

機関番号：16401

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ~ 2010

課題番号：20591745

研究課題名 (和文) 映像によるイメージトレーニングが脳皮質及び脊髄前角細胞興奮性に及ぼす効果

研究課題名 (英文) An effect of video-assisted motor imagery on the excitability of cerebral cortex and spinal anterior horn cells

研究代表者

谷口 慎一郎 (TANIGUCHI SHINICHIROU)

高知大学・教育研究部医療学系・講師

研究者番号：00304676

研究成果の概要 (和文) : 脊髄前角細胞・興奮性低下に対する運動イメージの抑制効果における運動イメージ想起時のビデオ映像併用の有効性を検討するために本研究を行った。また、意図的筋安静後の脳皮質の興奮性を fMRI で検討した。その結果、意図的安静により F 波の出現率および振幅は低下し、ビデオ映像を併用するか否かに関わらず安静中に運動イメージを想起させると F 波出現率、振幅の低下が抑制された。また、運動イメージを想起させながら記録した F 波は、安静中にビデオ映像を併用して運動イメージを想起させた場合のみ F 波の出現率および振幅の減少が抑制された。fMRI では意図的安静により脳皮質活動性は低下したのに対し、安静中に運動イメージを想起させるとビデオ映像の併用に関わらず脳皮質活動性の低下は抑制されていた。本研究の結果より、運動イメージ想起時のビデオ映像の併用は脊髄運動ニューロンの活動準備状態を維持する効果があることを示唆するものと推察された。

研究成果の概要 (英文) : We studied an effect of video-assisted motor imagery on both cortical activities and spinal motor neuron excitabilities after the volitional relaxation of hand muscles using fMRI and F wave. Motor imagery suppressed the rest-induced reduction of spinal motoneuron excitabilities regardless of using video (visual-image) assistance. When F waves were recorded during motor imagery, the suppressive effect on rest-induced reduction of F-wave parameters were observed only after using video-assisted motor imagery. Cortical activities showed a reduction after volitional relaxation and motor imagery during volitional relaxation suppressed the reductive effect. In summary, motor imagery suppressed the rest-induced reduction in both of anterior-horn-cell and cortical excitabilities regardless of visual-image assistance. The results of this study may suggest that video-assisted motor imagery has an effect on keeping the response preparation on spinal motor neuron excitabilities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学、整形外科学

キーワード：運動器リハビリテーション学

1. 研究開始当初の背景

淵上らは健康人に対して一側母指を8から12時間持続的かつ意図的に安静にさせると運動誘発電位の振幅が低下することを報告した(脊髄電気診断学16巻、82-85、1994年)。岡田らは母指を持続的に、かつ、意識的に安静にさせると運動誘発電位の振幅が低下するとともに、F波の振幅や出現率も低下することを報告した(臨床神経生理学32巻、213-219、2004年)。これらの結果は、持続的な筋安静後には少なくとも脊髄前角細胞の興奮性が低下していることを示唆しているものと考えられる。我々は母指の意図的安静中に運動イメージ(母指を動かそうとイメージするが、筋は収縮させない)を想起させた場合、母指の意図的安静後にF波の出現率や振幅は低下せず脊髄前角細胞の興奮性は安静前のレベルで維持されていることを先行研究で示したが(Clinical Neurophysiology 2008; 119: 1346-1352, Journal of Clinical Neurophysiology 2009; 26: 358-365)、運動イメージの生成を補助するアプローチは併用していなかった。運動イメージはスポーツトレーニングやリハビリテーション医学で盛んに応用されているが、慣れていない者にとって運動イメージの生成は難しくある程度のトレーニングが必要であると一般的には考えられている。同様の実験を何度も参加し運動イメージに慣れた被験者を対象とした我々の先行研究では、母指の持続的筋安静中に運動イメージタスクを課した場合、脊髄前角細胞の興奮性は安静前と比較して統計学的に有意な差がなかったが、F波の出現率と振幅はそれぞれ86-98.4%、79.9-103.6%と運動イメージに慣れた被験者ですら必ずしも脊髄前角細胞の興奮性が100%維持出来ていなかった。

スポーツ医学において運動イメージの生成を援助する方法の1つとしてビデオ映像が併用されている。我々は、運動イメージに慣れていない被験者であっても、ビデオ映像を併用しない場合と比較してビデオ映像を併用して運動イメージタスクを課す方が脊髄前角細胞の興奮性を維持できるのではないかと考え研究を計画した。また、脳科学研究においては運動イメージの脳活動に及ぼす影響についてfMRIを用いて多くの研究が行われているが、母指の持続的な強制安静時における脳活動への影響や強制安静時に運動イメージを課した場合の脳活動への影響を調べた報告はない。

2. 研究の目的

本研究では以下の仮説を検証することを目的として実験を行った。

仮説：母指の持続的な意図的筋安静中に、運動イメージの生成を補助するアプローチ(ビデオ映像)を併用し母指を動かしている状態をイメージさせた方がそうでない場合と比較してより効率的に前角細胞の興奮性が維持できる。

3. 研究の方法

(1) 実験の流れ(図1)

安静時間は3時間とし、安静時は弾性包帯を使用して手を固定し、APBのみならず左手の運動をできる限り抑制した(意図的筋安静)。意図的筋安静中にイメージタスクを課すか否か、イメージタスク実行時に運動イメージ生成の補助するアプローチを併用するか否かで次の3種類の実験を行った(図1)。実験1(意図的筋安静)：イメージタスクは実行しない。

実験2(イメージタスク)：意図的筋安静中にAPBを動かしている状態をイメージするよう指示し、運動イメージ生成を補助するアプローチを併用するか否かで、次の実験を行った。

(実験2a) 運動イメージ生成を補助するアプローチを併用せずに運動イメージタスクを実行する。

(実験2b) APBを動かしている状態を録画したビデオを見ながら運動イメージタスクを実行する。

実験2に先立ちAPBの表面筋電図を記録し運動イメージタスクの際に筋放電が生じないことを確認しながら運動イメージタスクの練習を行った。実験2bでは実験直前に左APBを動かしているビデオを録画し、運動イメージタスク中は録画ビデオを見ながらタスクを実行させた。

(2) F波の記録と解析

F波は安静実験前(基準値)と意図的筋安静終了直後に記録した。検査は座位で行い、肢位は前腕を90度回外位、肘を90度屈曲位とし、記録および基準皿電極をAPB筋腹中央とその腱上に設置した。刺激電極は左手関節皮線より近位3cmに置き、持続時間0.1msの120%最大上刺激を1Hzで100回電気刺激しF波を記録した。基準値導出の条件を一定にするため、安静前F波記録直前に血圧測定用マンシエットを握らせ、母指と小指が対立する肢位で60-100mmHgの力で収縮運動を100回行った。F波の記録に際しては運動イメージを生成させずリラックスした状態で記録した(F波_{relax})。さらに、追加実験としてF波誘発時に運動イメージを生成させながらF波を記録した(F波_{imagery})。F波の評価項目は出現率、振幅、潜時であり安静前後の値を比較した。また、各実験間の

平均値の差を統計学的に評価するために安静実験前の値を baseline とした安静時間終了後の値の百分率(%出現率、%振幅、%潜時)を算出した。amplitude は baseline to peak で計測し、出現しなかった場合の amplitude を $0 \mu v$ として計算した。統計解析は、一元配置分散分析 (one-way ANOVA) とそれに続く Bonferroni 多重比較検定を用いて行った。

(3) 脳 fMRI

各実験条件での安静 3 時間後に fMRI を試行した。fMRI の撮像は GE 社製 SIGNA EXCITE HDx 3.0T を用い、撮像条件を blood oxygenation level dependent (BOLD), T2* weighted multislice gradient EPI sequence (TE = 35 ms, TR = 3000 ms, flip angle = 90 度, matrix size 64×64, Fov=25.6cm, slice 7mm, gap 0mm, 17 slice/scan) として全脳を撮像した。撮像時間は 210 秒間に 70 スキャンとし、運動イメージの想起をタスクとして 1 スキャン単位で行った。

統計・解析は SPM2 (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, University College London. <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) による事象関連 FMRI デザインを用いて行った。SPM2 では位置ずれ補正, SPM テンプレートへの解剖学的正規化を行い, Gaussian kernel (8mm FWHM) による平滑化を個々のデータで行い, それぞれのグループで平均したものを統計学的に有意な活動 (uncorrected threshold $p < 0.001$ for voxel level) として描出し, その脳座標を Talairach の脳座標に当てはめて, 解剖学的活動部位をみた。

4. 研究成果

(1) F 波の結果

(a) F 波の出現率、振幅、潜時の経過 (表 1、表 2)

実験 1 と 2b は 21 歳から 30 歳までの健康成人 19 人 (平均 23.2 歳、男 13 名、女 6 名) が本研究に参加した。実験 2a は 21 歳から 30 歳までの健康成人 9 人 (平均 22.4 歳、男 3 名、女 6 名) が本研究に参加した。

F 波_{relax} の出現率は、実験 1 では意図的筋安静後に有意に低下したが ($p = 0.0001$)、実験 2a、実験 2b では意図的筋安静前と安静後で有意な差はなかった ($p = 0.18$, $p = 0.68$)。振幅も同様に、実験 1 では意図的筋安静後に有意に低下したが ($p = 0.002$)、実験 2a、実験 2b では意図的筋安静前と安静後で有意な差はなかった ($p = 0.21$, $p = 0.16$)。潜時は、実験 1、実験 2a、実験 2b の全群で、意図的筋安静前と安静後で有意な差はなかった

($p = 0.4$, $p = 0.1$, $p = 0.5$)。

表 1 F波_{relax} の各計測値と安静前後の比較

	安静前	安静後	p値 (安静前 vs 安静後)	
Persistence	実験1	41.9±16.3	25.7±15.6	$p < 0.0001$
	実験2a	26.1±15.5	23.7±14.7	$p = 0.18$
	実験2b	33.3±16.1	34.3±18.9	$p = 0.68$
Amplitude	実験1	279.3±64.6	217.4±77.2	$p = 0.002$
	実験2a	281.8±92.4	254.9±121.7	$p = 0.21$
	実験2b	248.6±72.7	216.5±76.9	$p = 0.16$
Latency	実験1	25.9±1.8	25.8±1.7	$p = 0.41$
	実験2a	25.6±1.8	25±2.1	$p = 0.11$
	実験2b	26±2	26.2±1.8	$p = 0.55$

F 波_{imagery} の出現率は、実験 1 および実験 2a では意図的筋安静後に有意に低値であったが ($p = 0.002$, $p = 0.007$)、実験 2b では意図的筋安静前と安静後で有意な差はなかった ($p = 0.6$)。振幅も同様に、実験 1 および実験 2a では意図的筋安静後に有意に低値であったが ($p = 0.003$, $p = 0.008$)、実験 2b では意図的筋安静前と安静後で有意な差はなかった ($p = 0.06$)。潜時は、実験 1、実験 2a、実験 2b の全群で、意図的筋安静前と安静後で有意な差はなかった ($p = 0.1$, $p = 0.2$, $p = 0.6$)。

表 2 F wave_{imagery} の各計測値と安静前後の比較

	安静前	安静後	p値 (安静前 vs 安静後)	
Persistence	実験1	50.2±17.2	38.7±16.7	$p = 0.002$
	実験2a	31.9±16.6	25.8±14.4	$p = 0.007$
	実験2b	36.4±13.7	38.8±20.7	$p = 0.57$
Amplitude	実験1	140.5±84.2	92.5±56.7	$p = 0.003$
	実験2a	88.8±57.5	60.5±57.6	$p = 0.008$
	実験2b	112.1±60.4	93.6±65.9	$p = 0.06$
Latency	実験1	25.7±1.6	25.5±1.6	$p = 0.13$
	実験2a	25.8±1.8	25.5±2.1	$p = 0.20$
	実験2b	26.1±1.6	26±2	$p = 0.63$

(b) F 波の%出現率、%振幅、%潜時 (表 3)

F 波_{relax} の%出現率は、意図的筋安静中にイメージタスクを課した実験 2a と実験 2b の意図的筋安静後における%出現率は実験 1 より有意に高い値であったが ($p = 0.008$, $p = 0.003$)、実験 2a と実験 2b の間には有意な差はなかった ($p > 0.05$)。また、%振幅は各群間で統計学的に有意な差はなかったが、出現率と同様の傾向が認められた。%潜時は実験 1、2a、2b の 3 群間で有意な差はなかった。

F 波_{imagery} の出現率は、%出現率、%振幅、%潜時のいずれにおいても実験 1、2a、2b の 3 群間で有意な差はなかった。

表 3 各計測値 (%) と 3 群間の比較

	実験1	実験2a	実験2b	p 値 (one-way ANOVA)	
F波 _{relax}	%Persistence	57.9±20.7	93.6±39.6**	101.1±27.8**	$p < 0.0001$
	%Amplitude	78.5±28.2	93.3±46.8	89.7±27.1	$p = 0.42$
	%Latency	99.7±4.1	98±3.1	100.9±4.7	$p = 0.23$
F波 _{imagery}	%Persistence	77.3±25.8	80±9.6	105.6±51.9	$p = 0.056$
	%Amplitude	74.8±47.3	61.2±15.4	84.5±50.9	$p = 0.43$
	%Latency	99.2±2.6	98.5±3.3	99.7±4.7	$p = 0.71$

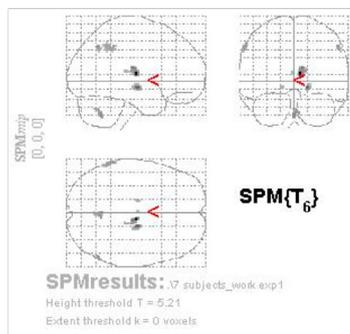
** $p < 0.01$, post-hoc test; Bonferroni 多重比較検定 (vs 実験 1)

(2) fMRIの結果(図2)

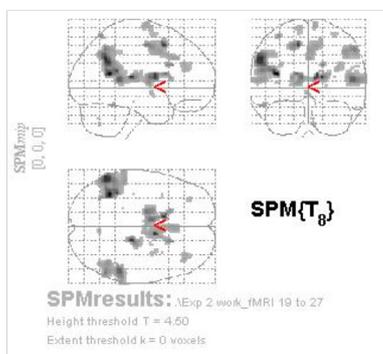
実験1と2bは21歳から29歳までの健康成人7人(平均23.7歳、男7名)が本研究に参加した。実験2aは21歳から30歳までの健康成人9人(平均22.7歳、男9名)が本研究に参加した。fMRIは各実験において3時間安静後にfMRIを施行した。本実験では検査時の運動イメージ想起をタスクとしており、fMRIは各実験条件での3時間安静後における運動イメージ想起時の大脳皮質活動性を評価するものである。

実験1では右視床部に賦活が認められた。実験2aでは左上側頭回、右視床、右大脳基底核、右上側頭回、右前頭葉に賦活が認められ、実験2bでは左縁上回、左前頭葉、左大脳基底核、左視床、右島皮質、右大脳基底核、右前頭葉に賦活が認められた。

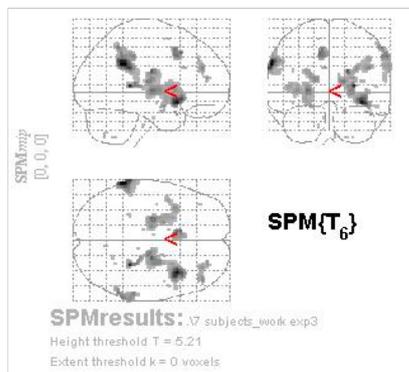
Experiment 1



Experiment 2a



Experiment 2b



(3) 結果の考察

過去の研究で運動イメージによりパフォーマンスが向上すると報告されている。また、多くの研究で運動イメージの想起によって脳活動の活性化が引き起こされることが示されている。しかし、運動イメージの想起が脊髄前角細胞の活動性、すなわち脊髄運動ニューロンの活動性に及ぼす影響に関する研究はあまり報告されていない。今回の研究では、スポーツ医学やリハビリテーション医学で運動イメージの生成を援助する方法として報告されているvideoを用いて意図的安静中に運動イメージタスクを課したときの脊髄前角細胞の活動性の変化をF波で評価し、大脳皮質の活動性の変化をfMRIで評価した。

運動イメージタスクを課さなかった実験1では意図的安静後に脊髄前角細胞の活動性が低下していたのに対し、運動イメージタスクを課した実験2の場合は、運動イメージの生成を援助する方法の併用の有無にかかわらず脊髄前角細胞の活動性は同程度に維持されていた。意図的安静により脊髄前角細胞の活動性は低下するが、意図的安静中に運動イメージを想起させるとビデオ映像の併用の有無にかかわらず脊髄前角細胞の活動性低下は抑制されることを示すものと考えられる。

運動イメージを想起しながらF波を記録すると(F波_{imagery})、意図的安静中にビデオをみながら運動イメージを想起させた場合のみF波_{imagery}の出現率と振幅は意図的安静前後で有意な差を示さなかった。

fMRIで運動イメージ想起中の大脳皮質の活動性を評価すると意図的安静後の大脳皮質の活動性は両側で抑制されていた(実験1)。一方、意図的安静中に運動イメージを想起させた場合は、意図的安静後の大脳皮質の賦活部位は運動イメージの生成を援助する方法(ビデオ映像)の併用の有無にかかわらず両側性に認められた。

運動イメージを想起させながら記録したF波の各パラメータの変化は下行性インパルスが脊髄前角細胞に到達している状態における末梢神経刺激により上行して前角細胞に到達するインパルスに対する前角細胞の反応性を見ていると考えられ、脊髄運動ニューロンの活動準備状態を反映するのではないかと考えられる。従って、本研究の結果は意図的安静により脊髄運動ニューロンの活動準備状態は低下し、意図的安静中にビデオ映像の併用なしに運動イメージを想起させても活動準備状態の低下は抑制されないが、ビデオ映像を併用すれば脊髄運動ニューロンの活動準備状態を維持する効果を有する可能性があることを示唆するものと推察された。また、意図的安静後の大脳皮質の活動性低下に対する運動イメージの抑制効果は、ビデオ映像の併用の有無は影響しなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① Fujisawa R, Kimura J, Taniguchi S, Ichikawa H, Hara M, Shimizu H, Iida H, Yamada T, Tani T. Effect of volitional relaxation and motor imagery on F wave and MEP: Do these tasks affect excitability of the spinal or cortical motor neurons? Clin Neurophysiol. (in press)

[学会発表] (計2件)

① 谷口慎一郎, 石田健司, 牛田享宏, 池本竜則, 谷俊一. 安静による脊髄運動ニューロン興奮性変化に対する運動イメージトレーニングの効果: ビデオ映像は有効か. 第84回日本整形外科学会、2011年5月12日、横浜.

② 谷口慎一郎, 石田健司, 牛田享宏, 池本竜則. 鏡像イメージシステムの構築と鏡像イメージによるイメージトレーニングが脊髄前角細胞の興奮性に及ぼす効果. 第22回運動器リハビリテーション学会、2010年7月10日、仙台.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 慎一郎 (TANIGUCHI SHINICHIROU)
高知大学・教育研究部医療学系・講師
研究者番号: 00304676

(2) 研究分担者

石田 健司 (ISHIDA KENJI)
高知大学・教育研究部医療学系・准教授
研究者番号: 10274367
(2010年度: 連携研究者)

牛田 享宏 (USHIDA TAKAHIRO)
愛知医科大学・医学部・教授
研究者番号: 60304680
(2009年度、2010年度: 連携研究者)

(3) 連携研究者

中島 紀綱 (NAKAJIMA NORITSUNA)
高知大学・医学部附属病院・医員
研究者番号: 10457400