《原 著》

受け取り動作における前腕筋群の運動調節に関する基礎的研究

長谷 公隆*

Motor Control of the Forearm Muscles during Catching of a Falling Ball

Kimitaka HASE*

Abstract: The muscle activity patterns of flexor and extensor carpi radialis (FCR and ECR) associated with catching a falling ball were investigated by surface EMG recording and was compared with the FCR H-reflex changes. Fifty-five normal upper limbs (35 men; mean age, 46.5 y/o) and 10 spastic upper limbs (10 hemiparetic men; mean age, 54.0 y/o) were studied. The subjects, sitting in a comfortable chair with their forearm on the chair's rest, were asked to catch and hold a ball (700 g, 65 mm in diameter) dropped from 25 cm. The ball took 241.2 ± 6.3 (mean ± 1 SD) msec to reach the palm. An early EMG burst in FCR with a latency of 141.5 ± 18.0 msec and a duration of 50-100 msec was detected in every catch of all normal limbs; this was considered the perceptual response. On the other hand, the weak EMG activity noted in ECR before dropping the ball was thought to be a tonic response in anticipation of the ball's impact. The FCR H-reflexes were inhibited at the drop starting point and were gradually facilitated until the perceptual response. These H-reflex changes were closely related with the background EMG activities in FCR and ECR under reciprocating inhibitory mechanisms. Anticipating the ball's impact, the co-contraction to build up resistance of the wrist joint to vertical displacement was shown after the perceptual response and the FCR H-reflex at 200 msec from the drop starting point was facilitated remarkably. Three spastic hemiparetic patients, who could not individually move their affected side fingers, had no perceptual response during catching and FCR H-reflex sizes were unchanged even just before impact. But the perceptual response was detected occasionally with repetition of the catching task. Other patients except one who could move their individual fingers were similar to normal subjects. A mild left hemiparetic patient with hemineglect had no perceptual response but a normal FCR H-reflex pattern. (*Jpn J Rehabil Med* 1997; 34: 218-225)

要 旨: 落下物を受け取る際の視覚情報に基づいた前腕筋群の応答について、健常者と痙性片麻痺患者を対象に、筋電図とH反射を用いて解析した。健常者では、落下開始の視覚認知にともなう応答が、落下開始後約140 msecの潜時で橈側手根屈筋に認められ、また、橈側手根伸筋には、一連の動作に対する“構え”によると考えられる持続的な筋活動が出現した。落下開始から100 msec後までの橈側手根屈筋のH反射は、伸筋群からの相反性抑制による制御を受けていたが、落下物が手掌に到達する直前のH反射は、それを保持する際の衝撃に対する運動調節機構の変換にともなう促進現象を示唆した。一方、痙性片麻痺患者は、麻痺肢の随意性や視覚認知過程の問題、同時収縮のための運動調節機構の障害にともなって、健常者とは異なる応答パターンを示した。(リハ医学 1997; 34: 218-225)

Key words: H反射 (H-reflex), 筋電図 (electromyography), 片麻痺 (hemiplegia), 運動調節 (motor control)

1996年10月28日受付, 1996年12月20日受理

* 慶應義塾大学医学部リハビリテーション科/〒160 東京都新宿区信濃町35

Department of Rehabilitation Medicine, School of Medicine, Keio University

はじめに

随意運動は視覚、聴覚などの情報によって、発動され、感覚と運動のフィードバックと、経験的予測（フィードフォワード）とに基づいて制御される。運動の発動に関する研究は、主動筋と拮抗筋の促通・抑制機構について反応時間の見地から検討されており、その際の脊髄運動ニューロンプールの興奮性の変化を電気生理学的にとらえる手段として、H反射がしばしば利用されている。Komiyamaら¹⁾は、足関節底背屈の反応時間課題の準備期におけるヒラメ筋H反射の振幅変化について検討し、warning signalを与えた後の準備期において、H反射の一過性の促通（phase I）と、stimulus signalを予測しての促通、あるいは、抑制（phase II）が認められることを報告した。このように warning signalを与えることによって、運動の発動において一定期間の準備期を実験系の中に設けることが可能となるが、日常生活における運動は、準備期においても、連続的な情報に基づいた運動調節²⁾がなされており、しかも、その運動の質によって様々な応答の様式が存在すると考えられる。

ある対象物を受け取る動作においては、その物体が手掌に到達するまでの軌道を時間的・空間的に予測したうえで、それを保持する際に受ける衝撃を吸収するための応答が形成される。落下物を受け取る課題では、落下開始点を定めて手掌までの軌道を一定にすることができるために、空間的予測による応答は除外することが可能であり、更に落下する高さを選択することで準備期の長さを設定することができる。

Johanssonら^{3,4)}は、物を保持するための手指屈筋群の応答と握力との関係について運動発達の見地から検討しており、また、Lacquanitiらは健常者を対象に、受け取り課題において、軌道の長さ⁵⁾や視覚情報の有無⁶⁾による応答の変化について解析し、落下物を保持する際には、相反性抑制機構から屈筋群と伸筋群の同時収縮に基づく運動調節機構への変換^{7,8)}がなされることを報告している。こうした動的物体の視覚認知に基づく運動調節機構の電気生理学的解析は、その習熟にともなう変化をもとらえることが可能であり、リハビリテーション医学での運動療法において有用と考えられる。そこで、健常者および痙性片麻痺患者を対象に、落下物の受け取り課題における連続的な視覚情報に基づいた橈側手根屈筋（以下、手根屈筋）と橈側手根伸筋（以下、手根伸筋）の運動調節に関して、筋電図とH反射を用いて電気生理学的に検討を加えたので報告する。

対 象

1. 健常者の受け取り動作における手根屈筋および手根伸筋の筋活動と手根屈筋のH反射

a) 手根屈筋と手根伸筋の筋活動

健常成人男子17名21肢（31～68歳；平均46.2歳）について、落下開始の前後各500 msecにおける手根屈筋と手根伸筋の筋活動を解析した。

b) 受け取り動作における手根屈筋のH反射

前腕筋の筋活動の解析を行った17名を加えた健常成人男子35名（31～68歳；平均46.5歳）を対象とした。そのうちの20名（31～68歳）は、両側上肢に

表1 片麻痺患者の年齢、原因疾患、麻痺側、感覚障害の有無、握力

患者	年齢 (歳)	疾患 (障害部位)	麻痺側	上肢 SIAS (近位-遠位)	感覚障害	握力 (kg) (麻痺側/非麻痺側)
T. T.*	53	脳出血(視床)	右	3-2	鈍麻	10/44
S. Y.	66	脳梗塞(MCA)	右	3-2	正常	14/46
K. T.*	45	脳出血(被殻)	右	3-2	脱失	18/51
T. K.*	44	脳梗塞(MCA)	左	4-3	正常	15/33
R. T.*	51	脳梗塞(MCA)	左	4-3	鈍麻	16/32
A. K.	47	脳出血(視床)	右	4-3	鈍麻	13/37
A. F.	49	脳出血(視床)	右	4-4	鈍麻	19/42
M. O.	61	脳出血(視床)	左	4-4	鈍麻	17/36
J. S.*	62	脳出血(被殻)	右	4-5	鈍麻	16/38
K. I.	62	脳出血(被殻)	右	5-4	正常	20/43

SIAS (Stroke Impairment Assessment Set): 上肢麻痺側運動機能, 近位: Knee-mouth test, 遠位: Finger-function test, MCA: middle cerebral artery

*落下開始前後 500 msec の手根屈筋・手根伸筋の筋活動について解析

ついて半数ずつ左右の順序を変えて行い、残りの15名は、左7肢、右8肢で、合計55肢の受け取り動作における手根屈筋のH反射を計測した。

また、11名の右上肢については、1週間以上の間隔をあけて受け取り課題における手根屈筋のH反射を同様に測定し、課題の経験にともなう変化について検討した。

2. 痙性片麻痺患者の受け取り動作における手根屈筋および手根伸筋の筋活動と手根屈筋のH反射

麻痺側の前腕を回外位で保持することが可能で、麻痺側の握力が10 kg以上の痙性片麻痺患者男子10名(44~66歳、平均54.0歳)を対象とした。片麻痺患者の年齢、原因疾患、麻痺側、感覚障害の有無、握力を表1に示す。麻痺側上肢の運動機能は、Stroke Impairment Assessment Set (SIAS)⁹⁾のKnee-mouth test および Finger-function test を用いて評価した。10名中1名は、軽度の失語症(症例; R.T.)を有し、1名は左半側空間失認(症例; T.K.)を認めたが、本実験方法を施行するうえでの支障はなかった。なお、全被検者には、あらかじめ研究の目的、実験方法、安全性に関して説明をし、同意を得たうえで行った。

方 法

1. 健常者の受け取り動作における手根屈筋および手根伸筋の筋活動と手根屈筋のH反射

a) 手根屈筋と手根伸筋の筋活動

課題は25 cmの高さから直径65 mm、質量700 g

図1 落下物の受け取り動作の解析方法

重りの落下はバネで開く支持台によって行い、25 cm 上方から第3指MP関節上の表面電極上に落下するように設定し、手根屈筋と手根伸筋の表面筋電図を記録した。H反射の誘発は、上腕二頭筋腱遠位内側部で正中神経を刺激し、手根屈筋から導出した。FCR：手根屈筋、ECR：手根伸筋

の半球形の重りを落として、被検者にそれを受け取らせる動作である(図1)。第3指MP関節の手掌側に表面電極を貼付し、重りを受け取った瞬間をノイズとして記録した。実験姿勢は座位として、幅10 cmの肘台上に前腕を回外位で載せ、背もたれに肩甲帯を付けた状態で手関節より遠位を肘台より前方に出して空中で保持させた。肘関節は40~50°屈曲位で、課題を通じてできるだけ動かせないように指示を与えた。径10 mmの皿型電極を、クロストーク(cross-talk)による影響を減らすために電極間距離を1 cmとして、手根屈筋と手根伸筋筋腹の近位側に記録電極を、遠位側に基準電極をそれぞれ貼付した。その際に、皮膚を擦過して10 kΩ以下にインピーダンスを落とした。筋電計は日本光電社製Neuropack 8™を用い、帯域フィルターは20~3,000 Hzに設定した。

重りの落下は、フックをはずすことによってバネの力で開くように作製した支持台を用いて行った。重りを支持台上に載せる際には、受け取り課題の試行に入ったことを知らせる目的で、被検者に声かけによる準備を促し、検者は、その数秒後に不定期に重りを落下させた。落下の瞬間は、支持台の金属支柱に設置されたスイッチからの信号をトリガーとして、筋電計に入力した。前腕筋筋活動の視覚情報による影響を確認する目的で、落下開始のトリガー前後各500 msecの間の筋活動を、以下に述べるH反射の測定前後において5回ずつ記録し、AD Instruments社製MacLab™システムを用いて解析した。なお、重り落下の各試行は、データの記録に要する時間を含めて、15~60秒間のインターバルで行った。

b) 受け取り動作における手根屈筋のH反射

上述した予備の実験により健常者では、落下開始のトリガーから100 msec以降に表面筋電図上で一過性の筋活動が手根屈筋に出現することが確認された。そこで、落下開始から筋活動が出現するまでの100 msec間の脊髓運動ニューロンプールの興奮性を評価する目的で、落下開始から0, 20, 40, 60, 80, 100 msec、および200 msec後のいずれかの時点で誘発されたH反射の振幅を測定した。H反射の誘発は、持続時間1.0 msecの矩形波を用いて、肘関節の上腕二頭筋遠位内側部で正中神経を刺激して行った。刺激強度は、実験を通してその強さがM波の振幅により一定であることを確認するために、実験肢位で手根屈筋のH反射が誘発可能で、かつ、M波が誘発され得る

最小強度に設定した。1クールは正中神経の刺激を行わない試行を加えて8~10試行とし、計5クール(合計40~50試行)行った。なお課題の前後において、実験肢位での安静時における手根屈筋のH反射を5回ずつ計測し、あわせてその平均値を対照値として用いた。

2. 痙性片麻痺患者の受け取り動作における電気生理学的検討

健常者と同様に、受け取り動作における手根屈筋と手根伸筋の筋活動および手根屈筋のH反射の変化に関して、非麻痺側、麻痺側の順で課題を行わせた。また5名については、落下開始のトリガー前後各500 msecの筋活動に関して解析を行った。

データ解析

a) 筋活動の解析

重りの落下中に認められる手根屈筋の一過性筋活動の潜時を、整流化した筋電図より測定した。その際には、ノイズなどのアーチファクトを除外するために、安静時での手根屈筋の筋電位の平均振幅値を計測し、その2倍の値を10 msec以上持続した場合を有意な筋活動とみなして、その開始点を潜時とした。40~50回の受け取り動作の前後における各5回の試行から、その潜時をそれぞれ算出し、課題の習熟にともなう潜時の変化について、paired *t*-testを用いて検定した

($p < 0.05$)。

落下開始トリガーの前後500 msecの筋活動の変化に関しては、まず20 msecごとに平均積分化を行った。その後、5回の試行をそれぞれ平均加算して、トリガー前500~400 msecの20 msecごとの各平均積分筋電位から、有意に筋電位が増大してくる時点、paired *t*-testを用いて検定した($p < 0.05$)。

b) H反射の解析

安静時のH反射に対する振幅比について、それぞれの誘発時点における5回の平均値を算出した。また、課題の習熟にともなう変化を検討する目的で、各クールごとの振幅比の変化についても、paired *t*-testを用いて検討した($p < 0.05$)。

結果

1. 健常者の受け取り動作における手根屈筋および手根伸筋の筋活動と手根屈筋のH反射

a) 受け取り動作における手根屈筋と手根伸筋の筋活動

落下開始のトリガーから重りが手掌に到達するまでの平均所要時間は 241.2 ± 6.3 msecであった。落下開始前500 msecの解析を行った健常者の受け取り動作における、手根屈筋と手根伸筋の整流筋電図の典型例を図2(i)に示す。手根屈筋には、落下開始から100~180 msec後に、持続時間50~100 msecの一過

図2 落下物の受け取り動作における手根屈筋と手根伸筋の筋活動

i) 53歳の健常者における落下開始前後500 msecの手根屈筋と手根伸筋の整流筋電図。落下開始から130 msec後に手根屈筋に一過性の筋活動が認められ(a)、230 msec後に重りが手掌に到達してから20 msec後に伸張反射が誘発されている(b)。一方、手根伸筋には落下開始前から持続的な筋活動が認められる。ii) 痙性片麻痺患者では、手根屈筋の一過性の筋活動が欠落している例が認められた。FCR：手根屈筋、ECR：手根伸筋。波線は手掌到達時点を示す。

図3 健康者における手根屈筋と手根伸筋の平均積分筋電位の変化

落下開始前 500~400 msec の 20 msec ごとの平均積分筋電位よりも筋電位が増大してくるのは、手根屈筋が落下開始後 100 msec 以降（上段）、手根伸筋が落下開始後 40 msec 以降（下段）からであった。*： $p<0.05$ 、■：手根屈筋、□：手根伸筋

性の筋活動が全例、全試行において認められた。その潜時は、40~50 回の受け取り動作の試行前が 141.5 ± 18.0 msec、試行後が 143.1 ± 17.7 msec となり、動作の習熟にともなう有意な変化は認められなかった。

一方、手根伸筋には、落下開始前より持続的な弱い筋活動がみられ、落下開始後には、手根屈筋の筋活動とほぼ同時か、あるいはそれ以前から、筋活動の増強がみられた。手掌に重りが到達した後は、その衝撃による他動的な手関節屈から生じる伸張反射が、到達後 21.1 ± 1.5 msec の潜時で手根屈筋に誘発され、同時期に手根伸筋にも重りの保持・掌握のための同時収縮が認められた。

落下開始前の 500 msec の間には、重りを落下させるための一連の動作に対する応答は、手根屈筋には認められず、その間の 20 msec ごとの平均積分筋電位の平均値に有意な変化は確認されなかった（図3）。

図4 健康者の落下物の受け取り動作における手根屈筋の H 反射

落下開始直後の手根屈筋の H 反射は、安静時に比べて抑制されていたが、40 msec 以降は落下にともなう徐々に促進された。*： $p<0.05$ 、N.S.：有意差なし

落下開始前 500~400 msec の 20 msec ごとの各平均積分筋電位から、手根屈筋の筋電位が有意に増大してくるのは、落下開始後 100 msec 以降であった。また、手根伸筋にみられる持続的な筋活動が、落下開始前 500~400 msec の 20 msec ごとの各平均積分筋電位から有意に増大してくるのは、40~50 回の受け取り動作の試行前後ともに、落下開始後 40 msec 以降からであった。

b) 受け取り動作の準備期における手根屈筋の H 反射

実験肢位においては 55 肢全例から、手根屈筋の H 反射が誘発可能であった。手根屈筋の安静時での H 反射に対する落下開始直後の振幅比は、全体としては 0.73 ± 0.54 と抑制されており、落下開始から 20 msec 後での H 反射の振幅比との間には、有意な変化は認められなかった。その後徐々に振幅は増大し、手掌に重りが到達する直前の落下開始 200 msec 後の振幅比は、 3.58 ± 3.19 で、安静時に比べて著明に促進されていた（図4）。このパターンは、1 週間以上の間隔をおいて再検した 11 肢についても同じであった。

一方、それぞれの H 反射の誘発時点における、1~5 クールの H 反射の振幅比には、課題の学習にともなう有意な変化は認められなかった。

2. 痙性片麻痺患者の受け取り動作における電気生理学的検討

SIAS の Finger-function test で機能レベルが 2 の、いわゆる手指の分離運動が不完全な痙性片麻痺患者 3

図5 痙性片麻痺患者の受け取り動作における手根屈筋のH反射

痙性片麻痺患者2症例の受け取り動作におけるH反射の振幅変化を、それぞれ5回ずつの平均値と標準偏差として示す。手指の分離運動が不完全な片麻痺患者では、落下開始にともなう手根屈筋のH反射の振幅変化は明らかではなかった(i)。上肢の分離運動が可能な左半側無視の1名では、手根屈筋の一過性の筋活動は欠落していたが、H反射は200 msec後で促進される傾向がみられた(ii)。なお、右端は、安静時におけるH反射の標準偏差を示している。i: 症例T.T., ii: 症例T.K.

名では、手根伸筋に落下開始前からの持続的な弱い筋活動がみられたが、手根屈筋の一過性の筋活動は欠落し、重りが手掌に到達した後にみられる手根屈筋と手根伸筋の同時収縮も明らかではなかった(図2(ii))。また、落下開始直後から重りが手掌に到達する直前の200 msec後までに明らかなH反射の促進は認められなかった(図5(i))。しかし、40~50回の受け取り課題の試行後には、2肢で落下開始後140~180 msec間に、手根屈筋の一過性の筋活動が認められるようになった。

非麻痺側および手指分離運動が可能な痙性片麻痺患者7名中6名の麻痺肢では、健常者と同様の筋活動パターンを呈し、手根屈筋のH反射も落下とともに徐々に促進された。一方、左半側無視を有する残りの1名では、手根屈筋のH反射は健常者と同様のパタ

ーンであったが、手根屈筋の一過性の筋収縮は欠落していた(図5(ii))。

考 察

1. 健常者の受け取り動作における手根屈筋および手根伸筋の筋活動

落下物が手掌に到達するまでの準備期における視覚情報に基づいた前腕筋の筋活動は、重りを保持するための手根屈筋の相動性(phasic)応答⁵⁾と、手根伸筋の持続性(tonic)応答とから構成されることが確認された。

持続的な視覚的フィードバックを必要とする手関節の掌屈運動においては、運動の巧緻性や肘関節の固定のために、拮抗筋である手関節背屈筋群にも筋活動が認められ¹⁰⁾、特に長橈側手根伸筋の等尺性収縮は肘関節の屈曲位での保持に関与することが報告されている¹¹⁾。落下物を保持するための課題においても、予測される外乱に対しての関節固定に手根伸筋が役割を果たしていると考えられる。また、手根伸筋の平均積分筋電位が増大してくるのは、手根屈筋の筋活動よりも早期からであり、その潜時から考えると、検者が重りを落とすための一連の動作に対する被検者の“構え”が関与していると推察される。

一方、手根屈筋に落下開始後140 msecの潜時で認められる一過性の筋活動は、単純反応時間の潜時¹²⁾とほぼ一致しており、閉眼にて消失することが報告⁶⁾されていることから、落下開始の視覚認知にともなう応答(perceptual response)が示唆される。Lacquanitiら⁵⁾は、落下距離が短くなるほどその潜時は短縮し、振幅は大きくなると報告しており、これは衝撃に対する準備時間に応じて、動員されてくる α 運動ニューロンのサイズが変化するためと推察している。今後は、視覚認知に基づくこの応答が、運動調節においては果たしている具体的な役割について検討する必要がある。

2. 手根屈筋および手根伸筋の筋活動と手根屈筋のH反射との関係

H反射は脊髄運動ニューロンプールの興奮性を反映し、足関節の底背屈運動開始時においては、主動筋の筋活動開始に先行して、30~70 msec以前より促進^{13,14)}される一方、主動筋の随意収縮に同期して相反性抑制が発現し、拮抗筋のH反射は抑制される¹⁵⁾ことが知られている。同様のメカニズムは前腕筋にお

いても報告されており^{16,17)}、手根屈筋のH反射の変化を解析するにあたっては、その運動課題における拮抗筋を含めた筋活動の評価が必須となる。

従来の反応時間課題における応答は、いわゆる主動筋を主体とした能動的な応答であり、その共同筋であってもむしろ抑制されて、主動筋に選択的な促通が生ずる¹⁸⁾のに対して、落下物の受け取り課題は、外乱に対する受動的な応答であるだけでなく、関節の固定のための筋収縮が拮抗筋にも認められる。また、刺激に反応して急激な随意収縮を必要とする運動課題(step movement)ではなく、視覚などの連続的な情報のもとに、徐々に随意収縮を上げていく運動課題(ramp movement)に類似するものと考えられ、この種の運動では、主動筋の脊髄運動ニューロンプールへの促通現象が遅延するとともに、その後の動員が遅れることが報告されている¹³⁾。

受け取り課題の落下開始時では、手根屈筋のH反射は抑制されたが、落下開始後から100 msec後までの間に手根屈筋に明らかな筋活動は認められず、拮抗筋である手根伸筋には落下開始前から持続的な筋活動がみられたことにより、この抑制には伸筋群からの相反性抑制機構が関与しているものと推察される。一方、手根屈筋のH反射は落下開始後40 msec以降より徐々に促通されており、これは手根屈筋の平均積分筋電位が増大してくる60 msec前に相当する(図3上段)。H反射を誘発した試行での筋活動を直接解析することはできないものの、H反射の課題を行った前後ともに、受け取り動作における両筋の筋活動の変化は同様であったことから、受け取り課題においても反応時間課題と同様に、筋活動が明らかではない時期からすでに、脊髄運動ニューロンプールの興奮性が高まっていることが推察された。

手掌に重りが到達する直前の落下開始200 msec後におけるH反射の促通は、落下物を保持する際の衝撃に対する時間的予測に基づいた同時収縮のための変化^{5,6)}と考えられる。同時収縮時には、中枢からの影響によって、相反性抑制は抑制される¹⁹⁾。Lacquanitiら^{7,8)}は、落下物による衝撃が手掌に加わる約60 msec以前の時点より、同時収縮に基づく運動調節機構への変換がなされることを報告しており、その時期に相当する落下開始200 msec後での手根屈筋のH反射の促通は、相反性抑制機構からの解放が示唆された。

3. 痙性片麻痺患者の受け取り動作における運動調節

痙性片麻痺患者の受け取り動作では、手指の分離運動が不完全な3名で、手根屈筋にみられる一過性の筋収縮が欠落していた。その原因としてはまず第一に、麻痺肢の随意性の問題が挙げられる。これらの患者では、手根屈筋の随意収縮の障害により、反応時間が遅延するのみならず、手指伸展位で前腕を回外位に保持する困難さなどにより、運動調節の応答が遅延あるいは脱落しやすくなるものと推察される。

第二の原因としては、視覚認知に要する時間的要因が挙げられる。片麻痺患者の単純反応時間は、非麻痺側においても健常者に比べて遅延し、特に半側無視を有する患者では、著明に遅れることが報告されている^{20,21)}。手指の分離運動が可能でH反射の促通パターンは健常肢と同様であるにもかかわらず、左半側無視を有する患者で手根屈筋の一過性の筋活動が課題の前後ともに同定できなかったのは、その応答の“trigger”となるべき落下開始の瞬間を認知する過程に、なんらかの問題があることが示唆される。

また同時に、手指の分離運動が不完全な患者では、落下開始200 msec後での手根屈筋のH反射の促通は明らかではなく、落下物を保持するための時間的予測に基づいた同時収縮による運動調節機構が障害されているものと考えられた。

4. 受け取り動作の習熟にともなう変化

健常者においては、40~50回の受け取り動作の試行前後における手根屈筋や手根伸筋の筋活動に変化はみられず、また、1~5クールでのH反射の促通現象にも明らかな変化は認められなかったことから、課題に対する応答が、経験的に即時に形成されるものと考えられた。

一方、手指の分離運動が不完全な痙性片麻痺患者3名のうち2名で、40~50回の課題の試行後に手根屈筋の一過性の筋活動が確認されたが、これは動作の習熟にともなった変化ととらえることができる。これらの患者では、試行を重ねるにつれて、実験肢位が楽に保持できるようになっていく傾向が認められ、そのために落下開始の視覚認知による応答の潜時が短縮したか、あるいは欠落していた応答そのものが出現するようになったと推察される。しかし、この応答が常に認められるようになるわけではなく、また、手根屈筋のH反射や重りを受け取ったからの同時収縮機構に、

明らかな改善は確認されなかった。

また、運動麻痺がなくても視覚認知過程に問題を有する症例においては、学習にともなう改善は得られにくい²¹⁾と推察される。今後は、運動麻痺の程度や病巣部位などの要因を統合した形での検討が必要となる。

受け取り動作は、比較的簡単な課題であり、こうした患者の動的物体の視覚認知機能を評価する一手段としても応用することができる。その際、筋電図による評価に加えて、脊髄運動ニューロンプールの興奮性の変化をH反射を用いて解析することで、運動学習にともなう変化を、より正確にとらえることができる。痙性片麻痺患者の運動療法による随意運動の機能回復に関する機序を解明するうえでも、視覚フィードバックならびに反射調節にかかわる学習効果をこのように他覚的に評価することは、リハビリテーション医学において極めて重要である。

稿を終えるにあたり、ご校閲を賜りました慶應義塾大学医学部リハビリテーション科千野直一教授に深謝いたします。また本研究に際し、直接のご指導をいただきました慶應義塾大学月が瀬リハビリテーションセンター木村彰男助教授ならびに慶應義塾大学医学部リハビリテーション科正門由久講師に感謝いたします。

文 献

- 1) Komiyama T, Tanaka R: The differences in human spinal motoneuron excitability during the foreperiod of a motor task. *Exp Brain Res* 1990; **79**: 357-364
- 2) Yamamoto C, Ohtsuki T: Modulation of stretch reflex by anticipation of the stimulus through visual information. *Exp Brain Res* 1989; **77**: 12-22
- 3) Johansson RS, Westling G: Programmed and triggered actions to rapid changes during precision grip. *Exp Brain Res* 1988; **71**: 72-86
- 4) Eliasson AC, Frossberg H, Ikuta K, Apel I, Westling G, Johansson R: Development of human precision grip. V: Anticipatory and triggered grip actions during sudden loading. *Exp Brain Res* 1995; **106**: 425-433
- 5) Lacquaniti F, Maioli C: The role of preparation in tuning anticipatory and reflex responses during catching. *J Neurosci* 1989; **9**: 134-148
- 6) Lacquaniti F, Maioli C: Adaptation to suppression of visual information during catching. *J Neurosci* 1989; **9**: 149-159
- 7) Lacquaniti F, Borghese NA, Carrozzo M: Transient reversal of the stretch reflex in human arm muscles. *J Neurophysiol* 1991; **66**: 939-954
- 8) Lacquaniti F, Borghese NA, Carrozzo M: Internal models of geometry in the control of hand compliance. *J Neurosci* 1992; **12**: 1750-1762
- 9) Chino N, Sonoda S, Domen K, Saitoh E, Kimura A: Stroke impairment assessment set (SIAS). *Jpn J Rehabil Med* 1994; **31**: 119-125
- 10) Johanson ES, Bolding DJ, Skinner SR: EMG investigation of the effects of peripheral feedback on goal-directed wrist movement. *J Electromyogr Kinesiol* 1996; **6**: 13-21
- 11) Brand PW, Beach RB, Thompson DE: Relative tension and potential excursion of muscles in the forearm and hand. *J Hand Surg* 1981; **6**: 209-219
- 12) Goodin DS, Aminoff MJ, Ortiz TA, Chequer RS: Response times and handedness in simple reaction-time tasks. *Exp Brain Res* 1996; **109**: 117-126
- 13) Kagamihara Y, Komiyama T, Ohi K, Tanaka R: Facilitation of agonist motoneurons upon initiation of rapid and slow voluntary movements in man. *Neurosci Res* 1992; **14**: 1-11
- 14) Ruegg DG, Drews H: Influence of different properties of a reaction time task on the premovement gating of input from Ia afferents to motoneurons. *Exp Brain Res* 1991; **85**: 188-195
- 15) Kagamihara Y, Tanaka R: Reciprocal Ia inhibition upon initiation of voluntary movement. *Neurosci Lett* 1985; **55**: 23-27
- 16) Day BL, Marsden CD, Obeso JA, Rothwell JC: Reciprocal inhibition between the muscles of human forearm. *J Physiol (Lond)* 1984; **349**: 519-539
- 17) Cavallari P, Fournier E, Katz R, Pierro-Deseilligny E, Shindo M: Changes in reciprocal Ia inhibition from wrist extensors to wrist flexors during voluntary movement in man. *Exp Brain Res* 1984; **56**: 574-576
- 18) Tomberg C, Caramia MD: Prime mover muscle in finger lift or finger flexion reaction times; identification with transcranial magnetic stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991; **81**: 319-322
- 19) Nielsen J, Kagamihara Y: The regulation of disynaptic reciprocal Ia inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man. *J Physiol* 1992; **456**: 373-391
- 20) Kaizer F, Korner-Bitensky N, Mayo N, Becker R, Coopersmith H: Response time of stroke patients to a visual stimulus. *Stroke* 1989; **19**: 335-339
- 21) Korner-Bitensky N, Mayo N, Kaizer F: Change in response time of stroke patients and controls during rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil* 1990; **69**: 32-38