

---

上肢巧緻運動の神経制御機構の解明  
— 頸髄部における肘関節運動の制御機構 —

---

(研究課題番号：01480364)

平成1～3年度科学研究費補助金  
(一般研究B) 研究成果報告書

平成4年3月

研究代表者 平山隆三  
(旭川医科大学医学部)

## はしがき

昭和63年度から、文部省科学研究費補助金（一般研究B）の助成のもとに行われた「上肢巧緻運動の神経制御機構の解明、一頸随部における肘関節運動の制御機構」は3年間の研究期間を終了し、ここに研究成果報告書をまとめることになった。研究計画の全てが達成されたわけではないが、いくつかの新しい有用な知見がえられたと考えられる。報告書の作成にあたり各分野の専門家の方々からの率直な御批判を願うものである。

## 研究組織

研究代表者： 平山 隆三（旭川医科大学医学部・講師）

研究分担者：

- ・昭和63年度 竹光 義治（旭川医科大学医学部・教授）  
原田 吉雄（旭川医科大学医学部・助教授）  
安藤 御史（旭川医科大学医学部・講師）  
渡壁 誠（旭川医科大学医学部・助手）
- ・平成2年度 竹光 義治（旭川医科大学医学部・教授）  
原田 吉雄（旭川医科大学医学部・助教授）  
安藤 御史（旭川医科大学医学部・講師）  
渡壁 誠（旭川医科大学医学部・助手）  
熱田 裕司（旭川医科大学医学部・助手）
- ・平成3年度 竹光 義治（旭川医科大学医学部・教授）  
原田 吉雄（旭川医科大学医学部・助教授）  
安藤 御史（旭川医科大学医学部・講師）  
渡壁 誠（旭川医科大学医学部・助手）  
熱田 裕司（旭川医科大学医学部・助手）  
多田 博（旭川医科大学医学部・助手）

研究協力者

- 三木田 光（旭川医科大学医学部・医員）
- 今井 充（旭川医科大学医学部・技官）

## 研究経費

昭和63年度	5,900千円
平成2年度	600千円
平成3年度	600千円
計	7,100千円

## 研究発表

### 1、学会誌等

- 1) Hirayama T, Takemitsu, Y, Atsuta, Y and Ozawa K :  
Restoration of Elbow flexion by Complete Latissimus Dorsi muscle  
Transposition. 1989 Year Book of HAND SURGERY 186-187. 1989.
- 2) Hirayama T, Takemitsu Y, Yagihara K and Miki Ta :  
Operation for Elbow Dislocation of the Radial Head in children,  
- Reduction by Osteostomy of the Ulna -  
1989 Year Book of HAND SURGERY 247-249. 1989.
- 3) 平山隆三、竹光義治 : 肘Flexor-plastyにおける肩関節安定性の効果  
肩関節13巻1号 132-134. 1989.
- 4) 平山隆三、多田 博、梅藤千秋、佐藤寿一、竹光義治 :  
Moberg法に於ける肘伸展機能再建術、日手会誌 6巻3号 453-455. 1989.
- 5) 原田吉雄、今井 充、岩原敏人、熱田裕司、竹光義治、渡壁 誠 :  
整形外科領域における術中脊髄モニタリングの現況  
Spinal Surgery 3: 49-56, 1989
- 6) Imai, M., Harada, Y., Atsuta, Y., Takemitsu, Y. and Iwahara, T.  
Automated Spinal Cord Monitoring for Spinal Surgery.  
Paraplegia 27: 204-211, 1989
- 7) Iwahara, T., Atsuta, Y., Harada, Y., Takemitsu, Y. and Imai, M.  
Effects of Eperisone Hydrochloride on Spinal Cord Blood Flow.  
Neuro-Orthopaedics 7: 60-63, 1989
- 8) 平山隆三、多田 博、中野令子、竹光義治 :  
麻痺肘に対する筋腱移行術による機能再建、日手会誌 7巻3号 73-75. 1990.
- 9) 平山隆三、多田 博、中野令子、竹光義治 :  
肘部管症候群の観血的治療とその問題点.  
東日本臨床整会誌 2巻3号 616-617. 1990
- 10) 平山隆三 : 麻痺肘に対する筋腱移行術による機能再建  
道整開医報 27巻 23-27. 1990.

- 11) 平山隆三、多田 博、三島令子、竹光義治 : 頸随損傷麻痺手の機能再建  
—上位頸随損傷麻痺の再建術—、整形災害外科 34巻 8号 1003-1008. 1991.
- 12) 平山隆三、多田 博、三島令子、竹光義治 :  
頸随損傷麻痺肘に対するMoberg法による肘伸展機能再建術、  
臨床整形外科 26巻 12号 1369-1375. 1991.
- 13) Tada H, Hirayama T, Takemitsu Y. : Extensor Tendon Rupture after Osteo-  
arthrosis of the Wrist Associated with Nonrheumatoid Posttitive  
Ulnar Varance. Clinical Orthop and Related Research 262. 141-147. 1991
- 14) 多田 博、平山隆三、三島令子、竹光義治 : 等尺性運動による握力分析  
臨床整形外科 20巻 1353-1359. 1991.
- 15) Tada, H., Hirayama, T., Asuta, Y. and Takemitsu, Y.  
Experimental Study of Neurotization of Denervated Muscle with Nerve  
to Vein Transfer. Microsurg. 12: 396-401, 1991.
- 16) 加茂裕樹、今井 充、熱田裕司、竹光義治、原田吉雄、宮武泰正、浜田 修、  
菅原 修、渡壁 誠 :  
頸随症における術前・術中脊髄誘発電位  
脊髄電気診断学 13(1) : 166-169, 1991

## 2. 口頭発表 (主要学会)

- 1) 平山隆三、多田 博、竹光義治、ほか: Moberg法による肘伸展機能再建術  
第32回日本手の外科学会 北九州 1989. 5/11-13
- 2) 平山隆三、多田 博、中野令子: 頸随損傷麻痺手の機能再建術  
第77回北海道整形災害外科学会 1989. 6/24-25.
- 3) 平山隆三、多田 博、中野令子、竹光義治:  
肘部管症候群の観血的治療とその問題点  
第38回東日本臨床外科学会、旭川、1989. 9/9-10
- 4) 平山隆三、多田 博、中野令子、竹光 義治:  
広背筋移行術による肘屈曲機能再建術  
第20回日本肘関節研究会 東京 1990. 2/10

- 5) 平山隆三、多田 博、中野令子、竹光 義治：  
麻痺肘に対する筋腱移行術による機能再建  
第33回日本手の外科学会 東京 1990. 5/17-19
- 6) 平山隆三、三木田光、熱田裕司、渡壁 誠、竹光 義治：  
肘関節周囲筋活動様式に関する動作筋電図学的検討  
第5回日本整形外科学会基礎学術集会 神戸 1990, 10/3-5.
- 7) 三木田光、渡壁 誠、平山隆三、熱田裕司、竹光 義治：  
正常及び頸髄症における肘関節複合運動の筋電図学的検討  
第20回日本脊椎外科学会 旭川 1991, 6/21-22
- 8) HIRAYAMA Takakazu. Complete Latissimus Dorsi Transfer to Restore  
Elbow Flexion to the Paralysed upper Extremity,  
The International Hand Cengress (WPOA)  
Bangkok Thailand 1991, 11/15
- 9) 原田吉雄. 棘突起縦割脊柱管拡大術の手術成績  
第64回日本整形外科学会 京都 1991, 4

## 研究成果

頸随症による上肢巧緻運動障害の存在は、臨床的、経験的によく知られているがその病態生理は不明であり頸随神経回路の構造がいかなる様式で障害されているかを解明するには至っていない。この解明のため上肢巧緻運動の中でも手の運動機能を仲介する肘関節の制御機構障害が頸随症で特に著しいことに着目した。まず正常肘関節機能を動作筋電図学的に解析することにより肘周囲筋の屈曲伸展運動、回内回外運動における動的二次元運動の活動様式はほぼ解明された。しかしこれらが複合した時の各筋の三次元動的活動様式は未だ充分解明されていない、これらの解明が肘周囲筋の複合活動様式、頸随部神経回路障害の制御様式の解明に役立つか否かを動作筋電図学的に検討した。

### I：目的

本研究の目的は①正常肘関節運動活動様式を二次元動的活動様式、三次元動的活動様式につき動作筋電図学的に解明する、②正常肘関節活動様式と頸随部神経回路障害肘関節活動様式と比較検討する、③頸随症における上肢巧緻運動障害の発現機序、程度部位易損傷順位の客観的前提の指標を明かにし診断、治療に応用する。

### II：研究方法

肘関節の屈曲伸展角 $180^\circ$ 、回内回外角 $180^\circ$ の自由度を有する三次元運動機能評価装置を作製し(図1)肘関節周囲筋の活動様式を以下の条件下にて解析を行った。検査肢位は肩関節外転約 $30^\circ$ とし肘関節周囲筋、(上腕二頭筋長頭、短頭、腕橈骨筋、上腕筋、上腕三頭筋長頭、外側頭、内側頭、肘筋回内筋、回外筋、方形回内筋)より各々多極ワイヤー電極にて選択的に筋電図導出を行い積分値測定、周波数分析を行った。電極が目的筋に正確に刺入保持されてることを検査前後の電気刺激にて確認し、各検査間に充分な間隔を置き、疲労による影響のないこと再現性のあることを確認した。予備条件として無負荷で前腕の回旋と一定に保った場合の肘屈曲伸展運動、肘屈曲を一定に保った場合の肘回内回外運動(回旋運動)に伴い屈筋伸筋、回内筋回外筋の活動様式を検討した。

### 設定条件

- ① 肘 $90^\circ$  屈曲位にて連続回内回外運動
- ② 肘 $90^\circ$  屈曲位にて伸展負荷(15kgcm, 30kgcm, 45kgcm, 60kgcm)に対する一定の屈曲力を発生させながらの連続回内回外運動
- ③ 回内負荷(6.0kgcm, 15kgcm)に対する一定の回外力を発生させながら回外負荷(6.0kgcm, 15kgcm)に対する回内力を発生させながらの連続屈曲伸展運動
- ④ 肘 $90^\circ$  屈曲位にて回旋運動の角速度の変化に伴う拮抗筋の活動様式

4条件につきを正常肘30名（男19人、女11人、年齢22才～30才 左肘）と頸随症を有する肘10名（男10人、年齢25才～61才、左肘）を比較検討した。

### III：研究成績

肘関節周囲筋屈筋（上腕二頭筋長頭、短頭、腕橈骨筋、前腕尺側屈筋群、上腕筋）、伸筋（上腕三頭筋長頭、外側頭、内側頭、肘筋、前腕尺側伸筋、前腕橈側伸筋）、回旋筋（回外筋、回内筋、方形回内筋）より筋電図導出を行い屈曲-伸展、回内-回外と二次元的運動にて検討した。予備条件下での肘周囲筋活動様式は、無負荷で前腕での回旋を一定に保った場合、肘屈曲伸展運動では、上腕二頭筋、上腕筋、腕橈骨筋は肘屈筋として、上腕三頭筋、肘筋は肘伸筋として一定の活動様式を示した。屈曲位相、伸展位相における協同筋の分離は観察されなかった。屈曲を一定に保った場合、肘回外回内の回旋運動では、回外筋、上腕二頭筋は回外筋として回内筋、方形回内筋は回内筋として一定の活動様式を示した（図3）。回内位相、回外位相における協同筋の分離は観察されなかった屈筋としての上腕二頭筋長頭、短頭間、前腕尺側屈筋、前腕橈側屈筋間、伸筋としての上腕二頭筋長頭、外側頭内側頭間、前腕橈側伸筋、前腕尺側伸筋間において屈曲、伸展回旋において各位相間に個体差があり有意の一定の所見を見だしえなかった。よって肘屈筋は上腕二頭筋長頭筋、上腕筋、腕橈骨筋、肘伸筋として上腕三頭筋長頭筋、肘筋を用い、回旋筋として回外筋、回内筋、方形回内筋を選択し分析に供した。上記各筋は正常肘においては各個人、年齢、性別に関係なく肘屈曲伸展、回旋（回内、回外）により一定の活動様式を示し次の結果を得た。

#### A) 正常試験者20肘の肘屈曲伸展回旋による活動様式

- ①肘90°屈曲位にての連続回内回外運動では角速度の約300°/秒以上で回外位相の上腕二頭筋活動が著明に増大した。角速度が平均300°/秒以上で上腕二頭筋の位相に同期して上腕三頭筋の活動が出現し、速度の増大とともに活動を増加した。回内位相では回内筋、方形回内筋に一定の活動様式を示さなかった（図4）。
- ②肘90°屈曲位にて伸展負荷に対する一定の屈曲を発生させながら連続回内回外運動では、伸展負荷に対しての肘角度を一定に保つため上腕二頭筋、上腕筋、腕橈骨筋が協同として屈筋として活動するが回内回外速度の増大に伴い上腕二頭筋は回外位相に、上腕筋、腕橈骨筋は回内位相に同期し活動が分離された（図5）。
- ③回内負荷、回外負荷に対して一定の回外力、回内力を発生させながら連続屈曲伸展運動を行わせると回内負荷に対して上腕二頭筋と回外筋が協同して活動するが、肘屈曲伸展速度の増大に伴い上腕二頭筋は肘屈曲位相に、回外筋は伸展位相に同期して活動が分離された一方回内筋は肘屈曲時に、前腕部方形回内筋は肘伸展時に回内筋として活動する傾向が観察された（図6）。
- ④回旋角度の変化に伴う拮抗筋活動の活動様式  
正常肘では肘屈曲位で、回旋角度の増加に伴い、上腕二頭筋の活動が回外時に増加し、それと同期して上腕三頭筋の活動が出現し、角速度の増加に伴い活動が増加した（図6、図7）。

B) 頸髄部神経回路障害(頸髄症)肘の屈曲、伸展回旋運動における活動様式。

条件①では、角速度 $300^{\circ}$  /秒以下においても回内、即ち上腕二頭筋の休止期にも上腕三頭筋の活動が出現した、角速度  $300^{\circ}$  /秒以下にても上腕二頭筋の位相に同期して上腕三頭筋 の活動が出現しより遅い角速度でも存在していた(図8)。条件②では上腕二頭筋の回外位相に、上腕筋、腕橈骨筋の回内 位相における活動分離は低回旋角度においては分離可能であったが回旋角速度 $300^{\circ}$  /秒以下でも上腕二頭筋と上腕筋、腕 橈骨筋の各位相における分離は困難である。

条件③では肘屈曲伸展運動における上腕二頭筋と回外筋、回内筋と方形回内筋において屈曲位相の活動分離は観察できず、角速度 $300^{\circ}$  /秒以下でも一定の各位相における分離を示していない。

条件④では拮抗筋の同期は角速度 $300^{\circ}$  /秒以下でも出現し、回旋角速度が増加しても上腕二頭筋と同期して出現する三頭筋の活動が認められない(図9)。角速度を一定に保った回旋運動時に拮抗筋は常に筋緊張状態にあり、回旋角速度の遅い時期より拮抗筋への出現増加が観察され、つれては負荷の増加により遅い角速度で出現してくる、その角速度の分界点は屈曲伸展角速度 $300^{\circ}$  /秒、回旋角速度 $300^{\circ}$  /秒に存在した。

#### IV : 考察

正常肘周囲筋の活動様式は、負荷と運動速度の条件により変化するが三次元動的活動様式に一定の法則を見いだした。即ち屈曲運動における協同筋としての上腕二頭筋と腕橈骨筋及び上腕筋の間で、また回外運動における協同筋としての上腕二頭筋と回外筋との間、回内運動における協同筋としての回内筋と方形回内筋の間で各々の角度における位相間で活動の分離が観察された。肘を一定の屈曲角度に保持しての回旋角速度の増加に伴う上腕二頭筋の活動は回外時に増加しそれに同期して拮抗筋である上腕三頭筋が活動を示し角速度の増加に伴い活動が増加した。正常肘における協同筋間、及び拮抗筋間において筋活動の分離、同期が観察された、これらは負荷の増加に伴い遅い角速度での分離同期活動が観察された。

頸髄神経回路障害肘(頸髄症肘)では遅い角速度、軽い負荷では正常肘と同様に分離同期が可能であるが、遅い角速度、負荷の増加に伴い分離同期は不可能となる。正常肘と分界角度は屈伸角速度毎秒約 $300$ 度、回旋角速度約 $300$ 度に存在し、臨床的示標としては屈曲伸展で1往復/秒、回内回外1往復/秒で拮抗筋の活動が出現する。頸髄症肘においては低回旋角度でも協同筋間の位相の分離、拮抗筋の分離協同がなく、たとえば通常上腕二頭筋休止期である回内時にも上腕三頭筋の活動が出現する、回旋角速度が増加しても通常上腕二頭筋活動に同期して発現する三頭筋活動が観察されないでいる、即ち正常肘においては速い回旋角速度の際に回外時の上腕二頭筋が巧みに同時収縮することによって肘屈曲が一定に保持されている。この現象は角速度依存性であることから頸髄レベルにおいてすでに筋活動制御神経回路が構築されていると推測される、しかし頸髄部障害肘(頸髄症肘)ではこのような上腕二頭筋-上腕三頭筋の拮抗筋間において明らかに分離、同期活



動が障害されている（図7、図8）。このことは頸髄内の脊髄固有神経回路に破綻をきたしていると推定される、これら異常様式発言は頸髄部神経回路障害の臨床的診断の示標となる。

#### [まとめ]

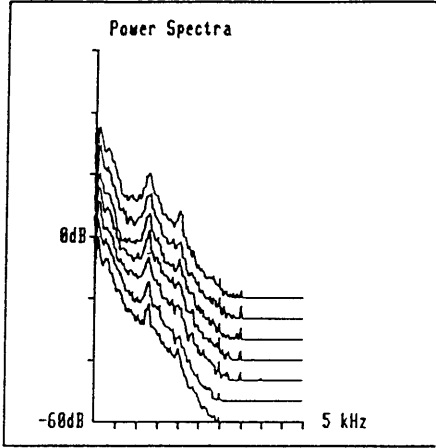
肘周囲筋の三次元動的機能連関を動作筋電図学的に正常肘と頸髄神経回路障害肘（頸髄症肘）を比較検討した。正常肘周囲筋の活動様式一定の角速度（屈曲伸展毎秒300度、回旋300度）までは協同筋、拮抗筋間に明確な活動様式の同期、分離が観察されたが頸髄症肘周囲筋の活動様式はより遅い角速度においても同期分離が障害されているのが観察された。正常肘周囲筋の活動様式の解明は機能的電気刺激筋腱移行術による麻痺肘の機能再建プログラムの設定、ロボット工学などの有用なだけでなく、頸髄症肘周囲筋の活動様式の解明と相伴して頸髄部における運動制御機構の解明に有利な手段となる。

#### [展望]

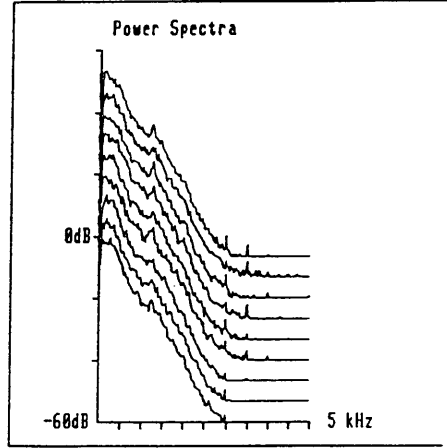
- 1) 本研究の結果より、予備実験で各屈筋間、各伸筋間において各位相における活動様式に明らかな活動様式の差を見つけ得なかったことは、より精密な三次元運動装置の開発も期待されるが、各個人特有の個体差によることが大きいと考えている。したがって各個人による機能評価が必要となってくる。
- 2) 各筋の活動機能持性をより、三次元動的運動に関与する協同筋、拮抗筋、各筋間の相互、相乗作用を正確に解明することで機能的電気刺激への利用が可能となるだけでなく工学ロボットなどにも応用できる。
- 3) 正常肘周囲筋の協同筋、拮抗筋の同期分離活動の解明に頸髄部より中枢の障害の同定に有用であるだけでなく中枢部における神経支配による肘周囲筋の筋活動様式が解明される、これらの解明は頸髄症などの臨床診断に利用されまた運動生理学、ススポーツ医学へも応用されうる。さらに頸髄損傷など麻痺肘の機能再建の計画にも有効な情報を提供すると考える。



周波数分析



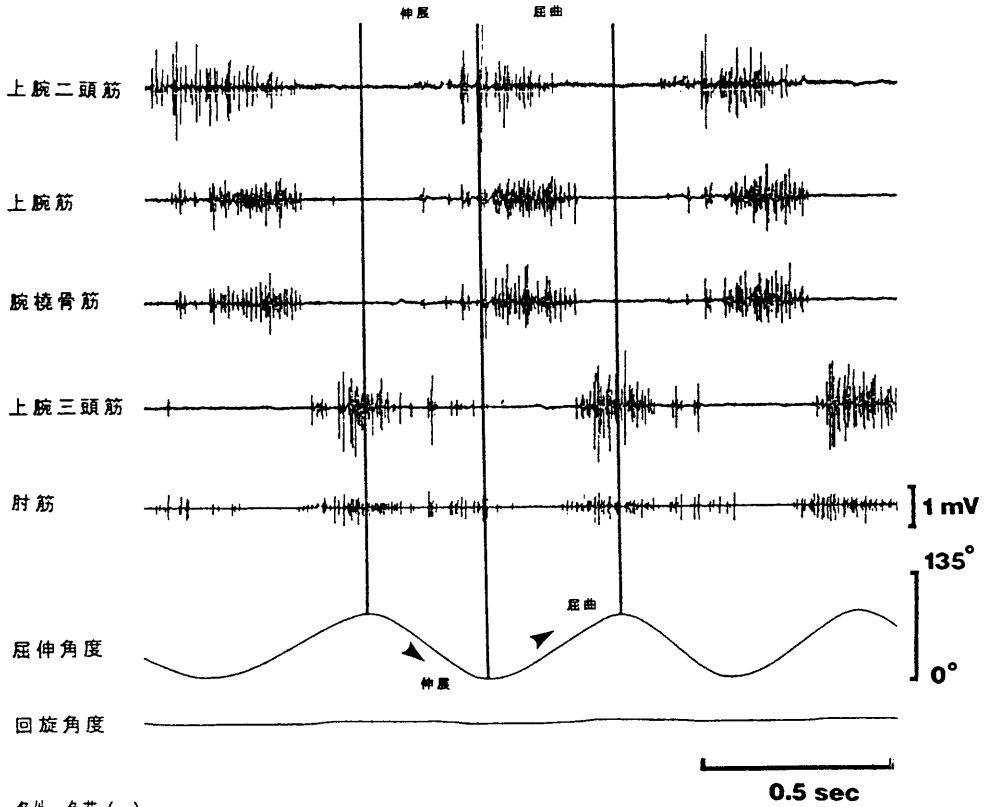
上腕三頭筋



上腕二頭筋

図 2

# 協同筋活動の分離



条件: 負荷 (-)

図 3

# 回旋角速度と拮抗筋の関係

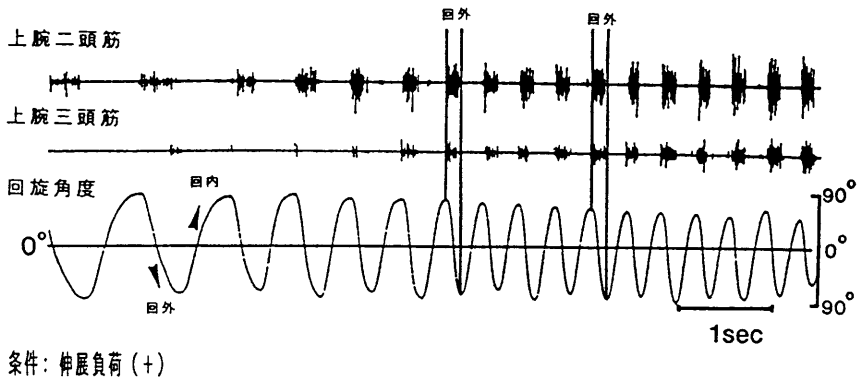


図 4

# 回旋角速度の変化と協同筋活動の分離

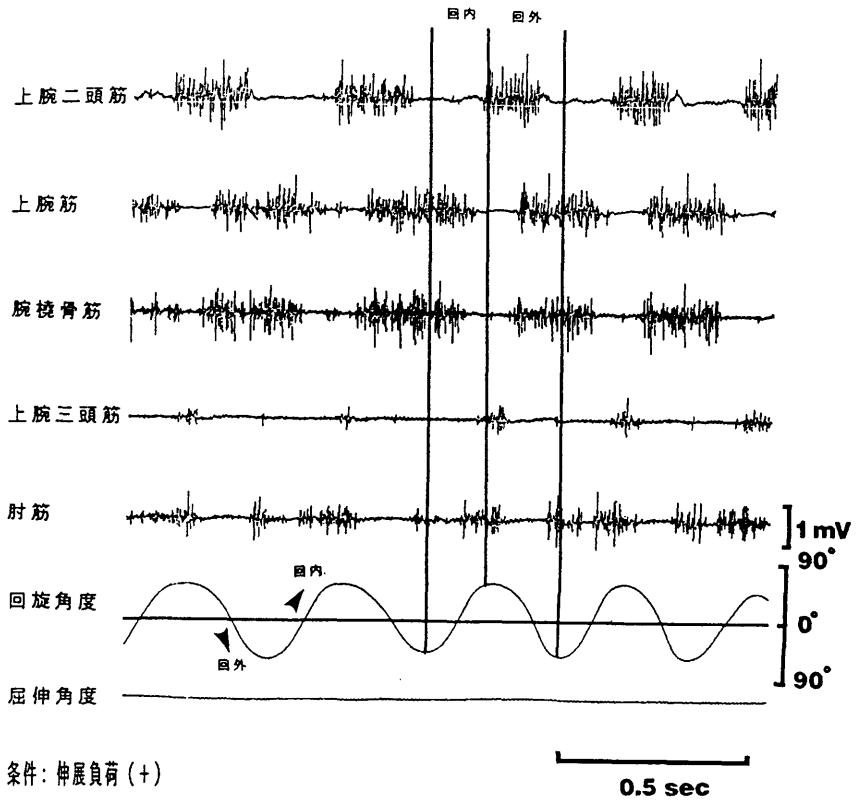


図 5

# 屈伸角速度の変化と協同筋活動の分離

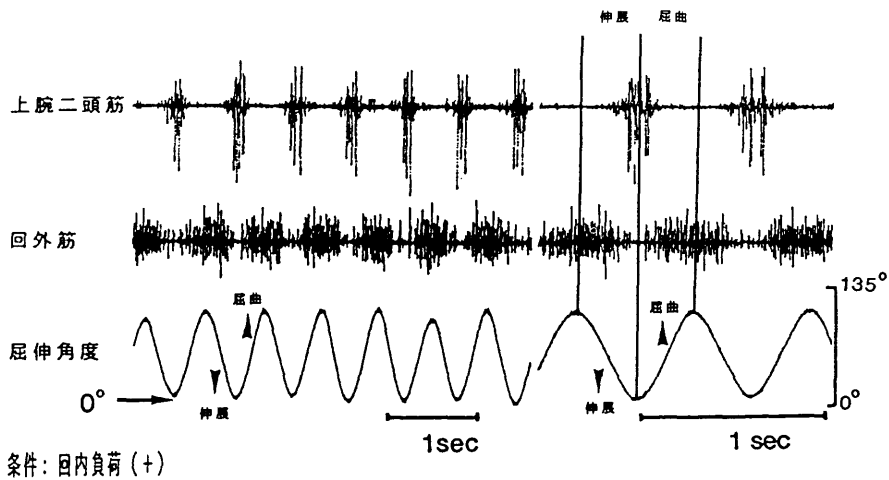


図 6

# 回旋角速度と拮抗筋の関係

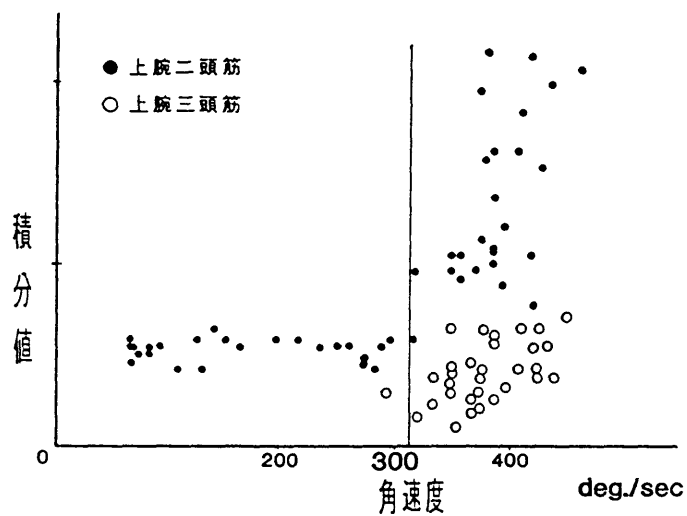


図 7



男性

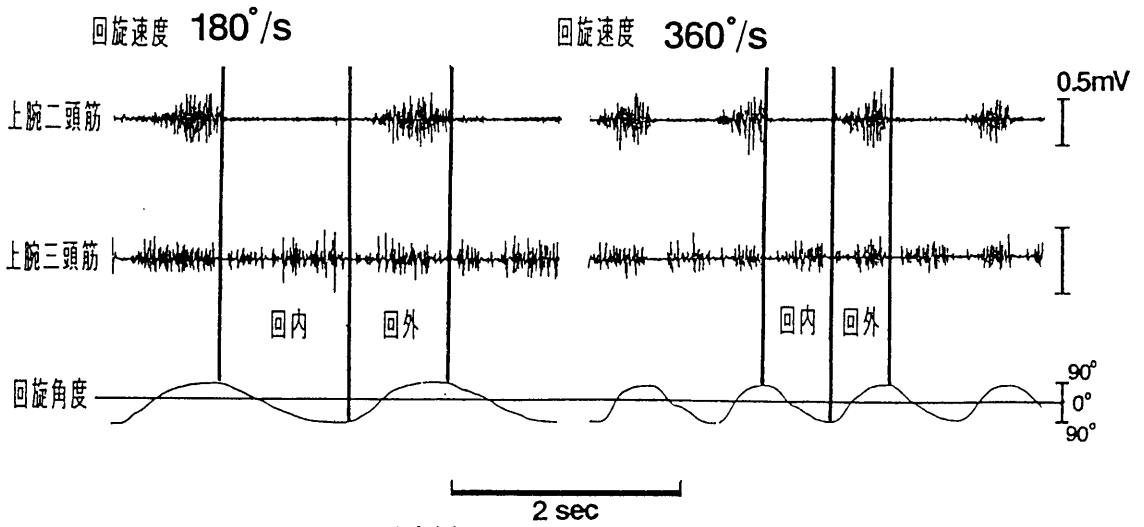


図8 OPLLによる頸髄症例

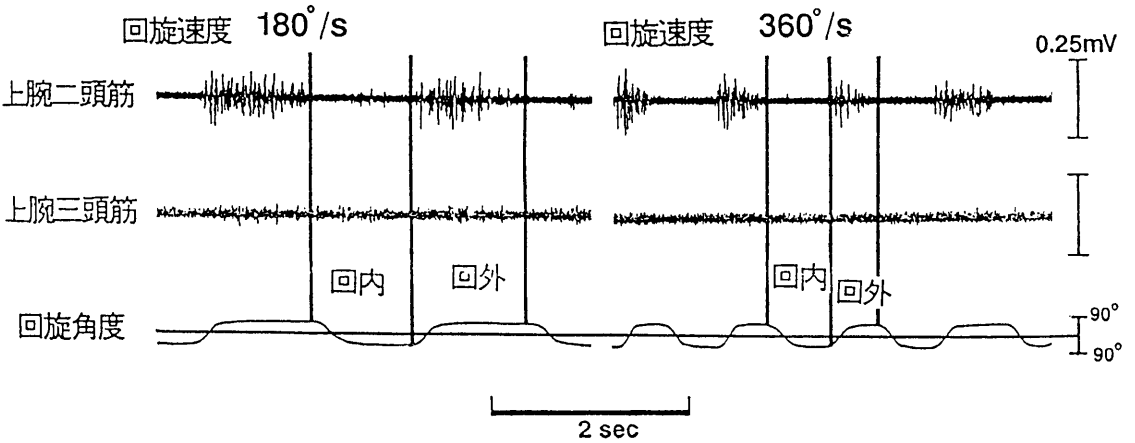


図9 頸椎症による頸髄症例



INTEGRATED ACTIVITIES OF ELBOW MUSCLES DURING RAPID  
FOREARM ROTATION

Akira Mikita, M.D. \*

Takakazu Hirayama, M.D., Ph.D.\*

Yuji Atsuta, M.D., Ph.D.\*

Yoshiharu Takemitsu, M.D.\*\*

\* Dept. Orthop. Surg. Asahikawa Medical College

\*\* Professor of Dept. Orthop. Surg. Asahikawa Medical  
College

Mailing address: Department of Orthopaedic Surgery,  
Asahikawa Medical College, Nishikagura 4-5, 3-11,  
Asahikawa 078, Japan

## INTRODUCTION

In the motions performed in the upper extremity, flexion-extension of the elbow joint is well coordinated with the forearm rotation ( pro-supination). Our previous studies demonstrated that the rapid alternating forearm rotation was able to be carried out by maintaining the elbow flexion angle within the range of about 5 degrees in normal subjects. In clinical practice, disturbance of rapid alternating forearm rotation is common in patients with cervical myelopathy. These patients could not keep the constant elbow flexion angle during forearm rotation . This occurs even in those with normal motor power of the upper extremity. So rapid forearm rotation keeping a constant angle of elbow flexion was thought to be an interesting model which could be used to analyse the integrated manner in which muscles performed this motion.

As biceps brachii is a bi-functional muscle which acts as an elbow flexor and forearm supinator, it was thought to play an important role in complex elbow motions. In this study, attempts were made to clarify the following by using electromyographic analysis. First to determine the integrated activity of the

elbow extensor muscles which act against the flexion force produced by biceps brachii in rapid forearm supination. Second to determine the relationship between the biceps brachii and brachialis and brachioradialis muscles in rapid forearm rotation. In order to enhance the integrated activity pattern, loads in the direction of elbow flexion or extension were combined with forearm motion.

#### MATERIALS AND METHODS

Eight normal adults were used as subjects for this study. The mean age was 26.6 years. The subjects were placed in a supine position with a shoulder abduction of 30 degrees. The angles of elbow flexion and forearm rotation were recorded by an electrogoniometer equipped with an apparatus designed not to disturb either of the motions. Electromyographic activities were recorded from Biceps brachii ( long head and short head) Triceps brachii ( long head, medial head and lateral head ), Brachialis, Brachioradialis and Anconeus using fine wire electrodes. The subjects maintained the elbow flexion angle at 90 degrees voluntarily having the visual feed back on an oscilloscope monitor.

The following movements were analysed: 1)

Alternating forearm rotation without load, 2)  
Alternating forearm rotation with load in the direction of the elbow flexion or extension. In both movements, the angular velocity of the forearm rotation was gradually increased from zero to the maximum level for each individual.

## RESULTS

The activities of the biceps brachii and triceps brachii were observed and the rotation angle of the forearm was recorded simultaneously. (see Fig. 1-A )  
(Figure 1 is here)

There was no significant difference of activities among each head of biceps brachii and triceps brachii. During forearm rotation, maintaining the angle of elbow flexion at 90 degrees, biceps brachii displayed activity in the supination phase. With an increase in the angular velocity of the forearm rotation, the activity of biceps brachii increased. In rapid forearm rotation, in the supination phase, triceps brachii displayed activity at the same time as biceps brachii. The relationship between the EMG activities of the biceps and triceps and the angular velocity was analysed. ( see Fig. 1-B) The activity of triceps brachii was significant at an angular velocity of

about 300 degree/sec and was accompanied by a significant increase in the activity of biceps brachii. The other elbow extensor muscle, as anconeus, did not display activity in the supination phase. Next the alternating forearm rotation with loads was analysed. Using a load of 30 kg-cm in the direction of elbow flexion, triceps and anconeus displayed tonic activity at still forearm position. During rapid forearm rotation biceps brachii displayed activity only in supination phase.(see Fig. 2-A )  
(Figure 2 is here)

Although the activity of the triceps was seen in both the supination and pronation phase, it was dominant in the supination phase. In contrast, anconeus displayed increased activity only in the pronation phase. The different properties of triceps and anconeus were demonstrated although both of them are in the category of elbow extensor.

With the load of 30 kg-cm in the direction of elbow extension, the biceps, the brachialis and brachioradialis displayed tonic activity in the still forearm position. In rapid forearm rotation, the biceps displayed activity only in the supination phase.(see Fig. 2-B ) However brachialis and

brachioradialis displayed activities when were out of phase with biceps brachii. The activities of the triceps and anconeus were decreased by the extension load.

### DISCUSSION

Of the two functions of biceps brachii, flexor action is antagonized by triceps brachii and anconeus. However during rapid forearm rotation, biceps and triceps exhibited co-contraction activity during the supination. So the supinator function of biceps was not antagonized by triceps. Furthermore, triceps changed its activity depending on that of biceps. Therefore the role of triceps in this situation appeared to be to maintain the angle of elbow flexion against the flexion force produced by the biceps during supination. In contrast, anconeus showed a different pattern of activity from triceps. It was suggested that the anconeus may act to compensate for the deficient of activity of triceps during pronation. These characteristics became more obvious when the angular velocity of forearm rotation was increased. We assume that a neural program may contribute to the regulation of these activities.

With the elbow extension load, the elbow flexion



angle at a constant 90 degrees, and with an increase in the angular velocity of rotation, biceps displayed activity in the supination phase while the brachialis and brachioradialis displayed activity in the pronation phase. It was demonstrated that the deficiency of flexion force in the pronation phase against the load was compensated by the increased activities of the brachialis and brachioradialis. This characteristic was also more obvious with an increase in the velocity of rotation. These results indicated that rapid forearm rotation at a constant elbow angle with or without load was caused by the integration of the bi-functional muscle and the other muscles.

#### ACKNOWLEDGMENT

We wish to express our thanks to Mr. MARC WEEDON-NEWSTEAG for correcting English in our manuscript.

## REFERENCES

1. ( Book, 2 authors )

Basmajian, J. V., Deluca, C. J. (1985). Muscles Alive; Their Functions Revealed by Electromyography. Fifth Edition. Williams & Wilkins

2. ( Journal, 3 authors )

Robert, D. R., Robert, J. J., & Robert, M. J. (1951). Rotation of the Forearm. Journal of Bone and Joint Surgery, 33-A, 993-996.

3. (Journal, 2 authors )

Thomas, F. G., & Wayne, M. G. (1985). The Function of the Anconeus Muscle. Clinical Orthopaedics, 192, 147-148.

## CAPTION OF ILLUSTRATIONS

### Figure 1

A: Alternating forearm rotation without load keeping elbow flexion angle at 90 degrees. The EMG activities of triceps brachii and biceps brachii are shown with the angle of rotation.

B: The relation of EMG activities between biceps and triceps is shown with the angular velocity on an axis of abscissa. The EMG activities against maximum EMG are indicated along an axis of ordinate.

### Figure 2

A: Alternating forearm rotation with flexion load. The EMG activities of triceps, biceps and anconeus are shown with the angle of rotation.

B: Alternating forearm rotation with extension load. The EMG activities of the triceps, biceps, brachialis, brachioradialis and anconeus are shown with the angle of rotation.

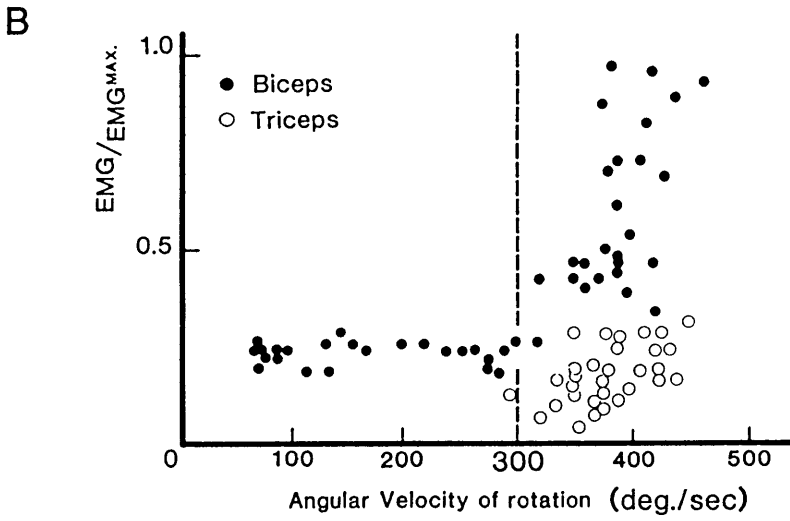
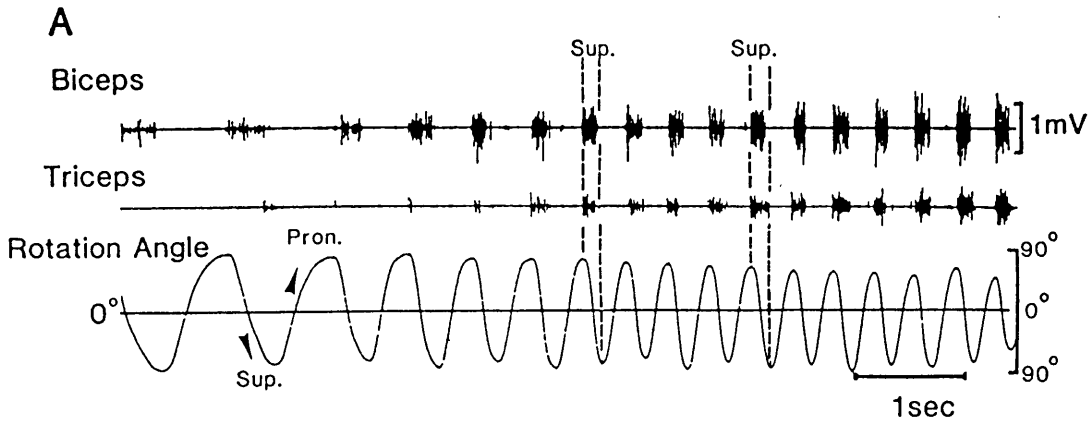


Fig 1

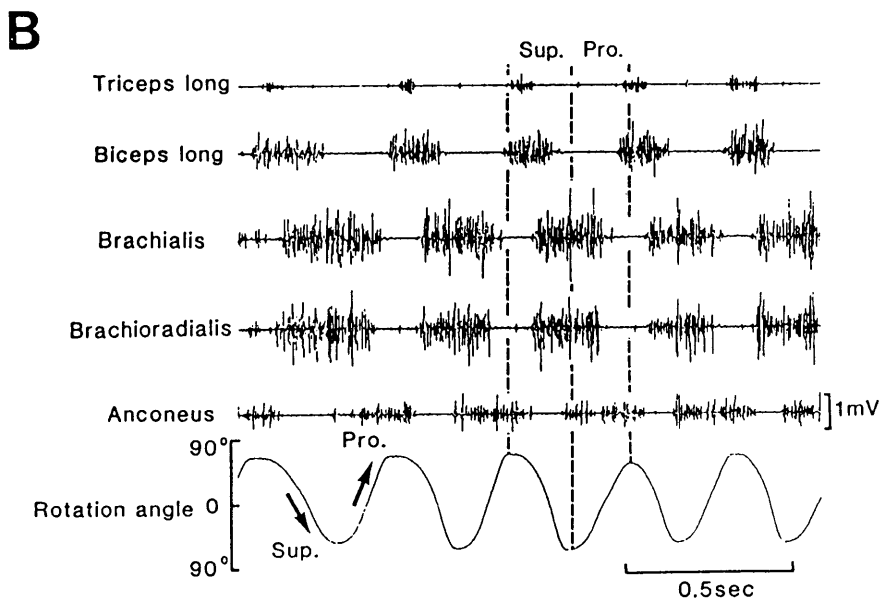
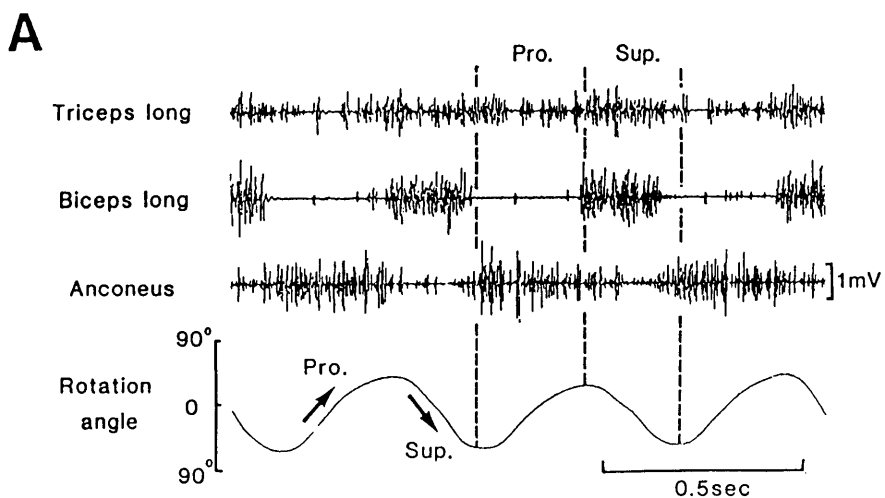


Fig 2

