

運動イメージ方法が脊髄前角細胞の興奮に及ぼす影響と慢性期片麻痺患者への介入効果の検討

2018

吉備国際大学  
保健科学研究科  
保健科学専攻  
D311502 竹中孝博



## 目次

省略文字等のリスト	3
-----------	---

### 序章序論（総合）

1. 研究の背景	5
2. F波について	7
3. 研究の目的	8
4. 研究意義	8

### 第1章 運動イメージ課題が脊髄前角細胞の興奮性に及ぼす影響 - 手の肢位の違いによる分析-（研究1）

第1節 序論・背景	10
第2節 方法	10
第3節 結果	13
第4節 考察	15
第5節 限界と課題	18

### 第2章 質感認知を取り入れた運動イメージが脊髄前角細胞に及ぼす影響の検討（研究2）

第1節 序論・背景	20
第2節 方法	21
第3節 結果	23
第4節 考察	24
第5節 限界と課題	26

### 第3章 野球未経験者が野球ボールの質感認知をしながらの把持運動イメージは脊髄前角細胞の変化に影響をあたえるか（研究3）

第1節 序論・背景	28
第2節 方法	28
第3節 結果	30

第4節	考察	3 1
第5節	限界と課題	3 2

**第4章 過去の経験に基づくもう一度やりたいと願う作業の運動イメージを利用した片麻痺患者に対する介入研究（研究4）**

---

第1節	序論・背景	3 5
第2節	方法	3 6
第3節	結果	4 0
第4節	考察	4 7
第5節	限界と課題	5 0

**終章**

---

第1節	結論（総合）	5 1
-----	--------	-----

謝辞	5 3
----	-----

参考文献	5 4
------	-----

## 定義，略語文字等のリスト

本研究で使用する用語の定義，省略文字は以下のものとする．

### 用語の定義

運動イメージ：実際に運動を遂行することなく行為を心的に表象する能力

F/M 振幅比：手関節部で正中神経を最大上刺激し，16回の刺激で得られた F 波の平均振幅を求め，同時に記録された M 波との振幅比を計算したもの

### 省略語

CI 療法：Constraint Induced Movement Therapy

MI: motor imagery (運動イメージ)

ME: motor execution (運動実行)

SMA: supplementary motor area (補足運動野)

vPMC: ventral premotor cortex (腹側運動前野)

dPMC: dorsal premotor cortex (背側運動前野)

M1: Primary motor cortex (一次運動野)

PMC: Premotor cortex (運動前野)

TMS: Transcranial magnetic stimulation (経頭蓋磁気刺激法)

MIQ: Movement Imagery Questionnaire

MIQ-R: Movement Imagery Questionnaire-revised

CM 関節: carpometacarpal joint

fMRI: functional magnetic resonance imaging

COPM: Canadian Occupational Performance Measure (カナダ作業遂行測定)

Brs: Brunnstrom stage

VAS: visual analogue scale

MAS: modified Ashworth scale

## 学位論文の基礎となる原著

### 【研究 1】

竹中孝博, 中角祐治 : 運動イメージ課題が脊髄前角細胞の興奮性に及ぼす影響 - 手の肢位の違いによる分析 - 総合リハビリテーション 2017.6.16 採択済み  
受付番号 17031

### 【研究 2】

Takahiro Takenaka, Yuji Nakazumi : Influence of Motor Imagery Incorporating Material Perception on Spinal Anterior Horn Cells International Journal of Neurorehabilitation 2017,4:2 DOI: 10.4172/2376-0281.1000263

## 序論（総合）

### 1. 研究の背景

厚生労働省による医療費の動向調査<sup>1)</sup>において平成 27 年度の日本の推計平均在院日数は 30.5 日であり，在院日数の短縮化が進んできている．その短い入院期間中に効果的なリハビリテーションを提供することは重要な課題である．

現在，脳卒中などで錐体路が障害された患者に対して，機能の再獲得を目指した様々な取り組みがなされている．最近では，川平法（反復促通療法）<sup>2)</sup>，Constraint Induced Movement Therapy(CI 療法)<sup>3)</sup>やミラーセラピー<sup>4)</sup>で，慢性期でも麻痺を改善させることができたという報告が散見される．ただし，これらの方法は麻痺した手を反復して使用したり，鏡の錯視で思考を混乱させてしまうことがあり，適応できる患者に限られる．

一方，激しい身体活動を伴わない運動イメージ法（訓練）は身体的リスクが少なく，実際の運動に類似する学習効果があるとされておりリハビリテーションの分野に応用されてきている．

運動イメージ（motor imagery：以下 MI）と運動実行（motor execution：以下 ME）は同様の神経機構を共有しており，Jeannerod<sup>5)</sup>は，MI と ME との間の機能的同等性の概念を提唱している．

現在様々な先行研究において MI 中には ME の神経ネットワークである皮質と皮質下領域の活性化が認められるとされている．皮質の運動関連領域は補足運動野（supplementary motor area：以下 SMA）と腹側運動前野（ventral premotor cortex：以下 vPMC）・背側運動前野（dorsal premotor cortex：以下 dPMC）と一次運動野（Primary motor cortex：以下 M1）である．またこれらの運動関連領域はフィードバックループによって小脳及び大脳基底核と密接に結びつき MI と ME の両方で活性化が認められる．その他，MI と ME に関連する領域として頭頂葉が含まれる<sup>6)</sup>．頭頂葉は MI 中に空間的な課題の要求が増加するのに相関して活動が増加することが認められている<sup>7)</sup>．一方，M1 が興奮しているかどうかは現在議論が続いている<sup>8,9)</sup>．また，イメージする内容によって興奮する部位が違ふとされ，系列動作（例えば手指を順番に対立させたり全身運動など）は SMA が興奮し，道

具を介すなど道具に対して目標的に手を伸ばす動作のイメージは運動前野 (premotor cortex : 以下 PMC) が興奮する<sup>10,11)</sup>。すなわち Task によって変わるとされている。近年は TMS や誘発筋電図を用いて研究がなされ皮質脊髄路や脊髄運動細胞の興奮に関しては Task 依存や個人差が大きい<sup>9)</sup>とされ、MI によって興奮するか否かに関して一致した見解がされず論議されている。しかしながら現在の所、共通している基盤としては運動野や皮質脊髄路よりも上位のプログラム領域は MI によって活動するとされている。

MI 課題における脊髄前角細胞の興奮に関して、Suzuki ら<sup>12)</sup>は、MI 中の脊髄神経機能の興奮性増大には、大脳皮質からの下行性線維の影響を報告している。錐体路からの影響として、Luft ら<sup>13)</sup>と Lotze ら<sup>14)</sup>が、MI により SMA, PMC, 小脳, 大脳基底核の活動がみられたと報告しており、SMA, PMC, 小脳, 大脳基底核が、それぞれ M1 に投射し、M1 から皮質脊髄路を介して脊髄前角細胞の興奮性を増加させている。また錐体外路からの影響として、M1, SMA, PMC, 小脳は延髄網様体に投射、さらに小脳に関しては赤核にも投射することから、延髄網様体路、赤核脊髄路を介して脊髄前角細胞の興奮性を増加させていると考えられている。このようにイメージによって脊髄前角細胞が興奮することが徐々に明らかになってきている。

臨床場面において脳イメージング装置を利用した検証は困難な場合が多い。また MI で皮質機能の興奮性が増加しても、脊髄神経機能の興奮性に変化がなければ MI をリハビリテーションの治療技術として臨床応用するのは困難であると考えられる。脳卒中ガイドライン 2015 にてグレード B の川平法 (反復促通療法) の理論背景としては、片麻痺は大脳皮質あるいは運動野からの軸索の損傷が原因で生じていることから、病巣が神経の細胞体を損傷する大脳皮質あるいは軸索を損傷する放線冠や内包であっても、その回復には大脳皮質から脊髄前角細胞までの神経路の再建・強化が欠かせないとされている。

今回、脊髄神経機能とくに脊髄前角細胞の興奮性に与える MI の影響について F 波を用いて検討する。脊髄前角細胞の興奮電位の評価には、被験筋の支配神経を経皮的に電気刺激する事で被験筋から導出される誘発筋電図の H 波、F 波が用いられる。特に上肢では H 波は安定して得られる筋に限られており<sup>15)</sup>、F 波の利用が一般的である。F 波は比較的簡便に測定可能であるメリットもあるため介入効果の検証



を行っていきたい。

## 2. F波について

F波という名称は1950年に Magladery and McDougal が長潜時反応をF波（足内在筋 Foot Muscles から記録したため Foot Wave の意味でF波と呼んだ）と命名した最初の報告以来、その後、足に限らず全身の神経から記録されることが分かってきた。最近の筋電計を用いれば、このF波は容易に記録できるため臨床的にも広く用いられるようになった。

F波は運動神経線維が刺激され、その部位からの逆行性インパルスにより脊髄前角運動ニューロンの再発火を起こし、順行性インパルスを生じた結果もたらされる複合筋活動電位である。ただしこの再興奮はすべてのニューロンで生じるわけではない。また再興奮するニューロンでも毎回再興奮しているわけではなく、同一のニューロンでは10～100回に1回程度しか再興奮が起こらない。そのため表面電極で記録した場合は1回の刺激ではせいぜい数個の運動単位の再興奮が記録されることになり、刺激ごとに潜時・振幅・波形が異なる。

M波は複合筋活動電位と呼ばれるように、正常では数百個の運動単位を有する筋のすべての活動電位の総和を表面で記録したものだが、F波は数個の運動単位電位波形が識別できる。このような理由からF波の振幅はM波の1ないし5%に過ぎず、波形は多相性で一定せず、試行ごとの潜時のばらつきが大きい。しかし正常では10回程度刺激すればF波の最小潜時はほぼ一定となり再現性は極めて良好である。すなわち10回刺激すればそのうち少なくとも1回は最速の運動神経線維が、逆行性刺激によって興奮を生じている。F波最小潜時は、運動ニューロンの逆行性刺激による興奮確率に依存している点が他の神経伝導検査と異なっている。

F波振幅の程度は与えられた刺激によって再発火する脊髄前角細胞の数に比例する。振幅は波形により様々であるためその値は一致しないが、最大M波振幅に対する平均F波振幅の値（F/M振幅比）の正常値はある程度で一致する。そのため臨床検査として用いることが可能である。F/M振幅比が5%以上の場合は通常、上位運動神経障害が存在すると言われておりF波振幅は痙縮の評価としても用いられている。

### 3. 研究の目的

川平法や CI 療法などは麻痺した手を反復して使用し神経路の強化を行うが、全く動かさない患者に適応は困難である。重度の麻痺患者や安静制限によって運動が出来ない患者に対してはまずはイメージ訓練によって大脳皮質から脊髓前角細胞までの神経路の再建・強化を目指す事が重要と考えるため、本研究にて手の肢位やイメージするときの質感認知、更に情動に関わる動作を含むイメージをした時など、さまざまな運動イメージ方法の違いが脊髓前角細胞を効率的に変化させるかを検討し、イメージ訓練におけるイメージの効率的な想起方法を明らかにする事を目的とし、最終的には慢性期片麻痺患者への介入効果の検討を行っていく。

### 4. 研究意義

イメージによって脊髓前角細胞が興奮することは明らかになってきているがリハビリテーション場面における、イメージする内容や訓練頻度などの方法論は確立されていない。臨床場面では脳イメージング装置での検証は困難な場合が多いため、簡便に測定できる誘発筋電計を用いて脊髓前角細胞の変化を測定し各個人に合わせたオーダーメイドなリハビリテーション方法(運動イメージ訓練方法)を提言し、麻痺の改善に寄与する事ができると考えている。新しい麻痺治療介入としたい。

## 第 1 章

運動イメージ課題が脊髄前角細胞の興奮性に及ぼす影響 - 手の肢位の違いによる分析 -

(研究 1)

## 第1節 序論・背景

手の肢位の違いでの脊髄神経機能の興奮の検討は、回外位と機能的肢位の比較で、機能的肢位で記録した F 波振幅が増高するとの報告がある<sup>16)</sup>。ADL は機能的肢位で行うことが殆どであり手の肢位で脊髄神経機能の興奮が増大するという事は大変興味深いが、MI の際の手の肢位の違いによる脊髄神経機能の興奮はまだ明らかにされていない。これらを踏まえ、効率的な脊髄神経機能の興奮を更に明らかにする事は、効果が得られる MI 方法を確立し、リハビリテーション技術に応用していく事が重要であると考え。本研究では MI が、骨格筋に伝えるすべてのインパルスにとって最終共通路(Sherrington)をなす脊髄前角細胞の興奮を効率的に高める方法を手の肢位の違いで検討した。

## 第2節 方法

### 1. 対象

本研究の目的と方法を文章にて説明し、理解を得て協力を申し出た健康成人で、エディンバラ利き手テストを用いて右利き手者として選出された 34 名(男性 11 名, 女性 23 名), 平均年齢±標準偏差は 28.4±8.7 歳である。

### 2. 方法

まず個人のイメージ能力(心的イメージ回転統御能力)を評価するため、WEB アプリの Neuro Orthopaedic Institute Australasia の Recognise Online を用いて、手のメンタルローテーション課題を行った。この WEB アプリは右手と左手の画像がランダムに 1 画像ずつ計 20 画像表示され、被験者は表示された画像の手が右手か左手かを判別し回答するものである。右手画像表示、左手画像表示のそれぞれでの平均回答時間と平均正答率を測定した。

次に脊髄前角細胞の興奮性の測定として日本光電社製の誘発筋電計 MEB-9402 を使用し F 波の導出を行なった。この時、被験者は椅子座位で、肩関節内外旋中間位・軽度屈曲位、肘関節約 60 度屈曲位で台の上に前腕と手を置いた。そして、木村<sup>17)</sup>の方法に従い、手関節部で正中神経を最大上刺激し、右短母指外転筋からベリ

ーテンドン法で F 波を導出した。刺激間隔は 1 Hz で、連続した 16 回の記録を行った。バンドパスは、1 Hz から 3 KHz とした。そして、16 回の刺激で得られた F 波の平均振幅を求め、同時に記録された M 波との振幅比を計算した。以下、この値を F/M 振幅比として分析項目とした。なお、F 波の記録と測定は研究者一人で行った。

最初に図 1a に示すような前腕回外位で安静時の F 波を導出した。以下これをイメージ前安静とする。

次に図 1b に示すような前腕回外位の安静肢位で手掌面にテニスボールを置いた状態で、最大強度の手指の等尺性収縮イメージ、すなわちボールを強く握る様なイメージを行いながら F 波を導出した。この課題名を回外位運動イメージとする。

次に図 1c に示すような前腕回内位でテニスボール上に手を置く機能的肢位の状態で、最大強度の等尺性収縮イメージを行いながら F 波を導出した。この課題名を機能的運動イメージとする。なお、回外位運動イメージ課題と機能的運動イメージ課題はランダムにて施行した。

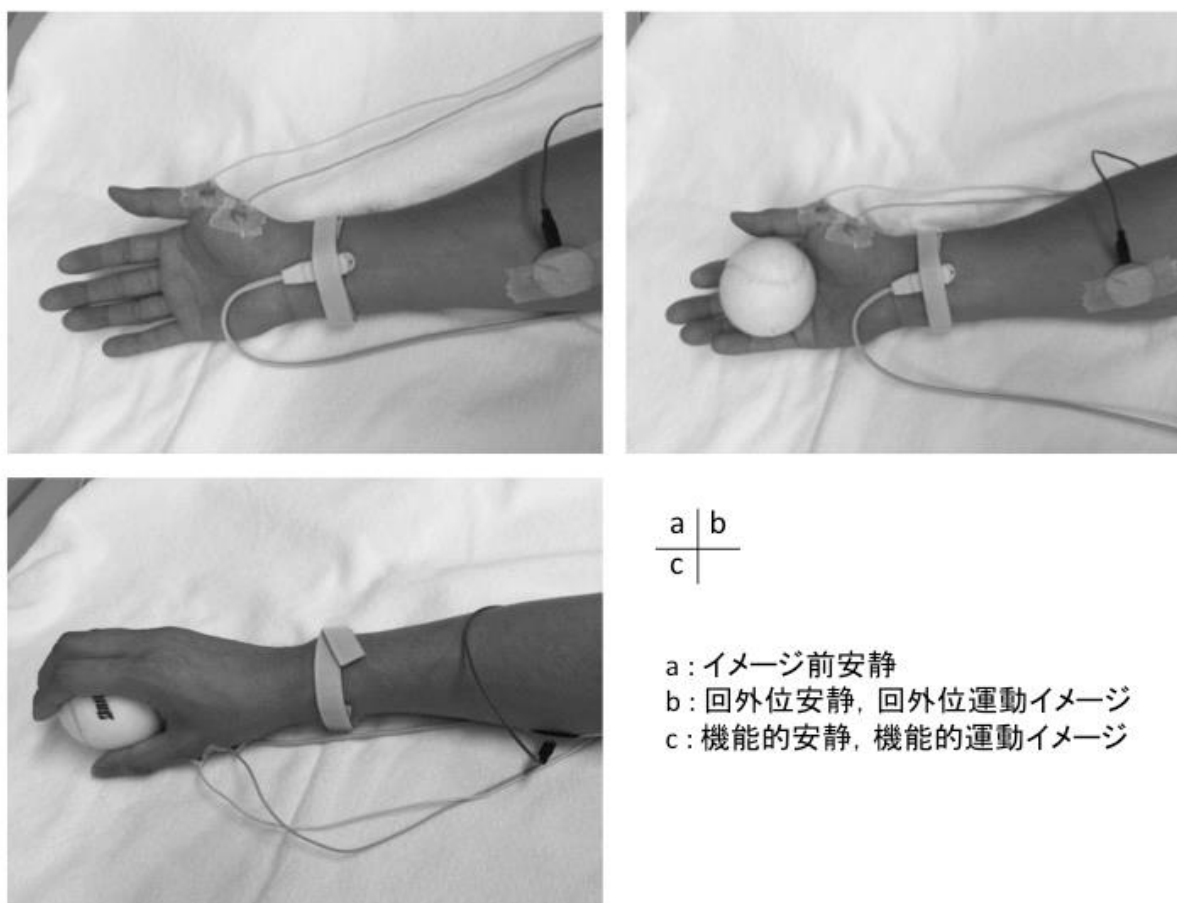


図 1 各課題の肢位

- a: 前腕回外，手関節中間，手指内外転中間位，中手指節間関節中間，指節間関節軽度屈曲位．  
 b: 図 1-a と同様の肢位で手掌面にテニスボールを置いた状態である．  
 c: 前腕回内，手関節中等度背屈・橈尺屈中間，拇指対立位，その他の指も中手指節間関節で軽度外転・軽度屈曲位，指節間関節は中等度屈曲位．実際は，テニスボールに沿って手を置き，縦横のアーチを形成するようにした．

各運動イメージ課題直後に，イメージ想起能力の鮮明度評価として Hall ら<sup>18)</sup>が作成した Movement Imagery Questionnaire(MIQ)の改良版である Movement Imagery Questionnaire-revised(MIQ-R)<sup>19)</sup>を用いて，評価スケールである筋感覚的運動イメージ尺度の 7 件法（1：感じるのはとても難しい，2：感じるのは難しい，3：感じるのはやや難しい，4：どちらでもない，5：感じるのはやややさしい，6：感じるのはやさしい，7：感じるのはとてもやさしい）を使用し（図 2），各運動イメージ課題に対するイメージ想起の鮮明性をそれぞれ測定した．運動イメージ課題中は，手指を動かす事を禁止して力を入れないように口頭で指示し，開始時に力が入っていないことを筋電計の波形を目視で確認してから測定を行った．そして，図 1b,1c の肢位でそれぞれイメージを行わない安静時の F 波測定も記録した．これらをそれぞれ課題名として回外位安静と，機能的安静とする．

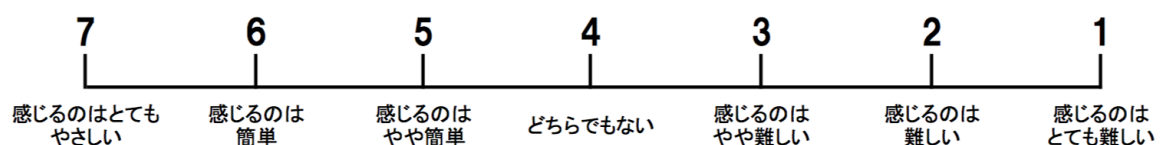


図 2 イメージ想起能力の鮮明度評価

### 3. 分析方法

統計処理は，一元配置分散分析（ANOVA）と多重比較（TukeyHSD 法）を用い，イメージ前安静，回外位安静，機能的安静，回外位運動イメージ，機能的運動イメージのそれぞれにおける F/M 振幅比について比較を行った．イメージ想起能力の評価は Wilcoxon 検定を行い，解析は SPSS Statistics24.0 を用いて有意水準を 5% 未

満とした。

#### 4. 倫理的配慮

研究への参加は自由意志でありなんら強制されないこと、参加に同意しない場合でも、不利益をこうむることは一切ないことを約束する。また、研究のいかなる段階でも、被験者の自由意志にもとづき、研究を中止したり、同意を撤回できたりすることを文書で周知する。

研究で使用する筋電図検査は F 波導出時に手首の神経に電気刺激を与えて記録を行う。F 波は臨床検査として一般的なものであり危険性は極めて低いものであるが強い痛みを自覚することがあるため、不快感を訴えられた場合はすぐに中止し研究機関の長及び研究倫理委員会にすみやかに報告することとした。

この研究で得られたデータは、本研究の目的以外で使用することはない。研究に関する資料は、研究責任者以外の目に触れることがないように、厳重に管理・保管し、本研究終了後に削除・破棄する。

なお、本研究は筆者の所属する平成医療短期大学の倫理審査（第 H27-25）で承認されている。

### 第 3 節 結果

事前に行ったメンタルローテーション課題では、右手の画像の平均正答率と標準偏差は  $84.71 \pm 13.08\%$ 、左手の画像が  $86.76 \pm 15.90\%$  であり、全て右利き手の被験者であったが、正答率に有意な左右差は認めなかった。さらに、一つの画像に対する平均回答時間と標準偏差は右手の画像で平均  $1.86 \pm 0.62$  秒、左手の画像で平均  $1.90 \pm 0.63$  秒であり、回答時間も有意な左右差は認めなかった。

著しく正答率が低い者や回答時間が遅延した被験者は認めなかった。

#### 1. F/M 振幅比について

各課題での F/M 振幅比と標準偏差は以下の結果（表 1）となった。また、一症例から得られた波形を参考のため図 3 に提示する。

表 1 各課題の F/M 振幅比と多重比較による p 値の内訳

	イメージ前 安静	回外位 安静	機能的 安静	回外位運動 イメージ	機能的運動 イメージ	各課題F/M振幅比(%) 平均値±標準偏差	95%信頼区間 下限 上限	
イメージ前安静	—	.990	.763	.016*	.000**	1.0885±0.67264	0.8538	1.3232
回外位安静		—	.953	.059	.000**	1.1730±0.79331	0.8962	1.4498
機能的安静			—	.281	.003**	1.3022±0.54803	1.1109	1.4934
回外位運動イメージ				—	.421	1.6607±0.79036	1.3849	1.9364
機能的運動イメージ					—	1.9734±0.88367	1.6650	2.2817

TukeyHSD法 \*\*:p<0.01 \*:p<0.05

回外位安静の状態でも運動イメージを行っても F/M 振幅比の増加に差は無いが、機能的安静の状態でもイメージを行うと有意に向上した。

分散分析でのグループ間の有意確率は  $p=0.000$  であり、Levene 検定にて  $0.127$  となり等分散していることを確認した。TukeyHSD 法を用いた多重比較では、イメージ前安静と回外位安静の F/M 振幅比の比較において差がなく、ボールによる手掌面への皮膚刺激の関与は認めなかった。

回外位安静と機能的安静での比較において、肢位が異なる安静状態では F/M 振幅比に差を認めず、さらに回外位運動イメージと機能的運動イメージとの比較でも差を認めなかった。

回外位安静と回外位運動イメージの比較では同一肢位でのイメージによる F/M 振幅比の増加に統計的な差はないが、機能的安静と機能的運動イメージの比較においてはイメージによって有意に F/M 振幅比の増加を認めた。



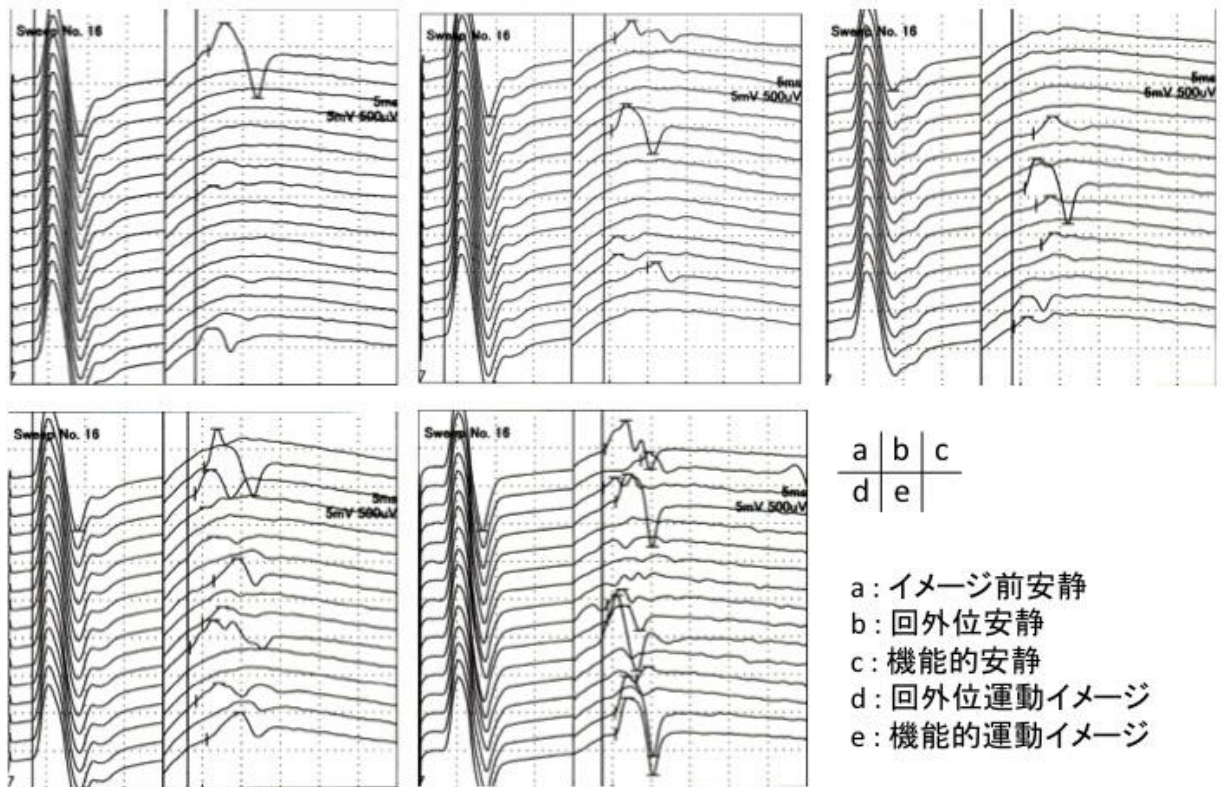


図 3 : 各課題時の F 波測定の結果

F 波測定の一例である。初めに M 波が出現しその後 F 波の出現を認める。機能的運動イメージがもっとも F 波振幅が大きいことが分かる。

## 2. イメージ後の鮮明性評価について

MIQ-R のスケールを用いた各イメージの鮮明性評価では、回外位運動イメージで中央値 3 (感じるのはやや難しい) 四分位範囲 3-4 であり、機能的運動イメージでは中央値 4 (どちらでもない) 四分位範囲 3-5 という結果であり、回外位の方がイメージし難い事が分かった ( $p=0.000$ )。

## 第 4 節 考察

脊髄前角細胞の興奮性の評価には、被験筋の支配神経を経皮的に電気刺激することによって被験筋から導出される H 波、F 波が用いられる。上肢では H 波は安定して得られる筋に限られ<sup>15)</sup>、F 波が一般的である。通常、健常者から H 波はヒラメ

筋，橈側手根屈筋からしか記録ができないが，今回の分析では，人間の手の機能として特に重要であるピンチ動作に繋がる母指対立に働く筋について分析の対象としたため F 波を用いた．なお，F 波は，運動神経に最大上の電気刺激を加えると全ての運動神経が発火し，そのインパルスは順行性伝導と同時に逆行性にも軸索を伝導し上行する．そして通常不応期であるにも関わらず，一部の脊髓前角細胞では，逆行性インパルスに対して軸索小丘で再発火することで順行性活動電位を生じ筋まで伝導して複合筋活動電位として記録される．F 波の波形は刺激毎に異なるのが特徴であり，その振幅は脊髓前角細胞の興奮性を反映している<sup>20)</sup>とされている．パラメーターとしては刺激に対する脊髓前角細胞の発火頻度を示す「出現頻度」，末梢神経全長の神経伝導障害を評価する「潜時」，刺激によって再発火する脊髓前角細胞数とその支配筋線維数に比例する「振幅」がある．振幅は脊髓前角細胞で再発火する筋線維数に影響されるが脊髓前角細胞での再発火は 1 つであるとは限らず，複数の筋線維から出現した F 波は時間を異にして各々重なり複合電位として記録できる．そのため一般的に波形毎，被験者毎に様々であるため，最大上刺激の M 波を基準にした平均 F 波振幅の値（F/M 振幅比）の正常値は再現性を有する．そのために，臨床検査では F/M 振幅比を用いることが多い<sup>21)</sup>．

出現頻度は全刺激に対して何回 F 波が記録できたかを割合で示したものであるが，F 波記録中に随意収縮を行わせた場合に出現頻度は増加し，Suzuki ら<sup>22)</sup>の研究では軽度の等尺性収縮（20%MVC 程度）で既に 100%近い出現頻度を認めたと述べているため詳細な変化を検討できるとは考えにくい．このことから本研究で述べる手の肢位の違いでの運動イメージ課題を行う検討では F/M 振幅比で分析することが重要である．

F 波導出前に行ったメンタルローテーション課題は反応時間が遅いほど運動イメージの想起能力が低い<sup>23)</sup>とされている．今回の被験者には，著しく反応時間が遅れている者はいなかったため，全例統計解析に加えた．

今回得られた結果として，回外位でイメージするよりも機能的肢位でボールを握る運動のイメージをすることによって，脊髓前角細胞の興奮性が増大することを確認した．この促通現象が生じる生理学的メカニズムとして，機能的肢位では母指が対立位にあることから短母指外転筋は短縮し，母指内転筋は伸張されていることから，筋紡錘やゴルジ腱器官からの伸張反射促進や自原性抑制，相反抑制の減弱は考

えにくく，母指 CM 関節が掌側外転位となることで CM 関節周囲のメカノレセプターからの入力が脊髄レベルで変化することが考えられる．さらに，機能的肢位をとることで発生する深部覚が，小脳に蓄えられた運動記憶と照合されて，前頭葉や基底核へのフィードフォワード<sup>24)</sup>を変化させ，錐体路や錐体外路からの下行性入力が脊髄前角細胞や周囲の介在ニューロンに影響を及ぼしている可能性も推定される．

また，イメージの鮮明性評価の結果から，機能的運動イメージのほうが回外位運動イメージより想起しやすいことが判明しており，物を掴むなどの日常動作で行われる母指が対立位に近い動きをイメージするほうが，脊髄前角細胞の興奮性を高めると考えられる．このことは，頭頂葉で認識される体性感覚が運動野や基底核に影響している可能性も考えられる．

運動イメージと運動実行は同様の神経機構を共有しており，両者の機能的同等性の概念が Jeannerod<sup>5)</sup>によって提唱された以降，現在様々な先行研究において運動イメージ中には，運動実行の神経ネットワークである皮質と皮質下領域の活性化が認められると報告されている．皮質の運動関連領域は補足運動野と腹側運動前野・背側運動前野と一次運動野であり，フィードバックループで小脳及び大脳基底核と結びつき，運動イメージと運動実行の両方で活性化が認められる．その他，MI と ME に関連する領域として頭頂葉が含まれる<sup>6)</sup>．頭頂葉は運動イメージ中の空間的な課題要求に相関し活動が増加する<sup>7)</sup>ことが知られている．また，イメージする内容で興奮する部位が異なり，系列動作（手指を順番に対立させたり全身運動など）は補足運動野が興奮し，道具に対して目標的に手を伸ばす動作のイメージは運動前野が興奮する<sup>10,11)</sup>とされている．経頭蓋磁気刺激による誘発筋電位を用いた研究<sup>9)</sup>で，皮質脊髄路や脊髄運動細胞の興奮性は課題依存や個人差が大きいですが，運動野や皮質脊髄路よりも上位のプログラム領域は運動イメージで活性化する<sup>25)</sup>と考察されている．

運動イメージの F 波に及ぼす影響については，鈴木らのグループ<sup>26-31)</sup>が精力的に研究している．安静時の導出と比較して運動イメージ中は F 波出現頻度が高く，直後，5 分後，10 分後，15 分後の出現頻度は安静時と比較して差異を認めなかったと報告している．また，等尺性収縮による母指対立運動イメージについて，収縮強度を最大収縮の 10%と 50%条件で比較したところ，50%で有意に増加したが，30%と 50%条件では両者に差はなく，イメージする強度は 30%で十分であるとしている．

性差の検討では、差は認めないとされている。視覚の有無については、安静時と比べ共に F/M 振幅比は増加するが開眼と閉眼で差はないと報告されている。

運動イメージの際に、被験者自身の手の肢位の違いによる脊髄神経機能の興奮はまだ明らかにされていない。日常生活動作は機能的肢位で行うことが殆どであり、この肢位で脊髄前角細胞の興奮性が増大するという事を踏まえ、効果がより得られやすい運動イメージの方法を見出し、リハビリテーション技術に応用したいと考えている。

片麻痺患者の運動療法を行うには、それぞれの患者の全体像を把握して、個別に対応する必要がある。臨床場面では脳イメージング装置での検証は困難な場合が多い。また運動イメージで皮質機能の興奮性が増加しても、脊髄神経機能に変化がなければ運動イメージを治療技術として臨床応用するのは困難である。

本研究の臨床的意義は、手が動かさない重度の片麻痺患者や安静を指示されている患者、ギブス固定中の患者に対しても手を動かすイメージ法（訓練）を施行できることにある。しかし、運動イメージの具体的な方法に関する研究は少なく、本研究の結果からただ単にイメージさせるだけでは不十分で、機能的な手の肢位を意識して行うことが効率的に脊髄前角細胞の興奮性を高めることができるという根拠となりうる基礎的研究となったことで本研究の意義は高いと考える。

## 第 5 節 限界と課題

今回の研究の限界として、健常成人のデータであることがあげられる。そして F 波導出時に口頭で随意的な筋収縮を行わないよう説明し、検者が目視にて事前の波形の確認、ならびに出現頻度を分析項目に含めないなどの工夫は行なったが限界がある。また短母指外転筋を対象とした検査であり筋電図測定時に母指以外の示指から小指に筋収縮が生じたとしてもそれが関連するのかどうかは明らかでない。

本研究にて効率的に脊髄前角細胞を興奮させる手法は明らかになったが、イメージ内容の具体的な方法論は今後の課題である。今後多くの錐体路障害例で、機能的肢位でのイメージ介入を行い、その有用性を検証して行きたい。

## 第 2 章

質感認知を取り入れた運動イメージが脊髄前角  
細胞に及ぼす影響の検討（研究 2）

## 第1節 序論・背景

研究1の結果から、運動をイメージする際は、被験者自身の手の肢位が重要であることが判明した。更に、MIをより効果的に働かせるには「physical：身体」「environment：環境」「task：課題」「timing：タイミング」「learning：学習」「emotion：情動」「perspective：志向性」の7つの要素からなるPETTLEPモデルをHolmesら<sup>32)</sup>が提唱しており、単に運動をイメージする指示のみでは不十分とされている。PETTLEPモデルにおける「environment：環境」に相当する要因として体性感覚、視覚、聴覚などの外部からの合図がMIの鮮明さに影響を及ぼすとされる。

MIを鮮明にするためには多様な感覚モダリティを通じた刺激の影響を考慮する必要がある。我々は日常生活において、ある素材を見ただけでその素材を触らなくても触った感じをイメージすることは可能である。素材はその物質特性を利用して特有の用途に使用され、日常生活において意味のある機能とも結びついている。例えばコップはガラスや陶器、金属などを用いて作られ、布や革で作られることは、ほとんどない。素材のもつ質感は感覚的な印象から機能的な意味まで幅広く含む生物学的に重要な情報源となっている。質感に関する情報の獲得は生後の発達の過程における学習の要素が大きいとされる<sup>33)</sup>。リハビリテーションの場面において物を握るなどの運動をイメージする際に、その物の持つ質感までをイメージすることが、よりリアルで鮮明な運動のイメージを賦活させると筆者は考えている。

すでに多くの先行研究においてMIによって中枢神経機能が興奮するとされ、また脊髄神経機能も興奮することが明らかとなってきた<sup>34)</sup>。

素材知覚に関しては、Cantら<sup>35,36)</sup>がfMRI計測により腹側視覚経路が関係することを示している。さらに、手指運動において把持する物の知覚をイメージして握ることにより、脳血流量は増加すると報告がある<sup>37)</sup>。一方、把持する物品の触覚を想起しながらイメージすることによる脊髄神経機能の興奮に変化を及ぼすのかを検討した報告はない。そこで本研究では、MI時の脊髄神経機能の興奮性変化を、F波を用いて検討し、質感や触感を想起しながらイメージすることによる脊髄前角細胞の影響を検討した。

## 第 2 節 方法

### 1. 対象

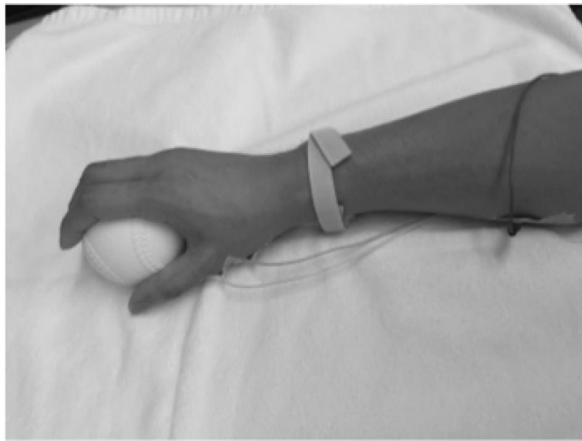
対象者は、健康成人で現役の野球投手とし、本研究の目的と方法を口頭と文章で説明した後、協力を申し出た者。全例右利き男性とし、右投げ投手 14 名、平均年齢±標準偏差  $20.6 \pm 3.67$  歳である。

### 2. 方法

まず個人のイメージ能力（心的イメージ回転統御能力）の評価として手のメンタルローテーション課題を行った。使用したのは WEB アプリの Neuro Orthopaedic Institute Australasia の Recognise Online を用いて測定を行った。これは手の画像が右手と左手のランダムに 20 個提示され判別回答するものである。その時の左右手の画像それぞれの平均正答率と平均回答時間を測定した。

次に脊髄前角細胞の興奮性の測定として日本光電社製の誘発筋電計 MEB-9402 を使用し F 波の導出を行なった。この時、被験者は椅子座位で、肩関節内外旋中間位・軽度屈曲位、肘関節約 60 度屈曲位で台の上に前腕と手を置いた。そして、木村<sup>17)</sup>の方法に従い、手関節部で正中神経を最大上刺激し、右短母指外転筋からベリテンドン法で F 波を導出した。刺激間隔は 1 Hz で、連続した 16 回の記録を行った。バンドパスは、1 Hz から 3 KHz とした。そして、16 回の刺激で得られた F 波の平均振幅を求め、同時に記録された M 波との振幅比を計算した。以下、この値を F/M 振幅比として分析項目とした。なお、F 波の記録と測定は研究者一人で行った。

測定はまず安静時の F 波を測定するため、ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で測定を行った。その後以下の MI 課題をランダムで行った。課題 1：ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で最大収縮の等尺性収縮での把持するイメージを行い、F 波を導出した。課題 2：公式野球ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で最大収縮の等尺性収縮イメージを行い、イメージする際にボールの縫い目やボールの素材を知覚してもらいながら把持するイメージを行い、F 波を導出した。なお、課題 1 と課題 2 のボールの直径は同様であるが、課題 1 のボールには縫い目がないものとした。（図 4）



課題1: 把持するイメージ課題



課題2: 把持するイメージに加え、ボールの縫い目やボールの素材を知覚しながらのイメージ課題

図 4 各課題の肢位

研究 1 と同様に各課題直後に、イメージ想起能力の鮮明度評価として Hall ら<sup>18,19)</sup>が作成した Movement Imagery Questionnaire-revised(MIQ-R)を用いて、評価スケールである Kinesthetic Imagery Scale の 7 件法で測定した。

なお、MI 課題中は、手指を動かす事を禁止して力を入れないように口頭で指示し、開始時に力が入っていないことを筋電計の波形で確認してから測定を行った。

### 3. 分析方法

一元配置分散分析 (ANOVA) と多重比較 (TukeyHSD 法) を用い、安静時、課題 1、課題 2 のそれぞれにおける F/M 振幅比について比較を行った。イメージ想起能力の評価は Wilcoxon 検定を行い、解析は SPSS Statistics21.0 を用いて有意水準を 5%未満とした。

### 4. 倫理的配慮

研究への参加は自由意志でありなんら強制されないこと、参加に同意しない場合でも、不利益をこうむることは一切ないことを約束する。また、研究のいかなる段階でも、被験者の自由意志にもとづき、研究を中止したり、同意を撤回できたりすることを文書で周知する。



研究で使用する筋電図検査は F 波導出時に手首の神経に電気刺激を与えて記録を行う。F 波は臨床検査として一般的なものであり危険性は極めて低いものであるが強い痛みを自覚することがあるため、不快感を訴えられた場合はすぐに中止し研究機関の長及び研究倫理委員会にすみやかに報告することとした。

この研究で得られたデータは、本研究の目的以外で使用することはない。研究に関する資料は、研究責任者以外の目に触れることがないように、厳重に管理・保管し、本研究終了後に削除・破棄する。

なお、本研究は筆者の所属する平成医療短期大学の倫理審査（第 H27-25）で承認されている。

### 第 3 節 結果

事前に行った個人のイメージ能力（心的イメージ回転統御能力）の評価では右手の画像の平均正答率が  $89.29 \pm 10.72\%$ 、左手の画像の平均正答率が  $85.71 \pm 7.56\%$  であり、全て右利き手の被験者であったが、正答率の左右差に有意差は認めなかった。さらに、一つの画像に対する平均回答時間は右手の画像で平均  $1.28 \pm 0.31$  秒、左手の画像で平均  $1.31 \pm 0.30$  秒であり、回答時間も左右差に有意差は認めなかった。著しく正答率が低い者や回答時間が遅延した被験者は認めなかった。

#### 1. F/M 振幅比について

各課題での F/M 振幅比と標準偏差は以下の結果（表 2）となった。

表 2 各課題の F/M 振幅比と多重比較による p 値の内訳

	安静	課題1	課題2	各課題F/M振幅比(%) 平均値±標準偏差	95%信頼区間 下限 上限	
安静	—	.005**	.000**	1.2148±0.77964	0.7646	1.6649
課題1		—	.031*	2.1122±0.67295	1.7237	2.5008
課題2			—	2.8152±0.65731	2.4356	3.1947

Tukey HSD法 \*\*: $p < 0.005$  \*: $p < 0.05$

安静時と比較して課題 1, 課題 2 とも F/M 振幅比が有意に増加したが、更に課題 1 よりも課題

2では有意に向上した。

分散分析でのグループ間の有意確率は  $p=0.000$  であり，Levene 検定にて 0.721 となり等分散していることを確認した．TukeyHSD 法を用いた多重比較では，安静時と課題 1 の F/M 振幅比の比較において，等尺性収縮のイメージによって有意に F/M 振幅比の増加を認めた．また，安静時と課題 2 の F/M 振幅比の比較においても同様に，イメージによって有意に F/M 振幅比の増加を認めた．

課題 1 と課題 2 の比較では，イメージする際にボールの縫い目やボールの素材を知覚してもらいながら把持する課題 2 のイメージをするほうが，F/M 振幅比は有意に増大していた．

## 2. イメージ後の鮮明性評価について

各イメージの鮮明性評価では，課題 1 で中央値 4.5 であり，課題 2 では中央値 3 という結果であり，統計的な有意差はなかった．

## 第 4 節 考察

日常における触覚の質感認知は，必ず視覚情報が事前にもたらされ，前もって触れる対象の情報を知識として知っている必要がある．今回の対象者である野球投手は毎日ボールに触れ，視覚認知に必要な事前情報は充分にあると考えられる．また投手は投球動作においてボールの縫い目や素材の質感などの触感覚を気にするため，より縫い目に注意が喚起し易く，質感認知を促し易いと考えられる．Klatzky ら<sup>38)</sup>は，表面の凸凹や滑らかさといった特定の視覚情報が，触りたくなるという衝動を喚起するとしており，このことから，よりボールを把持する際に縫い目の質感認知をしながら MI を惹起できると考えられることから被験者を野球投手とした．

脊髄前角細胞の興奮性の評価は，被験筋の支配神経を経皮的に電気刺激することによって被験筋から導出される H 波，F 波が用いられる．上肢では H 波は安定して得られる筋に限られ<sup>15)</sup>，F 波が一般的である．なお，F 波は，末梢神経に加えられた電気刺激によるインパルスが逆行性に上行し，脊髄前角細胞に達した後に，順行性に下行する興奮が生じた場合に記録される複合筋活動電位である．F 波の波形は

刺激の度に変化し、その振幅は脊髄前角細胞の興奮性を反映している<sup>20)</sup>とされている。振幅は波形ごとで様々で一致しないため、最大 M 波振幅に対する平均 F 波振幅の値を F/M 振幅比として分析した。

F 波導出前に行ったメンタルローテーション課題は反応時間が遅いほど MI の想起能力が低い<sup>23)</sup>とされている。今回の被験者には、著しく反応時間が遅れている者はいなかったため、全例統計解析に加えた。

今回得られた結果として、ただ単にボールを握るイメージでも、質感認知をしながらボールを握る運動のイメージをしても、脊髄前角細胞の興奮性が増大することを確認した。そして、ただ単にボールを握るイメージだけよりも質感認知をしながらイメージをした方が、促通効果が大きいことが確認できた。この促通現象が生じる生理学的メカニズムとして、事前の視覚情報が触れた時の触覚の質感を推測させ、さらに実際に触れることで触覚からの感覚情報によってよりリアルに握るイメージが惹起されたと考える。また小脳に蓄えられた運動記憶と照合されて、前頭葉や基底核へのフィードフォワード<sup>24)</sup>を変化させ、錐体路や錐体外路からの下行性入力脊髄前角細胞や周囲の介在ニューロンに影響を及ぼしている可能性や、頭頂葉で認識される体性感覚が運動野や基底核に影響している可能性も考えられる。しかしながらイメージの鮮明性評価の結果からは、差はみられていない。質感認知をしながらのイメージ想起は、握るイメージだけでなく縫い目の質感までを感じながらイメージを鮮明に想起するのは難しいことが判明した。

脳卒中片麻痺患者は、運動や感覚障害により知覚情報を認知しにくくなっており、体と環境との相互作用システムが崩れるため、運動療法を行うには、それぞれの患者の全体像を把握して、個別に対応する必要がある。臨床場面では脳イメージング装置での検証は困難な場合が多い。また MI で皮質機能の興奮性が増加しても、脊髄神経機能に変化がなければ MI を治療技術として臨床応用するのは困難である。

今回行った質感認知を利用した MI は、脊髄前角細胞が促通されることが示された。MI を効率的に働かせるためには多様な感覚モダリティを通じた刺激を考慮する必要があることがある事が明らかとなった。

## 第 5 節 限界と課題

今回の研究の限界として、本データで得られた結果は現役野球投手に対してのデータである。そのため、本研究で明らかになった質感認知をしながら MI を行うことで脊髄前角細胞の興奮が変化する事が、全ての人にとって共通な見解であるかは不明である。また、本研究で使用したボールは、直径は同じであるが縫い目の無いボールと、公式野球ボールでの比較のため、公式野球ボールの縫い目からの接触刺激入力がどれほど影響しているのかは明らかに出来ない。

測定方法に関しては、F 波導出時に口頭で随意的な筋収縮を行わないよう説明し、検者が目視にて事前の波形の確認、ならびに出現頻度を分析項目に含めないなどの工夫は行なったが限界がある。また短母指外転筋を対象とした検査であり筋電図測定時に母指以外の示指から小指に筋収縮が生じたとしてもそれが関連するのかどうかは明らかでない。

今後、野球未経験者に対して調査し同様の効果があるか調査することが課題である。

## 第 3 章

野球未経験者が野球ボールの質感認知をしながらの把持運動イメージは脊髓前角細胞の変化に影響をあたえるか（研究 3）

## 第 1 節 序論・背景

現在，さまざまな先行研究において運動をイメージした際に，脊髄前角細胞が興奮することが明らかになってきている．筆者の研究では研究 1 にてボールを把持する MI の際に，実際の被験者自身の手の肢位の違いでの検討を回外位と機能的肢位で比較検討を行い，機能的肢位での MI の時がより効率的に脊髄前角細胞の興奮が得られることを述べた．さらに研究 2 にて把持イメージをする際に，把持する野球ボールの縫い目や素材を知覚しながら MI を行うことが，脊髄前角細胞の興奮が得られることが明らかとなった．しかし，対象が現役野球投手であったため課題特異的な作用が働いている可能性が考えられる．すなわち，野球の投手は毎日ボールに触れ視覚認知に必要な事前情報は充分にあると考えられ，また投手は投球動作においてボールの縫い目や素材の質感などの触感覚を気にするため，より縫い目に注意が喚起し易く，質感認知を促し易いと考えられる．同様の方法で野球の未経験者が，把持するボールの素材や縫い目などの質感認知をしながらの把持イメージが，野球選手と同様に脊髄前角細胞の興奮がみられるかは不明である．そこで本研究では研究 2 と同様の方法で，対象者を野球の未経験者とし脊髄前角細胞の興奮性変化を検討した．

## 第 2 節 方法

### 1. 対象

対象者は，健康成人で野球未経験者であり整形外科的既往，並びに神経疾患の既往の無い者とし，右利き手の 22 名，平均年齢±標準偏差 20.05±0.95 歳，男性 4 名，女性 18 名である．なお，右利きての判定は，事前にエディンバラ利き手テストを用いて右利き手を判定した．

本研究の目的と方法を口頭と文章で説明した後，協力を申し出た者とした．

### 2. 方法

研究 2 と同様に，まず個人のイメージ能力（心的イメージ回転統御能力）の評価として手のメンタルローテーション課題を行った．使用したのは WEB アプリの

Neuro Orthopaedic Institute Australasia の Recognise Online を用いて測定を行った。その時の左右手の画像それぞれの平均正答率と平均回答時間を測定した。

次に脊髄前角細胞の興奮性の測定として日本光電社製の誘発筋電計 MEB-9402 を使用し F 波の導出を行なった。この時、被験者の肢位は研究 2 と同様とし、木村<sup>17)</sup>の方法に従い、手関節部で正中神経を最大上刺激し、右短母指外転筋からベリールテンドン法で F 波を導出した。刺激間隔は 1 Hz で、連続した 16 回の記録を行った。バンドパスは、1 Hz から 3 KHz とした。そして、16 回の刺激で得られた F 波の平均振幅を求め、同時に記録された M 波との振幅比を計算した。以下、この値を F/M 振幅比として分析項目とした。なお、F 波の記録と測定は研究者一人で行った。

測定はまず安静時の F 波を測定するため、ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で測定を行った。その後以下の MI 課題をランダムで行った。課題 1：ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で最大収縮の等尺性収縮での把持するイメージを行い、F 波を導出した。課題 2：公式野球ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で最大収縮の等尺性収縮イメージを行い、イメージする際にボールの縫い目やボールの素材を知覚してもらいながら把持するイメージを行い、F 波を導出した。なお、課題 1 と課題 2 のボールの直径は同様であるが、課題 1 のボールには縫い目がないものとした。

研究 1 と同様に各課題直後に、イメージ想起能力の鮮明度評価として Hall ら<sup>18,19)</sup>が作成した Movement Imagery Questionnaire-revised(MIQ-R)を用いて、評価スケールである Kinesthetic Imagery Scale の 7 件法で測定した。

なお、MI 課題中は、手指を動かす事を禁止して力を入れないように口頭で指示し、開始時に力が入っていないことを筋電計の波形で確認してから測定を行った。

### 3. 分析方法

一元配置分散分析 (ANOVA) と多重比較 (TukeyHSD 法) を用い、安静時、課題 1、課題 2 のそれぞれにおける F/M 振幅比について比較を行った。イメージ想起能力の評価は Wilcoxon 検定を行い、解析は SPSS Statistics21.0 を用いて有意水準を 5%未満とした。

#### 4. 倫理的配慮

研究への参加は自由意志でありなんら強制されないこと、参加に同意しない場合でも、不利益をこうむることは一切ないことを約束する。また、研究のいかなる段階でも、被験者の自由意志にもとづき、研究を中止したり、同意を撤回できたりすることを文書で周知する。

研究で使用する筋電図検査は F 波導出時に手首の神経に電気刺激を与えて記録を行う。F 波は臨床検査として一般的なものであり危険性は極めて低いものであるが強い痛みを自覚することがあるため、不快感を訴えられた場合はすぐに中止し研究機関の長及び研究倫理委員会にすみやかに報告することとした。

この研究で得られたデータは、本研究の目的以外で使用することはない。研究に関する資料は、研究責任者以外の目に触れることがないように、厳重に管理・保管し、本研究終了後に削除・破棄する。

なお、本研究は筆者の所属する平成医療短期大学の倫理審査（第 H27-25）で承認されている。

### 第 3 節 結果

事前に行った個人のイメージ能力（心的イメージ回転統御能力）の評価では右手の画像の平均正答率が  $87.27 \pm 9.85\%$ 、左手の画像の平均正答率が  $85.27 \pm 13.17\%$  であり、全て右利き手の被験者であったが、正答率の左右差に有意差は認めなかった。さらに、一つの画像に対する平均回答時間は右手の画像で平均  $1.39 \pm 0.48$  秒、左手の画像で平均  $1.34 \pm 0.40$  秒であり、回答時間も左右差に有意差は認めなかった。著しく正答率が低い者や回答時間が遅延した被験者は認めなかった。

#### 1. F/M 振幅比について

各課題での F/M 振幅比と標準偏差は以下の結果（表 3）となった。



表 3 各課題の F/M 振幅比と多重比較による p 値の内訳

	安静	課題1	課題2	各課題F/M振幅比(%) 平均値±標準偏差	95%信頼区間 下限 上限	
安静	—	.046*	.009**	0.842±0.587	0.5817	1.1022
課題1		—	.796	1.4822±0.8395	1.11	1.8544
課題2			—	1.6516±1.1099	1.1595	2.1437

Tukey HSD法 \*\*: $p<0.005$  \*: $p<0.05$

安静時と比較して課題 1, 課題 2 とも F/M 振幅比が有意に増加したが, 課題 1 と課題 2 では有意な差をみとめなかった。

分散分析でのグループ間の有意確率は  $p=0.008$  であり, Levene 検定にて  $0.054$  となり等分散していることを確認した。TukeyHSD 法を用いた多重比較では, 安静時と課題 1 の F/M 振幅比の比較において, 等尺性収縮のイメージによって有意に F/M 振幅比の増加を認めた。また, 安静時と課題 2 の F/M 振幅比の比較においても同様に, イメージによって有意に F/M 振幅比の増加を認めた。

課題 1 と課題 2 の比較では, F/M 振幅比に差はなく, イメージする際にボールの縫い目やボールの素材を知覚してもらいながら把持をするイメージをしても変化がないことが明らかとなった。

## 2. イメージ後の鮮明性評価について

MIQ-R のスケールを用いた各イメージの鮮明性評価では, 課題 1 は中央値  $3.5$ , 四分位範囲  $3-5$  で, 課題 2 では中央値  $4$ , 四分位範囲  $2.75-5.25$  という結果であり, 課題 1 と課題 2 の比較において統計的な有意差はなかった。

## 第 4 節 考察

研究 2 の結果から, MI を行う際はただ単に把持するイメージだけよりも, 把持する物の質感までを知覚しながらイメージする事が, 効率的に脊髄前角細胞の興奮が得られると考えられたが, 本研究の結果から公式野球ボールにほとんど触れたことのない野球未経験者では, ただ単にボールを把持するイメージと変わらないこと

が明らかとなった。ボールからの触覚刺激入力は、初めてボールに触れる者にとっては、よりリアルに握るイメージに繋がり難いため、素材の質感までをイメージしても脊髄前角細胞の興奮には繋がらない。Holmes ら<sup>32)</sup>が提唱する PETTLEP モデルの中の「environment」は体性感覚、視覚、聴覚などの外部からの合図は個人の経験や生活歴などに応じてイメージする課題をカスタマイズすべきであり、リハビリテーション場面においてセラピストは患者から面接を通して情報収集し、イメージする課題内容を決定し介入していく必要がある事が示唆された研究である。

近年の研究をみると Wang ら<sup>39)</sup>は、スポーツ選手がその専門競技を MI する課題で、その競技で使用する用具を手で触れているときに、何もふれていないときより MEP 振幅が増大するとの報告がある。この現象はバドミントン、テニス、野球などの熟練者で著名に観察されることから、長期的な用具の使用経験により、これらの用具との接触で生じる触圧覚と運動指令の生成に関与する神経基盤が強化されていると考えられる。リハビリテーション場面において対象となる高齢者の場合、箸や書字道具の使用経験時間はアスリートらの運動用具使用時間を凌駕することから、リハビリテーションに MI を行う際に、これらを想起する動作に関連した用具と接触することは、その介入効果を高める可能性がある。一方で弛緩性の片麻痺患者や痙縮が強すぎる場合はその物品が握れなかったり、感覚障害がある場合は手からの触圧覚入力は困難である。しかしながら、先行研究と同様に第 1 研究、第 2 研究ともに運動をイメージするだけで脊髄前角細胞の興奮が可能であるため、これらの問題がある患者に対しては MI を促すだけでも介入効果が期待出来ると考えられる。

## 第 5 節 限界と課題

測定方法に関しては、研究 1,2 と同様の方法のため F 波導出時に口頭で随意的な筋収縮を行わないよう説明し、検者が目視にて事前の波形の確認、ならびに出現頻度を分析項目に含めないなどの工夫は行なったが限界がある。また短母指外転筋を対象とした検査であり筋電図測定時に母指以外の示指から小指に筋収縮が生じたとしてもそれが関連するのかどうかは明らかでない。

研究 1~3 の知見を活かし今後、片麻痺患者に対して、機能的肢位でのイメージ介入や素材の質感認知を促しながらのイメージ介入を行い、その有用性を検証して

いくことが重要である.

## 第 4 章

過去の経験に基づくもう一度やりたいと願う作業の運動イメージを利用した片麻痺患者に対する介入研究（研究 4）

## 第1節 序論・背景

筆者は第1研究から第2, 第3研究にて健常成人を対象として, 効率的に脊髄前角細胞を興奮させる手法として, 手の肢位での検討と方法論としてイメージ想起方法を明らかにしてきた. その知見を利用して脳卒中片麻痺患者に対して MI を用いた介入効果が期待出来ると考えられたため, 第4研究にて慢性期の脳卒中片麻痺患者に対する MI 介入の効果を明らかにする事とした.

現在, 脳卒中患者は厚生労働省の平成26年患者調査の概況<sup>40)</sup>より全国で117万9,000人いるとされ, それに伴い多くの患者が麻痺という身体機能の低下と活動制限をきたしながらも生活を送っている. 多くの片麻痺患者は中枢性の麻痺に伴う筋肉の痙縮に悩まされ, 痙縮は疼痛や不快感を招いている. 痙縮の管理は難しく, 様々な領域が加わり協同しながらアプローチする必要がある. また, Nair<sup>41)</sup>は, 痙縮は脳卒中や多発性硬化症, 頭部外傷, 脊髄損傷のような神経疾患に共通し頻繁にみられ, 機能を低下させる特徴をもっていると報告している.

国際臨床生理学会のガイドライン<sup>42)</sup>では, 痙縮の評価に際して, 脊髄前角の興奮を示す F 波, H 波を麻痺側上肢の正中神経を刺激し, 短母指外転筋, 橈側手根屈筋にて計測することを推奨している. Tsai ら<sup>43)</sup>は脳卒中後遺症患者と F 波の振幅が, 痙縮の重症度と相関すると報告しており, 痙縮の非侵襲的かつ定量的・神経生理学的検査として推奨されるに至っている. リハビリテーション領域における研究では, CI 療法の課題指向型訓練によって筋緊張が低下する事を Ashworth scale と F 波を用いて報告<sup>44)</sup>しており, 量を伴うような集中的な上肢訓練において痙縮の悪化にならず, むしろ改善する効果があるとしている. また, Kondo ら<sup>45)</sup>によると反復経頭蓋磁気刺激と集中的作業療法の併用プロトコルは, 脳卒中後の患者の麻痺上肢の運動機能を有意に改善し, 筋緊張を減少させ F/M 振幅は有意に減少したと報告している. これらの報告から脳卒中患者に対しては脊髄前角細胞の興奮が低下することが痙縮抑制に効果的であると考えられる.

その他, 薬物療法を除いた痙縮に対するリハビリテーション効果の報告では, スプリント療法はストレッチよりも効果がある<sup>46,47)</sup>との報告や, 病期の早期から良好な姿勢アライメントを整えていく必要がある<sup>48)</sup>と報告がある. 一方, MI を想起することで痙縮抑制に効果があったとの報告<sup>49)</sup>もみられる.

中枢性麻痺を呈する患者を対象とした，麻痺側上肢機能の自然回復の促進と運動機能の向上を図る一手段として，非麻痺側肢による運動課題が用いられている<sup>50)</sup>．非麻痺側の運動に関しては，麻痺側安静肢の脊髄前角細胞の興奮性を増大させる<sup>51,52)</sup>との報告や，一側肢の随意運動を繰り返す事により対側同名筋の筋力が向上する<sup>53)</sup>，麻痺側手指の巧緻性が増加する<sup>54)</sup>などの非麻痺側の介入効果が示されている．

しかしながら安静制限がある状態の患者に対しては非麻痺側の運動さえ困難な場合があり，高齢者などに対しては非麻痺側の運動であっても激しい運動課題は困難である場合がある．また，発症から長期間経過した脳卒中患者は診療報酬制度により，すでにリハビリテーションを打ち切られ，自宅での自主練習のみである場合が多い．これらの患者に対しては身体的な負荷がない MI を利用し，主体的に自主練習に取り組めるような効果的で楽しい自主練習課題である必要がある．

脳卒中片麻痺患者に対して MI を行うと F 波振幅が増加するとの報告<sup>55)</sup>はあるが，現在のところリハビリテーション場面による効率的で具体的なイメージ訓練方法は確立していない．

そこで本研究では，障害を受けて生活動作に困難を来した状態の患者が，改善または達成したい生活動作や必要としている動作，すなわち，その人にとってのもう一度やりたいと強く願う馴染みのある動作のイメージとした．これは PETTLEP モデルの「emotion：情動」に相当し，病前行っていた慣れた動作であればより鮮明なイメージが可能である「task：課題」や「environment：環境」に相当するイメージである．イメージする際は質感までをイメージして 2 ヶ月間の介入効果を検証していく．

## 第 2 節 方法

### 1. 対象

発症 1 年以上経過した慢性期の脳卒中患者とし，介入群は 14 名(男性 7 名，女性 7 名)，年齢±標準偏差は  $61.9 \pm 11.6$  歳である．対照群は 5 名(男性 3 名，女性 2 名)，年齢±標準偏差は  $61.0 \pm 13.7$  歳である．

除外基準は，重度の失語症や感覚障害を伴う者．認知症がない者．F 波導出中に

強く痛みの訴える者とする。

## 2. 方法

介入群に対してカナダ作業遂行測定 (Canadian Occupational Performance Measure 以下: COPM) を使用し重要度の高い「もう一度やりたい作業」を抽出してイメージ課題を決定する。その後、研究1と同様にイメージ想起能力評価のためメンタルローテーション課題を行った。基本情報として年齢、性別、発症からの期間、現在の麻痺の状態評価として上肢および手指運動機能回復テスト (以下: Brs) (表 4)、握力、主観的手の動かしやすさを VAS (図 5) と、筋緊張の評価として modified Ashworth scale (以下: MAS) (表 5) を測定後、イメージ前後の F 波を麻痺側手から測定した。F 波の測定方法は日本光電社製の誘発筋電計 MEB-9402 を使用し F 波の導出を行なった。この時、被験者は椅子座位で、肩関節内外旋中間位・軽度屈曲位、肘関節約 60 度屈曲位で台の上に前腕と手を置いた。前腕は研究1の結果を踏まえて回内位とし、ボールの上に軽く手を置いて母指対立位である機能的肢位とした状態で測定を行った。その際、肘関節と手関節、手指を動かさないよう装具にて固定を行った。そして、木村<sup>17)</sup>の方法に従い、手関節部で正中神経を最大上刺激し、右短母指外転筋からベリーテンドン法で F 波を導出した。刺激間隔は 1 Hz で、連続した 16 回の記録を行った。バンドパスは、1 Hz から 3 KHz とした。そして、16 回の刺激で得られた F 波の平均振幅を求め、同時に記録された M 波との振幅比を計算した。以下、この値を F/M 振幅比として分析項目とした。なお、F 波の記録と測定は研究者一人で行った。

測定はまず安静時の F 波を測定し、介入群には COPM にて抽出した「もう一度やりたい作業」のイメージ時の F 波を測定した。その後 2 ヶ月間自宅にて「もう一度やりたい作業」イメージ訓練 (1 日 5 分) を行い 2 ヶ月後に再評価とした。

対照群に対しては、イメージに意味の持たない単純作業として作業療法の機能訓練で用いられるアクリルコーンを握るイメージ課題を物品把持イメージとし、2 ヶ月間自宅にてイメージ訓練 (1 日 5 分) を行い 2 ヶ月後に再評価を行った。

なお、対照群には 2 ヶ月後の再評価後、介入群と同様に COPM を使用して「もう一度やりたい作業」を抽出してイメージ課題を決定し、さらに 2 ヶ月間自宅にてイメージ訓練 (1 日 5 分) を行い 2 ヶ月後に再評価とした。(図 6)

表 4 上肢および手指運動機能回復テスト (Brs)

<p>【上肢】</p> <p>stage 1 : 弛緩性麻痺。</p> <p>stage 2 : 上肢のわずかな随意運動。</p> <p>stage 3 : 座位で肩・肘の同時屈曲、同時伸展。</p> <p>stage 4 : 腰の後方へ手をつける。肘を伸展させて上肢を前方水平へ挙上。肘 90° 屈曲位での前腕回内・回外。</p> <p>stage 5 : 肘を伸展させて上肢を横水平へ挙上、また前方頭上へ挙上、肘伸展位での前腕回内・回外。</p> <p>stage 6 : 各関節の分離運動。</p> <p>【手指】</p> <p>stage 1 : 弛緩期 (完全麻痺)。</p> <p>stage 2 : 指の屈曲不能、または僅か可能。</p> <p>stage 3 : 手指集団にぎり、鉤形にぎり可能。ただし指の随意伸展不能。(反射的には可能かもしれない)</p> <p>stage 4 : 横つまみ可能。母指外転によるつまみ開きが可能。半ば随意的な手指進展可能。ただし不十分。</p> <p>stage 5 : 先端つまみ可能、円柱にぎり、球形にぎり可能だが、下手で実用性が少ない。随意的な手指伸展はかなり可能。</p> <p>stage 6 : すべてのにぎり、つまみが可能。巧緻性向上し随意的な手指伸展完全に可能。個別の手指運動ができるが、反射が側よりわずかに劣る。</p>
--

1 ~ 6 までの 6 段階で麻痺を評価し、数字が小さい方が重度麻痺である



図 5 VAS

10cm のラインに左側に動かしにくい、右側に動かしやすいとし、被験者に手の動かしやすさを主観的にチェックしてもらった。左側の動かしにくいを 0cm とし、チェックまでの距離を測



定する。数字の大きい方が動かしやすいと判定する。

表 5 modified Ashworth scale (MAS)

0：筋緊張の亢進はない。
1：軽度の筋緊張亢進がある。 引っ掛かりとその消失、または屈曲・伸展の最終域でわずかな抵抗がある。
1+：軽度の筋緊張亢進がある。 明らかな引っ掛かりがあり、それに続くわずかな抵抗を可動域の 1/2 以下で認める。
2：よりはっきりとした筋緊張亢進を全可動域で認める。しかし、運動は容易に可能。
3：かなりの筋緊張亢進がある。他動運動は困難。
4：患部は硬直し、屈曲・伸展は困難。

数字が大きい方が痙縮が強いと判定する

研究 1 と同様にイメージ課題直後に、イメージ想起能力の鮮明度評価として Hall ら<sup>18,19)</sup>が作成した Movement Imagery Questionnaire-revised(MIQ-R)を用いて、評価スケールである Kinesthetic Imagery Scale の 7 件法 (図 2) で測定した。

なお、MI 課題中は、手指を動かす事を禁止して力を入れないように口頭で指示し、開始時に力が入っていないことを筋電計の波形で確認してから測定を行った。

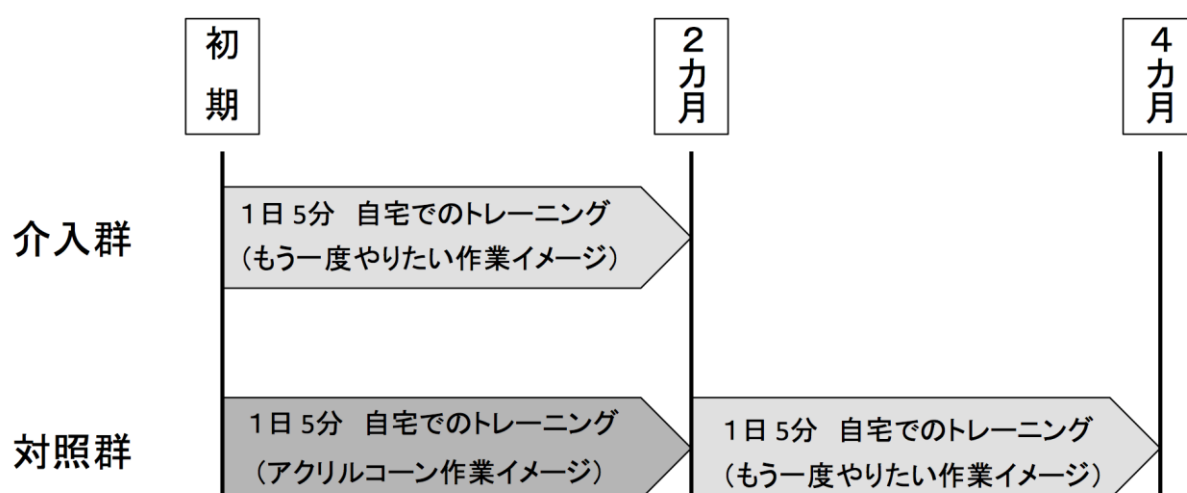


図 6 介入の流れ

### 3. 分析方法

イメージ能力（心的イメージ回転統御能力）評価である，手のメンタルローテーション課題は，左右の反応時間，左右の正解率をそれぞれ対応のある t 検定（paired t-test）を行った．イメージ課題後に行ったイメージ想起能力の 7 件法評価は Wilcoxon 検定を行った．

安静時 F/M 振幅比，イメージ課題時 F/M 振幅比，VAS，握力は t 検定（paired t-test）を行って比較し，Brs と MAS は Wilcoxon 検定にて比較を行った．解析は SPSS Statistics21.0 を用いて有意水準を 5%未満とした．

### 4. 倫理的配慮

研究への参加は自由意志でありなんら強制されないこと，参加に同意しない場合でも，不利益をこうむることは一切ないことを約束する．また，研究のいかなる段階でも，被験者の自由意志にもとづき，研究を中止したり，同意を撤回できたりすることを文書で周知する．

研究で使用する筋電図検査は F 波導出時に手首の神経に電気刺激を与えて記録を行う．F 波は臨床検査として一般的なものであり危険性は極めて低いものであるが強い痛みを自覚することがあるため，不快感を訴えられた場合はすぐに中止し研究機関の長及び研究倫理委員会にすみやかに報告することとした．

この研究で得られたデータは，本研究の目的以外で使用することはない．研究に関する資料は，研究責任者以外の目に触れることがないように，厳重に管理・保管し，本研究終了後に削除・破棄する．

なお，本研究は筆者の所属する平成医療短期大学の倫理審査（第 H28-32），ならびに井原市立井原市民病院の倫理審査（第 4 号）で承認されている．

## 第 3 節 結果

介入群 14 名中の 2 名と，対照群 5 名中の 1 名は安静時 F/M 比が基準値の 5%を超えていたため，除外した介入群 12 名（発症からの平均期間  $1436 \pm 954$  日）と対照群 4 名（発症からの平均期間  $1182 \pm 930$  日）を分析対象とした．除外した 3 名は

症例数が少ないため個別に検討した。

初めに行ったイメージ能力（心的イメージ回転統御能力）評価の平均値の結果を以下（表 6,7）に示す。

表 6 イメージ能力（メンタルローテーション課題）正解率

		初期	2 カ月	4 カ月
		平均値（%）± 標準偏差		
介入群 (n=12)	麻痺側	80.833±16.765	85.834±9.003	-
	非麻痺側	79.167±14.434	83.334±14.975	-
対照群 (n=4)	麻痺側	75.000±17.321	80.000±14.142	85.000±5.774
	非麻痺側	82.500±5.000	87.500±9.574	87.500±9.574

表 7 イメージ能力（メンタルローテーション課題）回答時間

		初期	2 カ月	4 カ月
		平均値（秒）± 標準偏差		
介入群 (n=12)	麻痺側	2.775±0.6137	2.567±0.976	-
	非麻痺側	2.525±0.9583	2.3917±0.624	-
対照群 (n=4)	麻痺側	3.075±0.776	2.950±0.100	2.525±0.457
	非麻痺側	3.050±0.719	2.900±0.141	2.450±0.370

正解率,回答時間ともに,麻痺側と非麻痺側との統計学的な差はみられなかった。

イメージ課題後に行ったイメージ想起能力の 7 件法評価の結果を以下（表 8）に示す。

表 8 イメージ想起能力の 7 件法評価イメージ能力

	初期	2 カ月	4 カ月
	中央値 ± 四分位範囲		
介入群 (n=12)	3 (3-5)	4 (3-4.75)	-
対照群 (n=4)	2 (2-3)	3 (3-5.25)	4 (3.25-5.5)

介入群で初期と 2 カ月後を比較した結果、統計的な差はみられなかった。また、対照群で初期と 2 カ月、2 ヶ月と 4 カ月をそれぞれ比較した結果、統計的な差はみられなかった。

安静時の F/M 振幅比とイメージ課題時の F/M 振幅比の結果を以下（表 9,10）に示す。

表 9 介入群の F/M 振幅比

介入群	F/M 振幅比 ± 標準偏差	
初期	安静時	2.6149 ± 1.32345
	イメージ時	2.9854 ± 0.86747
2 ヶ月後	安静時	2.3322 ± 1.64608
	イメージ時	3.2495 ± 1.25372

N.S

\*\*

paired t-test \*\*:  $p < 0.01$

介入群では、初期評価時はイメージをしても脊髄の興奮は見られないが、もう一度やりたい作業イメージを自宅で 2 ヶ月行った後の評価では、安静時に比べイメージをすると有意に脊髄の興奮が増加した。

表 10 対照群の F/M 振幅比

対象群		F/M 振幅比 ± 標準偏差	
初期	安静時	2.1008 ± 1.29530	} N. S
	イメージ時	2.5543 ± 1.11048	
2ヶ月後	安静時	1.9505 ± 1.04381	} N. S
	イメージ時	2.3879 ± 0.82585	
4ヶ月後	安静時	1.4790 ± 0.49183	} **
	イメージ時	2.7733 ± 0.51826	

paired t-test \*\*:  $p < 0.01$

対照群では、初期評価時はイメージをしても脊髓の興奮は見られず、またアクリルコーンの把持イメージを自宅で2カ月行っても、安静時とイメージ時で脊髓の興奮は増加しないが、その後さらに2カ月間、もう一度やりたい作業イメージを1日5分行ったら、安静時と比べ有意に脊髓の興奮が増加した。

安静時の F/M 振幅比は、初期・2カ月後・4カ月後の数値がそれぞれ低下しているが、統計的な差は認めなかった。

VAS の結果を以下に示す (表 11)。

表 11 介入群と対照群の VAS の結果

		平均 (cm) ± 標準偏差	
介入群	初期	2.5083 ± 1.98424	} **
	2ヶ月後	4.2167 ± 1.85170	
対照群	初期	2.7500 ± 2.32737	} N. S
	2ヶ月後	3.2750 ± 2.12191	
	4ヶ月後	4.3250 ± 1.72892	

paired t-test \*\*:  $p < 0.01$  \*:  $p < 0.05$

介入群では，初期評価時と2ヶ月後で比較して手の自覚的動かしやすさが有意に増加した．対照群では初期評価時と2ヶ月後で比較して動かしやすさに変化はないが，もう一度やりたい作業イメージを自宅で2ヶ月行った後の4ヶ月後評価では，2カ月前と比較して動かしやすさが向上した．

握力の結果を以下に示す（表12）．

表12 介入群と対照群の握力の結果

		平均 (Kg) ±標準偏差	
介入群	初期	5.4750±6.28622	] N.S
	2カ月後	7.1667±7.43839	
対照群	初期	6.0000±8.16497	] N.S
	2カ月後	7.0000±7.39369	
	4カ月後	6.7500±9.60469	] N.S

握力は，介入群・対照群ともに変化はみられなかった．

次に Brs と MAS の結果を以下に示す（表 13）。

表 13 介入群と対照群の Brs と MAS の結果

		介入群	対照群
		中央値（四分位範囲）	
Brs： 上肢	初期	4 (3-4)	3.5 (3-4.75)
	2 カ月後	4 (3-4)	3.5 (3-4.75)
	4 カ月後	-	3.5 (3-4.75)
Brs： 手指	初期	3 (2.25-4)	3.5 (2.25-4)
	2 カ月後	3 (2.25-4)	3.5 (2.25-4)
	4 カ月後	-	3.5 (2.25-4)
MAS： 肩	初期	1 (0.25-2)	1.5 (0.25-2.75)
	2 カ月後	1 (0-2)	1.5 (0.25-2.75)
	4 カ月後	-	1.5 (0.25-2.75)
MAS： 肘	初期	1 (1-2)	1 (0.25-1.75)
	2 カ月後	1 (0-1.75)	1 (0.25-1.75)
	4 カ月後	-	1 (0.25-1.75)
MAS： 指	初期	1 (0-2)	1 (0.25-1.75)
	2 カ月後	1 (0-1)	1 (0.25-1.75)
	4 カ月後	-	1 (0.25-1)

介入群，対照群ともに初期，2 ヶ月後，4 カ月後の変化は Brs，MAS 共にみられなかった。

次に，安静時 F/M 振幅比が 5%を超えており除外した 3 名の結果を以下（表 14）に示す．なお，2 名は介入群で，1 名は対照群である．

表 14 安静時 F/M 振幅比が 5%を超えている 3 名のデータ

介入群：52 歳女性 2294 日経過 イメージ課題：洗濯物干し（ピンチ動作）

	安静時 F/M振幅 比	イメージ時 F/M振幅 比	変化量	握力 (Kg)	VAS (cm)	Brs 上肢	Brs 手指	MAS 肩	MAS 肘	MAS 指	イメージ能力				イメー ジ想起 能力
											麻痺 側 (秒)	非麻 痺側 (秒)	麻痺 側 (%)	非麻 痺側 (%)	
初期	6.6331	8.7221	+2.089	14	0.7	3	3	1	2	3	1.5	2.8	80	80	1
2ヶ月後	5.7142	5.7951	+0.0809	14	2.2	4	3	0	1	3	1.5	1.6	80	100	2

介入群：55 歳女性 2287 日経過 イメージ課題：孫の頭を撫でる

	安静時 F/M振幅 比	イメージ時 F/M振幅 比	変化量	握力 (Kg)	VAS (cm)	Brs 上肢	Brs 手指	MAS 肩	MAS 肘	MAS 指	イメージ能力				イメー ジ想起 能力
											麻痺 側 (秒)	非麻 痺側 (秒)	麻痺 側 (%)	非麻 痺側 (%)	
初期	6.6501	7.3200	+0.6699	0	0.7	3	1	1	2	3	1.6	1.9	60	70	4
2ヶ月後	6.6403	6.0112	-0.6291	0	1.5	3	1	0	2	3	2	1.5	80	100	5

対照群：51 歳女性 2206 日経過 イメージ課題：包丁操作

	安静時 F/M振幅 比	イメージ時 F/M振幅 比	変化量	握力 (Kg)	VAS (cm)	Brs 上肢	Brs 手指	MAS 肩	MAS 肘	MAS 指	イメージ能力				イメー ジ想起 能力
											麻痺 側 (秒)	非麻 痺側 (秒)	麻痺 側 (%)	非麻 痺側 (%)	
初期	6.8701	12.1653	+5.2952	0	0	3	3	1	2	3	1.2	1.6	60	70	2
2ヶ月後	6.6419	7.2083	+0.5664	0	0.2	3	3	1	2	3	1.4	2.2	60	70	5
4ヶ月後	6.6323	6.1171	-0.5152	0	0.7	3	3	1	2	3	2.2	1.4	80	100	2

除外した介入群の 2 名は初期評価時のイメージにより更に F/M 振幅比は増大したが，2 ヶ月間，自宅にてもう一度やりたい作業イメージを 1 日 5 分行った後の評価では，1 名は F/M 振幅比が安静時と比べ低下，もう 1 例はわずかながら増大する結果となった．自覚的な動かしやすさの評価である VAS では 2 名共に動かしやすくなったと回答した．握力に変化はみられないが，Brs と MAS にわずかながら改善をみとめた．

対照群の除外した 1 名は初期・2 ヶ月後ともにアクリルコーンの把持イメージに



より更に F/M 比は増大したものの、その後もう一度やりたい活動イメージを 2 ヶ月行うことで、安静時に比べイメージによって F/M 振幅比は低下した。また介入群と同様に VAS も向上がみられたが、Brs と MAS に変化はみとめなかった。

#### 第 4 節 考察

健常者の F 波振幅は、同じ筋から導出された M 波の最大振幅の 5%未満であると報告<sup>56)</sup>されている。先行研究では脳卒中片麻痺患者の安静時の F 波の特性を上肢 Brs と F 波成績との関係を調べ、Brs3・4 群は他の 1・2 群、5・6 群と比較して出現頻度、振幅比で増大と立ち上がり潜時の短縮を認めたと報告<sup>57)</sup>されており、また 1・2 群と 5・6 群とを比較すると出現頻度、振幅比は 1・2 群でより低値を示したとしている。なお平均振幅比は 1・2 群で  $2.82\% \pm 1.12$ , 3・4 群は  $4.76\% \pm 1.58$ , 5・6 群は  $3.25\% \pm 1.33$  であった。鈴木ら<sup>58)</sup>は痙縮を認める患者では振幅 F/M 比は 5%以上、時には 10%以上となることもあると述べている。

本研究の対象者は安静時で 6%を超える者が介入群 2 名、対照群 1 名にみられた。3 名の Brs は上肢 3 (3 名)、手指は 3 (2 名) と 1 (1 名) であり、MAS は 3 名とも手指が 3 という痙縮の高い症例であった。この 3 名は基準値の 5%を超えるため、3 名を除いた被験者を統計分析し、3 名は個別に考察する。

まず初めに行った個人のイメージ能力(心的イメージ回転統御能力)を測定するメンタルローテーション課題の結果では正解率、回答時間ともに、麻痺側と非麻痺側との比較において統計学的な差はみられなかった。この検査は通常正解率が 80%以上、回答時間は  $2 \pm 0.5$  秒が正常とされている。今回の結果ではわずかながら正解率が正常域よりも低下(初期:介入群で非麻痺側、対照群で麻痺側が 80%を下回る)していたものの 2 カ月後は両群ともに 80%以上であった。回答時間はすべて平均時間が正常域の 2.5 秒を上回った。このメンタルローテーション課題は運動イメージ想起の統御可能性、すなわち課題についてのイメージをいかに操作変換できるかの能力を測定するものであることから、今回の被験者は必ずしもイメージ能力が高いとは言えない対象者であることが判明した。

F/M 振幅比の結果から、介入群ではもう一度やりたい作業イメージ訓練を 2 カ月行う事によって有意に脊髄の興奮が増加した。対照群では、アクリルコーンの把持

イメージ，すなわちその動作に意味の持たない単純動作を2ヶ月行っても脊髄の興奮性変化はみられなかった．対照群に対してはその後もう一度やりたい作業イメージに切り替えて更に2ヶ月間自宅でのイメージトレーニングを行った結果では有意に脊髄の興奮性変化を認めた．なお興奮の程度は基準値の5%以内であった．これは対照群の安静時 F/M 振幅比 2.1008%に対して，2ヶ月後 1.9505%，4ヶ月後 1.4790%と安静時の F/M 振幅比は徐々に低下しており，トレーニング効果による抑制系が賦活され低下したとも考えられる．しかし今回はn数が少なく検出できる差は認められなかった．4ヶ月後のやりたい作業イメージ時の F/M 振幅比は逆に増加したことで低下している安静時と比較して統計学的な差が検出できたとも考えられる．

これらの結果によりイメージする内容はどんなイメージ内容でも良いわけではなく，個人によってカスタマイズすべきであり，対象者がもう一度やりたい作業イメージは，PETTLEP モデルでいう「emotion：情動」に働きかけ，よりイメージ効果が高まり脊髄前角細胞の興奮が得られたと考えた．

脊髄前角細胞の興奮にあわせて VAS の結果からも同様に，もう一度やりたい作業イメージによって自覚的に動かしやすくなったことが判明した．しかしながら Brs や MAS，握力などでは統計学的な差はみられなかった．発症から長期間経過していても，イメージ訓練によって客観的な麻痺の改善はみられないが，主観的な動かしやすさは改善する一定の効果がある事が明らかとなった．

除外した介入群2名に関しては，52歳女性は初期評価時，安静時 F/M 振幅比 6.63%，イメージにて 8.72%と増加した．55歳女性も安静時 F/M 振幅比 6.65%であり，イメージにて 7.32%と増加した．F波振幅は痙縮の程度を意味するものであると言われており，イメージによって更に脊髄前角細胞が過興奮したといえる．しかしその後2ヶ月間の「もう一度やりたいイメージ訓練」によってイメージ時の F/M 振幅比は52歳女性では安静時からわずかな増加に留まり，55歳女性は低下した．2名とも VAS の結果から動かしやすさの改善がみられ，肩の MAS も改善した．内1名は肩の Brs が 3 → 4 に改善し，またイメージ能力も改善がみられた．

対照群の1名は，初期評価時に安静時よりもイメージ時に F/M 振幅比が 12.1653%と大幅に増大(変化量 5.2952)し，2ヶ月間のイメージ訓練(アクリルコーン把持イメージ)後は，安静時と比較してイメージ時は増大したものの変化量は 0.5664 と初

期時よりは変化量が少なかった。その後更に2カ月間行ったもう一度やりたい作業イメージ（包丁操作イメージ）でF/M振幅比が安静時の6.6323%に対して、イメージすることによって6.1171%に低下し、さらにVASにて自覚的動かしやすさも改善がみられた。

除外した3名の結果から、脊髓前角細胞の興奮が高い者に対しては、もう一度やりたい作業イメージによって興奮を抑制できる可能性が示唆された。この作用機序は今後、脳イメージング装置などで更に検討が必要であるが、イメージ訓練によってイメージの運動学習が進み、脳の皮質自体の発火が減少することで過興奮状態が抑制されたのか、皮質内抑制機構が働いた可能性もあり、また脊髓レベルではイメージによってIb抑制や相反抑制が亢進し、伸張反射の過剰反応を抑制したのではないかと推察できる。

以上のことから、慢性期脳卒中患者に対するMIは脊髓前角細胞を興奮させ、もう一度やりたい作業イメージの方が効果的で、自覚的な動かしやすさも改善する事が示唆され、逆に安静時に脊髓前角細胞の興奮が高い痙性麻痺の症例に対しては、イメージすることで低下し、動かしやすさが改善した。今回は効果の検証として慢性期の脳卒中患者を対象としたが、急性期の方がより改善が見込めると考えている。deVriesら<sup>59)</sup>の報告では、MI能力はリハビリテーションによって脳卒中後の最初の数週間で回復してくるが、MI練習の開始の遅れは、MIの回復そのものの遅れにつながると結論にており早期からのMI練習が重要であることを述べている。また、Swayneら<sup>60)</sup>によると急性期の回復メカニズムは残存している皮質脊髓路に依存しており、リハビリによって残存している皮質脊髓路を刺激し、その興奮性を高めることにより麻痺の回復を促進する。そしてその興奮性は、急性期から急速に減退して3ヶ月までには消失する。皮質脊髓神経線維に生じるワーラー変性の急性期からの進行などがその減衰に関与していると述べている。これらのことから発症後の早い時期から効果的に残存皮質脊髓路を刺激するリハビリに対してMI訓練も一つの有効な訓練になり得ると考えている。

本研究で得られた知見は今後リハビリテーションにおいてイメージ介入訓練の一助となると考えられる。

## 第 5 節 限界と課題

本研究での効果は、やりたい作業イメージ訓練の効果であるのか、やりたい作業であったため、被験者も積極的にイメージ訓練が出来たことによる学習効果なのかは明らかではない。しかしながら自覚的動かしやすさが改善したことは明白である。

脊髄前角細胞の過興奮状態の症例に対して、イメージ訓練によって興奮が抑制されるメカニズムは、どの程度皮質内抑制機構などが働いたのかは不明である。

今回、対照群の症例数が少ないため、実際には有意差があるのに有意差なしとってしまう第 2 種の誤り (Type II error) が考えられ、作業自体に意味の持たない単純作業であるアクリルコーン把持イメージでも症例数を増やせば差が出る可能性がある。しかし、4 カ月後のもう一度やりたい作業イメージでは差がみられる事から、イメージ効果はやりたい作業イメージの方が、効果が高いと考えられた。

F 波の測定方法に関しては、肘関節と手関節、手指を動かさないよう装具にて固定を行い、更に F 波導出時に口頭で随意的な筋収縮を行わないよう説明し、検者が目視にて事前の波形の確認、ならびに出現頻度を分析項目に含めないなどの工夫は行なったが限界がある。また短母指外転筋を対象とした検査であり筋電図測定時に母指以外の示指から小指に筋収縮が生じたとしてもそれが関連するのかどうかは明らかでない。

## 終章

### 第 1 節 結語（総合）

本研究は MI 方法が脊髄前角細胞の興奮に及ぼす影響と慢性期片麻痺患者への介入効果の検討を行った。

まずは脊髄前角細胞を効率的に興奮させる方法として、運動をイメージする際の被験者自身の手の肢位での違いを検討した。その結果、回外位でボールを把持するイメージするよりも母指を対立位とした機能的な肢位でボールを把持するイメージの方が脊髄前角細胞の興奮が得られることが判明した。さらにイメージをする際は、ただ単にイメージするのではなく、把持する物の質感を知覚しながらイメージする事が重要であり、それは過去の経験に基づいて把持する物を選択する必要があることが判明した。リハビリテーション場面において対象となる高齢者の場合、箸や書字道具の使用経験時間はアスリートらの運動用具使用時間を凌駕することから、リハビリテーションに MI 訓練を行う際に、これらを想起する動作に関連した用具と接触することは、その介入効果を高める可能性がある。一方で利き手が弛緩性の片麻痺患者や、痙縮の強い片麻痺患者はその物品が握れない場合があったり、感覚障害がある場合、またはイメージする物品しだいでは実際に把持する事が困難である。たとえば包丁操作などは危険が伴う事もあり、このような場合は手からの触圧覚入力は困難である。しかしながら、先行研究と同様に第 1～3 研究ともに運動をイメージするだけで脊髄前角細胞の興奮が可能であるため、これらの問題がある患者に対しては MI を促すだけでも介入効果が期待出来ると考えられたことから、第 4 研究にて慢性期の脳卒中患者に対して介入効果の検証を行った。イメージ内容は面接にて重要度が高く、もう一度やりたい活動を抽出し、その活動イメージを 2 ヶ月間、自宅でイメージトレーニングを行った。その結果、脊髄前角細胞の興奮増大が確認でき、麻痺自体の改善は無いものの自覚的な動かしやすさの改善がみられた。安静時より痙縮が強く F/M 振幅比が基準値の 5% を超える高い者は、イメージ介入に伴い逆に脊髄前角細胞の興奮は低下し、動かしやすさの改善がみられた。脊髄前角細胞はイメージにより興奮するが、過剰興奮状態にある場合は逆に抑制され低下することで動きの改善に繋がった。ただし、イメージ内容次第では逆に痙性を高め過剰に脊髄前角細胞を興奮させてしまう恐れがあるため、リハビリテーション場面にお

いて、対象者となる患者からの面接を通して課題内容を決める必要性和重要性が示唆された。

脳卒中患者の回復過程において、新しい身体を学習するにあたり多数の脳領域が活性化し、過剰な筋収縮を要求することは異常な病理を学習することに繋がりにかぬないため、筋収縮に先行する運動イメージ訓練は異常な病理を抑制していく可能性が考えられる。また、運動イメージ単体でのパフォーマンス改善効果は、身体練習よりも低い<sup>61)</sup>とされていることから、単独で用いる場合は運動ができない環境、状況下における代替的手法と位置づけ、通常リハビリテーション場面においては身体練習と組み合わせて運動イメージ訓練を行うことが最良と考える。本研究は手指のMIを中心に行ったが下肢の応用に関しては、個人がもつポジティブな感情を引き起こすような課題内容の工夫が必要になるとと思われる。

今研究にて得られた運動イメージ訓練の手法や方法論の知見はリハビリテーションにおけるイメージ介入訓練に貢献できると考えられる。

## 謝辞

本稿を終えるにあたり，研究活動及び論文作成にあたり，多大な御指導，御校閲を賜りました指導教員である吉備国際大学大学院保健科学研究科，中角祐治教授に心から感謝の意を表します．また，本研究に協力してくださった平成医療短期大学，朝日大学，博愛会病院，井原市民病院のスタッフに感謝の意を表します．

## 文献

- 1) 労働厚生省 平成 27 年度医療費の動向  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/medias/year/15/index.html>(2017 年 1 月 3 日アクセス)
- 2) Kawahira K, Shimodozono M, Etoh S, Kamada K, Noma T, Tanaka N (2010) Effects of intensive repetition of a new facilitation technique on motor functional recovery of the hemiplegic upper limb and hand. *Brain Inj* 24: 1202-1213
- 3) Wu CY, Chen CL, Tasai WC, Lin KC, Chou SH (2007) A randomized controlled trial of modified constraint-induced movement therapy for elderly stroke survivors: changes in motor impairment, daily functioning, and quality of life. *Arch Phys Med Rehabil* 88: 273-278
- 4) 平上尚吾, 井上優, 佐藤ゆかり, 原田和宏, 香川幸次郎 (2012) 脳卒中片麻痺患者の手指運動機能障害に対するミラーセラピーの効果. *理学療法学* 39: 330-337
- 5) Jeannerod M (2001) Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 14: 103-109
- 6) 信迫悟志 (2015): 運動イメージの神経科学的背景の理解. *理学療法* 32: 789-795
- 7) Wolbers T, Weiller C, Buchel C (2003) Contralateral coding of imagined body parts in the superior parietal lobe. *Ereb Cortex* 13: 392-399
- 8) Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC (2006) Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke* 37: 1941-1952
- 9) Munzert J, Lorey B, Zentgraf K (2009) Cognitive motor processes, the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res Rev* 60: 306-326
- 10) Gazzaniga MS (2002) *Cognitive Neuroscience*
- 11) Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards C, Doyon J (2001) Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 1133-1141
- 12) Suzuki T, Bunno Y, Onigata C, Tani M, Uragami S (2013) Excitability of



- spinal neural function during several motor imagery tasks involving isometric opponens pollicis activity. *NeuroRehabilitation* 33: 171–176
- 13) Luft AR, Skalej M, Stefanou A, Llose U (1998) Comparing motion- and imagery-related activation in the human cerebellum: a functional MRI study. *Hum Brain Mapp* 6: 105–113
- 14) Lotze M, Montoya P, Erb M, Hulsmann E, Flor H (1999) Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *J Cogn Neurosci* 11: 491–501
- 15) Mesrati F, Vecchierini MF (2004) F-waves neurophysiology and clinical value. *Neurophysiol Clin* 34: 217-243
- 16) 中角祐治, 間平祥古, 加藤将輝 (2013) 拇指対立筋を支配する脊髄前角細胞は手が機能的肢位にある時に興奮性を増す. *吉備国際大学研究紀要* 23: 19-23
- 17) 木村淳(2010) 神経伝導検査と筋電図を学ぶ人のために. 医学書院. 東京 pp90-98
- 18) Hall CR, Pongrac J, Buckholz E (1985) The measurement of imagery ability. *Hum Mov Sci* 4: 107-118
- 19) Hall CR, Martin KA (1997) Measuring movement imagery abilities-A Revision of the Movement Imagery questionnaire. *J mental Imagery* 21: 143-154
- 20) Nakazumi Y, Watanabe Y (1992) F-wave elicited during voluntary contraction as a monitor of upper motor neuron disorder. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 32: 631-635
- 21) 鈴木俊明, 文野住文, 鬼形周恵子, 谷万喜子 (2013) 運動イメージと脊髄神経機能. *関西理学* 13: 1-9
- 22) Suzuki T, Fujiwara T, Takeda I (1993) Excitability of the spinal motor neuron pool and F-waves during isometric ipsilateral and contraction. *Physiother Theory Pract* 9: 19-24
- 23) Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC (2006) Motor imagery-a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke* 37: 1941-1952
- 24) 道免和久, 吉田直樹 (2002) 運動学習にかかわる小脳の働き. *体育の科学* 52 :

949-955

- 25) Rossini PM, Rossi S, Pasqualetti P, Tecchio F (1999) Corticospinal excitability modulation to hand muscled during movement imagery. *Cerebral Cortex* 9: 161-167
- 26) 前田剛伸, 嘉戸直樹, 鈴木俊明 (2013) 単純な手指の対立運動の運動イメージが上肢脊髄神経機能の興奮性に及ぼす影響について. *理学療法学* 28: 303-306
- 27) 文野住文, 鬼形周恵子, 鈴木俊明 (2012) 等尺性収縮を用いた母指対立運動の運動イメージ収縮強度が脊髄神経機能の興奮性に与える影響. *理学療法科学* 27: 335-339
- 28) 文野住文, 鈴木俊明 (2012) 等尺性収縮を用いた母指対立運動の運動イメージが脊髄神経機能の興奮性に与える影響-30%と 50%収縮強度運動イメージの効果比較. *理学療法科学* 27: 711-715
- 29) 鈴木俊明, 谷埜予士次, 米田浩久, 高崎恭輔, 鬼形周恵子, 塩見紀子, 谷万喜子 (2008) 等尺性収縮を用いた母指対立運動の運動イメージの効果には性差があるか—F波を用いた検討—. *関西医療大学紀要* 2: 26-31
- 30) 鈴木俊明, 谷埜予士次, 米田浩久, 高崎恭輔, 鬼形周恵子, 谷万喜子他 (2011) 等尺性収縮を用いた母指対立運動の運動イメージ方法の違いが脊髄神経機能に与える影響-視覚の有無の関連性-. *脊髄機能診断学* 33: 75-79
- 31) 鈴木俊明, 谷埜予士次, 米田浩久 (2009) 母指対立運動の運動イメージ方法の違いによる脊髄神経機能の興奮性の変化—F波による検討—. *脊髄機能診断学* 31: 60-64
- 32) Holmes PS, Colins DJ (2001) The PETTLEP Approach to Motor Imagery: A Functional Equivalence Model for Sport Psychologists. *J App Sport Psychol* 6: 60-83
- 33) 小松英彦 (2015) 質感がなぜ重要か 質感認知研究の発展. *BRAIN and NERVE* 67: 663-668
- 34) Suzuki T, Bunno Y, Onigata C, Tani M, Uragami S (2013) Excitability of spinal neural function during several motor imagery tasks involving isometric opponens pollicis activity. *NeuroRehabilitation* 33: 171-176
- 35) Cant JS, Goodale MA (2007) ATTention to form or surface properties

- modulates different regions of human occipitotemporal cortex. *Cereb Cortex* 17: 713-731
- 36) Cant JS, Arnott SR, Goodale MA (2009) fMR-adaptation reveals separate processing regions for the perception of form and texture in the human ventral stream. *Exp Brain Res* 192: 391-405
- 37) 上橋秀崇, 中条一茂, 大重匡, 土屋政寛 (2011) 知覚情報をイメージすることによる手指屈曲時の脳の変化-f-MRI を用いての比較・検討-. 第 46 回日本理学療法学会大会抄録集 38
- 38) Klatzky RL, Peck J (2012) Please touch : Object properties that invite touch. *IEEE Trans Haptics* 5: 139-147
- 39) Wang Z, Wang S, Shi FY, Guan Y, Wu Y, Zhang L, Shen C, Zeng Y, Wang D, Zhang J (2014) The effect of motor imagery with specific implement in expert badminton player. *Neuroscience* 275: 102-112
- 40) 労働厚生省 平成 26 年患者調査の概況  
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/14/dl/05.pdf> (2017 年 11 月 22 日アクセス)
- 41) Nair KP, Marsden J (2014) The management of spasticity in adults. *BMJ*, 349
- 42) 鈴木俊明, 才藤栄一 (2000) 誘発筋電図検査 (F 波, H 波) の検査方法に関するガイドライン-国際臨床生理学会の報告から-. *理学療法科学* 15: 187-192
- 43) Tsai KH, Yeh CY, Chang HY, Chen JJ (2001) Effects of a single session of prolonged muscle stretch on spastic muscle of stroke patients. *Proc Natl Sci Counc Repub China B* 25: 76-81
- 44) Kagawa S, Koyama T, Hosomi M, Takebayashi T, Hanada K, Hanada K, Hashimoto F, Domen K (2013) Effects of constraint-induced movement therapy on spasticity in patients with hemiparesis after stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 22: 364-370
- 45) Kondo T, Kakuda W, Yamada N, Simizu M, Abo M (2014) Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation and intensive occupational therapy on motor neuron excitability in poststroke hemiparetic patients: A

- neurophysiological investigation using F-wave parameters. *International Journal of Neuroscience* 125: 25-31
- 46) Jo HM, Song JC, Jang SH (2013) Improvements in spasticity and motor function using a static stretching device for people with chronic hemiparesis following stroke. *NeuroRehabilitation* 32: 369-375
- 47) Kim EH, Jang MC, Seo JP, Jang SH, Song JC, Jo HM (2013) The effect of a hand-stretching device during the management of spasticity in chronic hemiparetic stroke patients. *Ann Rehabil Med* 37: 235-240
- 48) Baker K, Cassidy E, Rone-Adams S (2007) Therapeutic standing for people with multiple sclerosis-efficacy and feasibility. *Int J Ther Rehabil* 14: 104-109
- 49) 奥山聡, 占部貴大, 田中美穂, 趙源一, 黒田麻子, 香川真二 (2012) 運動イメージ想起が痙縮抑制に及ぼす影響. *理学療法兵庫* 17: 32-36
- 50) 松本卓也, 桐本光, 吉田翔太, 鈴木誠, 大山峰生 (2014) 課題指向型手指運動課題が対側脊髄前角細胞の興奮に及ぼす影響. *作業療法* 33: 137-147
- 51) Muellbacher W, Facchini S, Boroojerdi B, Hallett M (2000) Changes in motor cortex excitability during ipsilateral hand muscle activation in humans. *Clin Neurophysiol* 111: 344-349
- 52) van den Berg FE, Swinnen SP, Wenderoth N (2011) Excitability of the motor cortex ipsilateral to the moving body side depends on spatio-temporal task complexity and hemispheric specialization. *PLoS One* 6: e17742
- 53) Shima N, Ishida K, Katayama K, Morotome Y, Sato Y, Miyamura M (2002) Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol* 86: 287-294
- 54) Camus M, Ragert P, Vandermeeren Y, Cohen LG (2009) Mechanisms controlling motor output to a transfer hand after learning a sequential pinch force skill with the opposite hand. *Clin Neurophysiol* 120: 1859-1865
- 55) Naseri M, Petramfar P, Ashraf A (2015) Effect of Motor Imagery on the F-Wave Parameters in Hemiparetic Stroke Survivors. *Ann Rehabil Med* 39: 401-408

- 56) Fisher MA (1998) F-wave studies. Clinical utility. *Muscle Nerve* 27: 1098-1101
- 57) 鈴木俊明, 藤原哲司, 武田功 (1993) 脳卒中片麻痺患者の安静時 F 波の特性. *理学療法ジャーナル* 27: 277-281
- 58) 鈴木俊明, 才藤栄一, 藤原哲司 (2004) 反射運動の筋電図学的評価-F 波・T 波. *理学療法* 21: 1381-1391
- 59) de Vries S, Tepper M, Otten B, Mulder T (2011) Recovery of motor imagery ability in stroke patients. *Rehabil Res Pract*: 283840
- 60) Swayne OB, Rothwell JC, Ward NS, Greenwood RJ (2008) Stages of motor output reorganization after hemispheric stroke suggested by longitudinal studies of cortical physiology. *Cereb Cortex* 18: 1909-1922
- 61) 杉原隆 (2008) 運動指導の心理学. 新版. 大修館書店