視覚による運動錯覚が対側上肢のH反射に及ぼす影響

Effect on H Reflex in the Contralateral Upper Extremity of a Visually Perceived Illusion of Motion

崎田 正博¹⁾ 臼井 裕太¹⁾ 太田 歩¹⁾ 後藤 裕樹¹⁾
末石菜津美¹⁾ 松尾 仁紀¹⁾ 松永 智行¹⁾

MASAHIRO SAKITA, RPT, MSc¹⁾, YUTA USUI¹⁾, AYUMI OHTA¹⁾, YUKI GOTO¹⁾, NATSUMI SUEISHI¹⁾,
MIKI MATSUO¹⁾, TOMOYUKI MATSUNAGA¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Aso Rehabilitation College: 3-2-1 Higashihie Hakata Ward, Fukuoka City, Fukuoka 812-0007, Japan. TEL +81 92-436-9800 FAX +81 92-436-9807

Rigakuryoho Kagaku 24(3): 375-379, 2009. Submitted Dec. 4, 2008. Accepted Jan. 22, 2009.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate the effect of excitation of α - motoneurons as the contralateral spinal level by illusion of motion provided by a mirror with voluntary movement of unilateral palmar flexion of the wrist joint. [Subjects] The subjects were 10 healthy adults. [Methods] We measured the H wave in the flexor carpi radialis (FCR) of the contralateral upper extremity under four conditions: combinations of with and without a mirror, and with and without voluntary movement. The maximum H amplitudes (Hmax) were selected from the observed H waves. The paired t-test was performed to compare 2 conditions. [Results] In the conditions without the mirror, %Hmax in voluntary movement was significantly lower than without voluntary movement. In the conditions with the mirror, we observed no significant difference between with and without movement. With voluntary movement, %Hmax with the mirror was significantly higher than without the mirror. [Conclusion] A visually perceived illusion of contralateral upper extremity motion in a mirror inhibited decrement of excitation of α -motoneurons.

Key words: mirror, motional illusion, maximum H amplitude

要旨:〔目的〕本研究の目的は、鏡を用いた一側上肢の運動時に視覚による運動錯覚によって対側上肢の α 運動ニューロンの興奮性に影響を与えるか検討することである。〔対象〕対象は健康成人10名とした。〔方法〕課題は鏡あり・なし条件と一側上肢の手関節掌屈運動あり・運動なしを組み合わせた4条件で行った。各条件で記録した対側上肢の橈側手根屈筋 (FCR) H波から最大H波振幅 (Hmax) を抽出した。対応のあるt検定で2条件比較した。〔結果〕鏡なしでの一側手関節掌屈運動あり・運動なしでは運動なしの方が有意に低下した。鏡ありでの手関節掌屈運動あり・運動なしでは、有意差はみられなかった。手関節掌屈運動下では鏡あり条件が有意に増加した。〔結語〕視覚による対側上肢の運動錯覚が生じることで、対側上肢の α 運動ニューロンの興奮性の低下を抑制することが明らかとなった。

キーワード: 鏡, 運動錯覚, 最大H波振幅

¹⁾ 麻生リハビリテーション専門学校 理学療法学科: 福岡県福岡市博多区東比恵3-2-1 (〒812-0007) TEL 092-436-9800 FAX 092-436-9807

受付日 2008年12月4日 受理日 2009年1月22日

I. 緒 言

脳卒中患者の麻痺側機能に対する神経筋再教育の治療法に、電気刺激療法、課題指向的な反復運動などがあり、その効果が検証されている。その中で近年、麻痺側機能回復を目的に行う訓練法としてミラーセラピーが注目されている^{1,2)}。これは、鏡に映る非麻痺側上下肢の動きにより、麻痺側上下肢が動いているような運動錯覚を利用し、運動イメージを再構成する治療法である。

健常者を対象とした閉眼状態での運動と鏡による視覚的フィードバックのある運動で、脳の賦活部位を機能的磁気共鳴画像法（以下、fMRI）にて測定した研究がある。それによると、閉眼時に対側の感覚運動野の賦活が認められ、視覚的フィードバックがあると対側感覚運動野のほかに、視覚の中枢である後頭葉はもとより、新たに運動と対側の頭頂葉、前頭葉および運動と同側の後頭葉、頭頂葉、前頭葉での賦活が認められたとしている。このことから、随意運動における視覚情報の介入には、両側の後頭葉、頭頂葉、前頭葉の関与が示唆されている³⁾。また、健常者を対象に右手関節伸屈筋の腱を振動刺激し、被験者がその手関節屈曲運動錯覚を経験している最中にビデオによる手関節屈曲または伸展運動の映像を見せ、視覚情報と筋運動感覚情報がどの脳領域で統合されるかを検討した研究⁴⁾では、視覚情報が屈曲方向の場合にその速度が運動感覚情報と若干異なっているにもかかわらず、脳は両感覚情報を統合し、四肢の動きを知覚しようとする報告している。このとき、反対側の皮質運動関連領域や中心後溝-後回以外に、両側の前頭弁蓋部、上側頭回および小脳、対側の縁上回および44・45野の脳領域の賦活がみられたとしている。さらに、幻肢痛を有する切断患者に対して、ミラーセラピーを実施したところ、幻肢痛の消失後には隣接する他の部位に対応する感覚領域が切断部位の感覚領域を再支配しているという皮質細胞の可塑性が報告されている⁵⁾。これらの知見から、視覚的フィードバックによる運動を行うことで運動肢と同側の大脳皮質特定部位が賦活することが確認されている。

鏡を用いた視覚的フィードバックのある状態で運動肢と同側の大脳皮質特定部位が賦活するのであれば、これらの作用によって対側運動肢の脊髄レベルで α 運動ニューロンにも興奮性の調節が生じているのではないかと推定される。脊髄レベルにおける α 運動ニューロンの興奮性は、多くの脊髄上位中枢から調節を受けている。そこで脊髄の反射回路である単シナプス反射

によって生じる筋活動量を測定することで α 運動ニューロンの興奮性を間接的に知ることができる。単シナプス反射は、誘発筋電図装置を用いて神経を電気刺激し、Ia線維の上行性インパルスを α 運動ニューロンに伝達して支配筋の筋放電（H波）を記録することで可能である。そこで本研究では、一側上肢の運動時に鏡を用いて視覚による運動錯覚を起こさせ、誘発筋電図により対側肢単シナプス反射の興奮性変化を示す最大H波振幅を抽出し、視覚的フィードバックによる脊髄上位中枢からの調節の影響を検討した。

II. 対象と方法

対象は、年齢20～32歳の健常学生10名（男性5名、女性5名）とした。被験者全員は、学内の定期健康診断での異常が無く、参加者全員にはインフォームドコンセントを行った後に承諾を得た。

H波を誘発筋電図装置（NeuroPack Σ , MEB-5504, NIHON KOHDEN）を用いて記録した。H波とは、神経に弱電気刺激を加えることで低閾値のIa群感覚神経がインパルスを発し、上行性に伝導して脊髄に興奮が伝わり、単シナプス性に運動ニューロンを興奮させ、筋放電した状態を筋電図で記録した波形のことである。H波測定の先行研究では、橈側手根屈筋（FCR）を対象筋とした報告が多い。FCRは、Ia線維から α 運動ニューロンへ接続するシナプス終末数が少なくシナプス伝達の効率が低いため、健常者の半数以下でしかH波を記録することができないとの報告⁶⁾がある。そのため、事前にH波の検出を行い、検出できた者を被験者として選出した。また、H波は室内温度による変動がみられるとの報告がある⁷⁾。そのため、温度計（佐藤計量機器製作所製、SK1250-MK II）を用いて、室内温度を24℃前後に維持した。被験者は、端座位にて両上肢を段ボールに入れた。その際の姿勢は、リラックスした状態とした。実験中は、姿勢を変えないように口頭で指示した。誘発筋電図装置の刺激電極は左上肢の近位橈尺関節上の皮膚から当て、正中神経を刺激した。記録電極は、左FCRの筋腹に電極間距離を約2 cmの設定で固定し、H波（mV）の導出を行った。

条件は、鏡なし・鏡ありの2条件と右手関節掌屈運動（以下、一側手関節掌屈運動）・運動なしの組み合わせによる4条件に設定した。鏡なしでは、視線は右手へ向ける状態とした。鏡ありでは、段ボール中央の鏡を右手が映るように設置し、視線を鏡に映った手へ向け、視覚で確認できる状態にて行った。手関節掌屈の動き

図1 対側上肢の正中神経刺激による橈側手根屈筋 (FCR) のH波. 被験者1名の例.

鏡なしで一側手関節掌屈運動なしにおける連続64回の刺激に伴うM波およびH波. superimposed waves中の最大H波振幅(Hmax)の軌跡を太線(黒), その他の波形軌跡を細線(灰色)で示した.

は, メトロノーム(日工メトロノーム木製, シルバー101, 内田洋行製)の周波数を2 Hzに設定し, 音に合わせて掌屈運動を行った。各条件は, くじにてランダムに行った。誘発刺激の頻度は1 Hzとした。刺激強度は検者が手動にて徐々に増加させ, H波がモニター上最大振幅に達した時点でHmaxを連続的に導出した。H波は一条件当たり連続64個記録し, その中から3~5個の最大H波振幅(以下Hmax)を抽出した(図1)。鏡なしで一側手関節掌屈運動なしの時に抽出した3~5個の平均Hmax値をコントロール値(100%Hmax)として, 他の条件でのHmax値を%Hmax(コントロール値の相対値)で算出した。

鏡ありで一側手関節掌屈運動ありと運動なしによる2条件, 鏡なしで一側手関節掌屈運動ありと運動

なしによる2条件の%Hmax変数をpaired t-testを用いて検定を行った。また, 一側手関節運動での鏡あり・鏡なしによる2条件, 一側手関節掌屈運動なしでの鏡あり・鏡なしによる2条件の%Hmaxも同様にpaired t-testを用いて検定を行った。有意水準は5%未満($p<0.05$)とした。

III. 結 果

結果を表1に示す。鏡なし条件での%Hmaxの比較では, 運動ありの方が運動なしよりも有意に低下していた($p<0.01$)。鏡あり条件では一側手関節掌屈運動ありと運動なしとの間に有意差は認められなかった。一側手関節掌屈運動なしにおける鏡あり・鏡なし条件間での%Hmaxの比較では, 有意差は認められなかった。一側手関節掌屈運動ありにおける鏡あり・鏡なし条件間での%Hmaxの比較では, 鏡あり条件が鏡なし条件よりも有意に高かった($p<0.05$)。

IV. 考 察

鏡なし条件の一側手関節掌屈運動ありと運動なし(コントロール)との間には, 運動ありが運動なしよりも有意に%Hmaxが低下した。これは, 視覚による対側肢の運動錯覚がない場合には一側上肢の随意運動によって対側上肢の α 運動ニューロンが抑制されることを示している。一側肢の随意運動によって対側肢のH波と運動誘発電位(MEP)を記録した研究^{8,9)}では, 対側肢支配の脊髓運動ニューロンの活動の抑制と運動肢と同側皮質運動ニューロンの興奮性増大が報告されている。この知見から, 鏡なし条件の一側手関節掌屈運動ありでは, 対側肢支配の上位中枢の働きで脊髓 α 運動ニューロンの活動が抑制され, %Hmax値が有意に低下したと考えられた。さらに別の知見では, 随意運動時の γ 運

表1 鏡なし・あり条件と一側手関節掌屈運動ありと運動なしの組み合わせによる4条件の対側橈側手根屈筋%Hmax

	鏡なし	鏡あり	p
一側手関節掌屈運動なし	100.0 $\pm$ 2.0	91.1 $\pm$ 4.0	n.s.
一側手関節掌屈運動あり	75.0 $\pm$ 2.7	91.0 $\pm$ 7.1	$p<0.05^*$
p	$p<0.01^\dagger$	n.s.	

*: 一側手関節掌屈運動ありで鏡なし・あり条件のpaired-t test

† : 鏡なしで一側手関節掌屈運動なしとありのpaired-t test

Values are mean $\pm$ S.E. n.s.: no significant

動ニューロンの活動増加とH波振幅増加には関連性があるとの報告¹⁰⁻¹²⁾もある。このことから、鏡なし条件の一側手関節掌屈運動ありでは、 γ 運動ニューロンの活動性が低下したことによって、対側FCRの単シナプス反射が弱まり、%Hmax値が減少した可能性も考えられた。

鏡あり条件で一側手関節掌屈運動ありと運動なしでは、有意差は認められなかった。この鏡あり条件は、被験者自身が鏡に映った上肢の運動を観察したという点で三人称的視点である。三人称的視点で実施した他の実験報告^{13,14)}がある。その実験では、他者の一側上肢の自動および他動による活動を被験者が観察し、その時の同側および対側上肢筋群の活動をH波および経頭蓋磁気刺激により検討した。それによると、同側だけでなく対側上肢筋群のH波増加と両側一次運動野の賦活を報告している。この知見から、鏡による三人称的視点では、一側手関節掌屈運動ありとなしの両方で対側肢に上位中枢からの作用が同等に生じ、一側肢の運動ありとなしとの間に差がなかったと考えられた。

一側手関節掌屈運動なしでの鏡なし・鏡あり条件との間には、有意差は認められなかった。本実験では、一側手関節掌屈運動なしで鏡なし条件をコントロール条件に設定した。しかし、4条件の中で平均%Hmax値が最も高かった。これは、運動錯覚のない安静位では対側肢のH波振幅が本来大きいことを示している。そのため、一側手関節掌屈運動なしで鏡あり条件も対側肢のH波振幅が増大したという見方も可能である。その理由として、一側手関節掌屈運動ありで鏡あり条件が鏡なし条件よりも有意に%Hmaxが高かったことが挙げられる。この結果から、三人称的視点働くことで対側肢のH波振幅が増大したと考えられた。

さらに、一側手関節掌屈運動なしでの鏡あり条件は、統計的有意差はなかったが、コントロール条件よりも平均%Hmax値が若干低値であった。この鏡あり条件は、鏡に映る上肢像だけを視覚的に捉えるのみであり、強い運動イメージの努力はなかった。運動イメージで単一筋収縮の想起を行った研究¹⁵⁾では、筋収縮の強いイメージ努力が弱いイメージ努力と比較して対象筋のH波振幅が有意に増加したとされている。つまり、運動イメージの努力度がH波振幅に影響を与えると考えられる。このことから、強い運動イメージがなかったことで、鏡あり条件がコントロール条件の%Hmax値よりも若干低値であったと考えられた。

一側手関節掌屈運動ありでは、鏡あり条件が鏡なし条件よりも有意に高値を示した。この鏡あり条件は、

前述した三人称的視点での実験^{12,13)}で、同側だけでなく対側上肢筋群H波の増加と両側一次運動野の賦活を報告している。この知見から、鏡あり条件による三人称的視点によって、上位中枢から脊髄運動ニューロンの調節が働き、鏡なし条件よりも対側上肢%Hmaxの高値につながったと考えられた。さらに、随意運動時に活性化される γ 運動ニューロンがH反射の増加に関与しているという報告¹⁰⁻¹²⁾もある。 γ 運動ニューロンは小脳前葉、脳幹網様体、前庭核、皮質運動野、錐体路、赤核、扁桃核、視床下部、視床、大脳基底核などから興奮や抑制の調節を受けているとする報告^{16,17)}がある。つまり、鏡あり条件では対側上肢の運動錯覚によって、これら多数の上位中枢から調節を受け、 γ 運動ニューロンの活動性低下が抑えられたと示唆された。

以上から、一側手関節の随意運動時に鏡を用いて対側肢の運動錯覚を生じさせることで、対側肢の α 運動ニューロンの興奮性が高まる傾向が明らかとなった。

引用文献

- 1) 平野佳代子, 永井将太, 和田陽介・他: 脳卒中患者の麻痺側足関節背屈に対するミラーセラピーの効果. 総合リハビリテーション, 2008, **36**: 683-688.
- 2) Jennifer AS: Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. Arch phys Med Rehabil, 2003, **84**: 1090-1092.
- 3) 津吹桃子, 渡邊 修, 来間弘展・他: 手指対立運動における視覚的フィードバックの影響—機能的fMRIによる大脳賦活の検討—. 理学療法科学, 2007, **22**: 189-193.
- 4) 内藤栄一: 体性感覚のイメージング. 神経進歩, 2004, **48**: 249-258.
- 5) Ramachandran VS: The Emerging Mind: The BBC Reith Lectures 2003. Profile Books, London, 2005, pp1-26.
- 6) 木村 淳, 幸原伸夫: 神経伝導検査と筋電図を学ぶ人のために. 医学書院, 東京, 2007, pp74-78.
- 7) 千野直一: 臨床筋電図・電気診断学入門. 医学書院, 東京, 2005, pp24-28.
- 8) 関 和則, 佐藤元彦, 半田弘延・他: 一側肢によるpedalling運動と等尺性運動時の中枢神経系活動の変化. 第6回日本電気生理運動学会大会予稿集, 2003, 6-7.
- 9) Hortobágyi T, Taylor JL, Petersen NT, et al.: Changes in segmental and motor cortical output with contralateral muscle contractions and altered sensory inputs in humans. J Neurophysiol, 2003, **90**: 2451-2459.
- 10) 太田雅裕: ラット三叉神経運動核咬筋領域内に存在する γ 運動ニューロン候補の検索. 大阪大学歯学雑誌, 2007, **52**: 1-15.
- 11) 昇 寛, 丸山仁司, 高橋直子: 膝関節固有感覚と膝関節トルクの関係についての一考察. 理学療法科学, 2005, **20**: 43-48.
- 12) Baldissera F, Hultborn H, Illert M: Integration in spinal neuronal systems. In: Brooks VB (ed.), Handbook of Physiology. Williams and Wilkins, Baltimore, 1981, pp509-597.

- 13) Borroni P, Baldissera F: Activation of motor pathways during observation and execution of hand movements. *Soc Neurosci*, 2008, **3**: 276-288.
- 14) Borroni P, Montagna M, Cerri G, et al.: Bilateral motor resonance evoked by observation of a one-hand movement: role of the primary motor cortex. *Eur J Neurosci*, 2008, **28**: 1427-1435.
- 15) Cowley PM, Clark BC, Ploutz-Snyder LL: Kinesthetic motor imagery and spinal excitability: the effect of contraction intensity and spatial localization. *Clin Neurophysiol*, 2008, **119**: 1849-1856.
- 16) John R: Control of human Voluntary movement. Chapman & Hall, London, 1994, pp449-498.
- 17) Brooks VB: Neural basis of motor control. Oxford University Press, New York, 1986, pp82-110.