position. In the cylindrical grasp task, all wrist extensor muscles were significantly higher in forearm pronation. The characteristic of activities between flexor digitorum profundus and superficialis was difference during cylindrical grasp, but both muscle activities were not affected by forearm position. In addition, the forearm position contributes to the excitability of corticospinal neurons at cortical level in the wrist extensor muscles.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1100,000	330,000	1430,000
20年度	500,000	150,000	650,000
21年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2100,000	630,000	2730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：FES，経頭蓋磁気刺激，位置覚，筋収縮

## 1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷例の上肢の麻痺に対し，機能的電

気刺激（FES）で日常生活動作を再建する場合，再建筋どうしの協調的収縮様式，筋張力

の制御に関する問題点が存在する。近年、生体の神経系に対し、直接的に情報の入出力を実現する神経インタフェースが発展してきており、この神経インタフェースを FES の運動制御に応用すれば、これらの問題点を解決できる可能性が高い。

神経インタフェースの発展に伴い、将来の FES は神経系に対し直接的に情報を入出力することで動作を再建することが期待されている。これまでの FES に関する報告のなかにも、生体本来の感覚神経の入力を計測し、それによって筋への刺激信号を制御するという感覚フィードバック方式が提案されている。しかしながら、神経系からの入力信号を計測した結果、神経系や筋に対し、どの神経レベルで、いかに情報を出力するかという面においては、まだまだ精度の面で多くの問題が残っている。

## 2. 研究の目的

(1) 手関節および前腕肢位の違いによる手根伸筋群の活動特性を明らかにすること(実験1)。

(2) 円筒握りを行っている時の手根伸筋群と手指屈筋群の活動特性を明らかにすること(実験2)。

(3) 経頭蓋磁気刺激(TMS)による誘発電位(MEP)波形およびH波の振幅と前腕肢位との関係を明らかにし、前腕肢位の違いによる中枢神経の興奮性およびその神経レベルを検討すること(実験3)。

## 3. 研究の方法

### (1) 対象

実験1の対象は、9名の健常男性とした。平均年齢は $31 \pm 4.8$ 才で、全員右利きであった。実験2の対象は、健常成人6名とした。内訳は、男4名、女2名、平均年齢 $28.3 \pm 6.7$ 才、利き手は全員右利きであった。実験3の対象は、実験1の対象9名のうち無作為に選択した6名とした。この6名の平均年齢は $32 \pm 5.0$ 才であった。いずれの実験の対象も、上肢に神経筋疾患および整形外科的疾患の既往はなく、筋力トレーニングを全く行っていない者とした。尚、これらの研究は、新潟医療福祉大学倫理委員会の承認(承認番号: 17152-091202)を得、被験者には予め実験の目的と方法を説明し同意を得た。

### (2) 筋電図記録用電極刺入

実験1の被験筋は左長橈側手根伸筋(ECRL)、短橈側手根伸筋(ECRB)、尺側手根伸筋(ECU)とし、実験2では実験1の被験筋に加え深指屈筋(FDP)、環指浅指屈筋(FDS)を追加した。実験3の被験筋は、ECRLとECUとした。筋電図の導出には、硬質ウレタンで被覆された直径0.08mmの

ステンレススチール線(ステンレス線硬質ウレタンコート, ユニークメディカル, 東京)で作成した双極ワイヤー電極を使用した。電極の非絶縁部は2mmとした。電極間距離は5mmで固定した。また電極先端部分は、筋の収縮に対し電極が追従するよう鉤状に約15mm折り返した。電極の刺入は、長さ60mmのカテラン針(23G)をガイドに用いて行い、刺入後はそのガイド針のみ抜去して電極を留置した。電極留置部位の確認には、刺入した双極ワイヤー電極を利用して電気刺激を行った。電気刺激により各筋が独立して収縮し、各被験筋の作用である運動が個別に確認できた場合は、電極をそのまま留置した。確認できない場合は再度電極を刺入し直した。電極留置を確定するための運動は、被験筋の主運動とし、電極留置後は電極が隣接する筋の筋活動を導出しないことも確認した。不関電極は表面電極(Blue Sensor NF, Ambu, Denmark)を使用し、肘頭に貼付した。動作筋電図, MEP, H波は、すべて双極ワイヤー電極で導出した。

### (3) 運動課題

実験1の運動課題は、前腕最大回内、回外それぞれの肢位における最大努力による等尺性手関節背屈運動とした。手関節肢位は、それぞれの前腕肢位において背屈40度、中間位、掌屈40度位に設定した。手関節背屈運動は5秒間持続させ、手関節背屈トルクの測定には、デジタル張力計(CPUゲージ9500, アイコーエンジニアリング, 愛知)を使用し、その張力計は中手骨と直角になるよう設定した。

実験2の運動課題は円筒握りとし、最大握力の60%一定負荷での5秒間のグリップと、握力が0から最大値に達するリニアランプ負荷とした。測定肢位は、それぞれ前腕回内60度、回外60度とした。60%一定負荷の把持力は、前腕中間位における最大把持力の被験者は把持力を一定に保つために、モニター上の60%標線に把持力値を合わせるよう視覚的に追従しながら実施した。リニアランプ負荷は10秒間で最大値に達するように設定し、モニター上に標された目標基準線に張力信号を追従させるよう視覚的にフィードバックしながら力を発揮させた。把持力の測定には、手指筋力測定器(円筒型状握力センサー, SPR-6570, SAKAI, 東京)を使用した。全ての課題におけるそれぞれの施行順はランダムとし、筋疲労の影響を避けるため各施行間には2分間の休息を入れた。

### (4) TMSによるMEPとH波の導出

実験3においては、前腕回外位と回内位の2肢位においてTMSによるMEPとH波を導出した。TMSは磁気刺激装置(MAGSTIM-

200: Magstim Company Ltd, UK )を使用し、刺激用コイルには、70mmの8字コイルを用いた。TMSによるMEP波形の導出筋は左側のECRL, ECUとし、左大脳皮質運動野にTMSを経皮的に与えた。TMSの刺激部位の決定にあたっては、国際10-20法にしたがって頭蓋頂(Cz)を定め、眉間と外後頭隆起を結ぶ線と両外耳孔を結ぶ線を基準に1cm間隔でコイルを移動し、ECRLおよびECUからのMEP波形が最も大きい部位を特定した。刺激部位決定後は8字コイルがその最適部位に一致するよう強固に弾性包帯で頭部に固定した。TMSの刺激強度は、最大出力の50%から5%ずつ刺激強度を増し、10回刺激中5回以上のMEPを誘発する最小の刺激強度を閾値とし、その120%とした。刺激回数は、各刺激条件において10回ずつとした。刺激間隔は5秒とした。

H波は、導出可能であったECRLから導出した。刺激部位は上腕部の橈骨神経とし、一定強度で刺激した。測定肢位は前腕回内外の2肢位とした。

#### (5) データ解析

実験1, 2の動作筋電図は、前置差動増幅器および主増幅器を使用して増幅し、CPUゲージおよび円筒形状握力センサーからの張力信号とともに取り込み周波数2kHzでA/D変換してパーソナルコンピュータに取り込み、20~1000Hzのband-pass filterで処理した。

実験1の解析対象の範囲は、運動開始後に背屈力が最大値に到達した時点より前500msecとし、その間のECRL, ECRB, ECUの筋電図積分値を求めた。次いで、各肢位で得られた筋電図積分値は、前腕回外位背屈40度の値を基準に正規化した(NIEMG1)。

実験2の一定負荷での円筒握り課題は、把持力が60%に到達し安定状態になってからの1000msec, 3区間とし、3区間のECRL, ECRB, ECUの筋電図積分値の平均値を算出した。次いで、前腕回外位で得られた値を基準に正規化した(NIEMG2-1)。リニアランプ負荷でのグリップ課題では、負荷20%毎の250msecのFDPおよびFDSの筋電図積分値を算出し、FDPは前腕回外位における円筒握り最大握力発揮時で得られた値を基準に、FDSは前腕回外位でのPIP関節単独等尺性屈曲最大トルク発揮時で得られた値を基準に正規化した(NIEMG2-2)。

実験3で導出したMEP波形とH波は、同様に増幅し、取り込み周波数10kHzでA/D変換して記録した。記録されたMEP波形とH波は20~5000Hzのband-pass filterで処理した。次いで、得られたMEP波形の最大の振幅値を測定し、前腕回内・外それぞれの肢位における10回の平均値を求めた。次い

で、その2肢位における平均値は、前腕回外位で得られた平均値を基準に正規化した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験1. 等尺性最大手関節背屈運動における手根伸筋群活動と前腕および手関節肢位との関係

図1に最大努力で等尺性手関節背屈運動を行った際の手根伸筋群のNIEMG1を示した。ECRL, ECRBの筋活動は、有意に回内位の方が高かった( $P < 0.01$ )。これらに対しECUの筋活動は回内位に比べ有意に回外位の方が高かった( $P < 0.01$ )。

手関節肢位で比較してみると、ECRLとECUには有意な差がみられたが、ECRBには有意な差は認められなかった。ECRLは前腕回外位においてだけ手関節肢位による有意差があり、手関節掌屈40度での値は他の肢位の値に比べ有意に高かった。ECUにおいては、手関節掌背屈0度の値に比べ掌屈40度の値は有意に低かった( $p < 0.05$ )。これら手関節肢位の変化に伴う筋活動の差は、前腕回内・外肢位の違いによる筋活動の差よりも極めて小さかった。

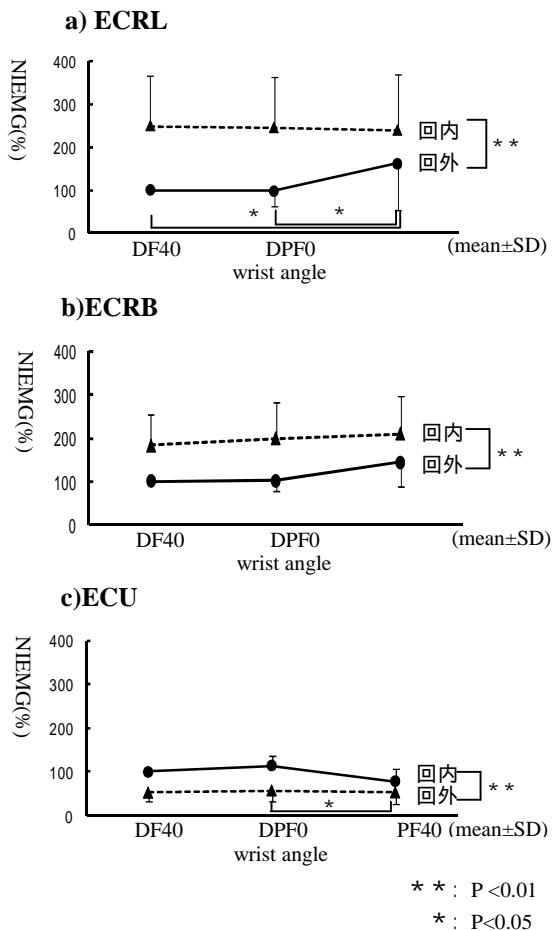


図1 最大努力による等尺性手関節背屈運動時の手根伸筋群活動 (NIEMG1)

(2) 実験 2. 円筒握りをを行っている時の手根伸筋群と手指屈筋群の活動特性

一定の握力で円筒握りをを行っている時の手根伸筋群活動と前腕肢位との関係

表 1 に 60% 握力で円筒握りをを行った際の手根伸筋群の NIEMG2-1 を示した。前腕回内位での ECRL、ECRB および ECU の筋活動は前腕回外位より有意に高い値を示していた (ECRL;  $P < 0.05$ , ECRB;  $P < 0.05$ , ECU;  $P < 0.05$ )。

表 1 60% 握力による円筒握り時の手根伸筋活動 (NIEMG2-1)

	前腕肢位	
	回内	回外
ECRL	119.4 ± 7.4 *	100
ECRB	121.3 ± 11.2 *	100
ECU	172.9 ± 41.1 *	100

(mean ± SD, \*:  $P < 0.05$ )

リニアランプ負荷で円筒握りをを行っている時の手指屈筋活動と前腕肢位との関係

図 2 にリニアランプ負荷での円筒握りをを行った際の FDP と FDS の NIEMG2-2 を示した。リニアランプ負荷時の筋活動の増加のパターンにおいては、FDP は直線的に増加していたが、FDS は最大握力に至る中ごろまでは比較的緩やかに、それ以降は急峻に増大していた。これらの筋の活動特性は、前腕回内外肢位間で差はなかった。

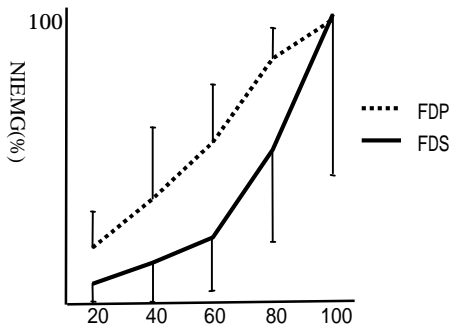


図 2 リニアランプ負荷による円筒握り時の指屈筋群活動 (NIEMG2-2)

(3) 実験 3. TMS による MEP および H 波の振幅と前腕肢位との関係

表 2 に前腕回内外肢位と %MEPamp との関係を示した。FCRL と ECU の %MEPamp は、回外位に比べ回内位で有意に高かった

( $P < 0.01$ )。図 3 は、前腕回内・外の 2 肢位における ECRL から導出した磁気刺激誘発電位波形の代表例を示した。その波形の振幅は、前腕回外位より回内位で大きいことを示している。また、4 人の被験者から導出した ECRL から導出した H 波の振幅においては、前腕回内外肢位の違いによる差は認められなかった。したがって、前腕肢位の違いは、手根伸筋群が支配されている錐体路細胞の興奮性に影響を与えている可能性があり、それは脊髄レベルで制御されているものではないことが示唆された。

表 2 FCRL と ECU の %MEPamp

	前腕肢位	
	回内	回外
ECRL	218.5 ± 84.3 **	100
ECU	206.0 ± 82.9 *	100

(mean ± SD, \*\*:  $P < 0.01$ , \*:  $P < 0.05$ )

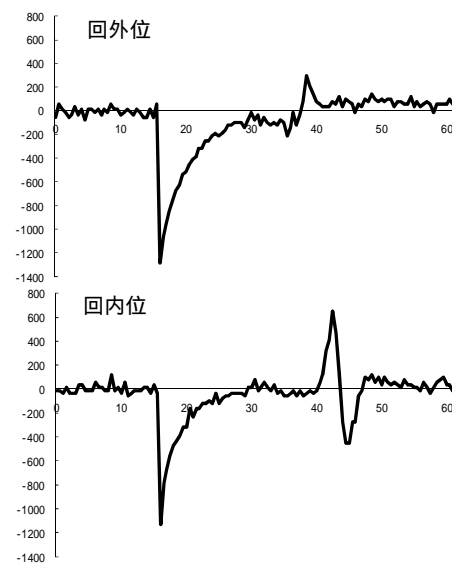


図 3 ECRL から導出した前腕回内・外の 2 肢位における磁気刺激誘発電位波形の代表例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

- 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 半田康延. 尺側手根伸筋の筋活動と前腕回内外肢位との関係. 日本手の外科学会誌. 2009; 25: 610-614. (査読有)
- 土田尚美, 大山峰生, 牧裕, 吉津孝衛:

手指屈曲運動における深指屈筋および浅指屈筋の筋活動と手指屈曲力との関係 . 日本手の外科学会誌 .2009; 25: 611-615 . (査読有)

Kirimoto H, Ogata K, Onishi H, Oyama M, Tobimatsu S : Transcranial direct current stimulation over premotor cortex modifies the excitability of the ipsilateral primary motor and somatosensory cortices. IEEE/CME International congress, 2009; 12-16. (査読有)

[学会発表](計8件)

大西秀明, 大山峰生, 相馬俊雄, 久保雅義, 桐本光, 大石誠, 村上博淳, 亀山茂樹 : 随意運動開始前の脳磁界反応について .第 39 回日本臨床神経生理学会 ,2009. 11. 18-20. (福岡)

大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 半田康延 : 尺側手根伸筋の筋活動と前腕回内外肢位との関係 .第 51 回日本手の外科学会, 2008.4.16-17 .(筑波)

土田尚美, 大山峰生, 牧裕, 吉津孝衛 : 手指屈曲運動における深指屈筋および浅指屈筋の筋活動と手指屈曲力との関係 . 第 51 回日本手の外科学会, 2008.4.16-17 . (筑波)

桐本光, 緒方勝也, 大西秀明, 大山峰生, 後藤純信, 飛松省三 : 運動前野への経頭蓋直流電流刺激が一次運動野及び体性感覚野の興奮性に及ぼす影響 .第 38 回臨床神経生理学会, 2008. 11. 12-14. (神戸)

大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 亀山茂樹 : 正中神経刺激による体性感覚誘発脳磁界と M 波との関係 .第 20 回日本生体磁気学会, 2007.6.21-23. (岡崎)

大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 大石誠, 亀山茂樹 : 正中神経刺激による体性感覚誘発脳磁界 N60m, N90m と M 波との関係 . 第 37 回日本臨床神経生理学会 ,2007.11. 19-23. (宇都宮)

相馬俊雄, 大西秀明, 大山峰生, 亀山茂樹, 大石誠, 黒川幸雄 : 筋長の違いが体性感覚誘発磁場に及ぼす影響 .第 37 回日本臨床神経生理学会, 2007.11. 19-23. (宇都宮)

大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 土田尚美 : 回内筋・上腕二頭筋収縮が手根伸筋及び指伸筋に及ぼす影響 .第 19 回日本ハンドセラピー学会, 2007.4. 21. (山形)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

大山 峰生 (OYAMA MINEO)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授

研究者番号 : 10367427

(2)研究分担者

大西 秀明 (ONISHI HIDAKI)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授

研究者番号 : 90339953

相馬 俊雄 (SOMA TOSHIO)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・准教授

研究者番号 : 40339974

(3)連携研究者

桐本 光 (KIRIMOTO HIKARI)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・講師

研究者番号 : 40406260