

機関番号：20101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20300191

研究課題名（和文） 視覚情報呈示により誘起される神経科学的作用に因る運動機能回復システムの開発

研究課題名（英文） Research to develop a rehabilitation system of human movement caused by neuroscientific effects evoked from the visual stimulation

研究代表者

金子 文成（KANEKO FUMINARI）

札幌医科大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：00344200

研究成果の概要（和文）：

本研究では、我々が考案した自己運動錯覚誘起課題が、上肢下肢どちらに対しても運動錯覚を誘起することができ、それにより、皮質運動野の興奮性が増大することを示した。また、自己運動錯覚誘起課題と運動イメージ、経頭蓋直流電気刺激などを組み合わせた多重同期刺激を用いると、皮質運動野の興奮性は、長期増強様の効果を示すことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

The present study investigated that the excitability of cortico-motor pathway in upper and lower extremities, which was increased by means of kinesthetic self-movement illusion task we developed. Moreover, the multiple synchronized stimulation including kinesthetic self-movement illusion, tDCS, and motor imagery could induce the long term effect on the cortico-motor pathways' excitability.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2009年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：視覚、運動、自己運動錯覚、経頭蓋磁気刺激、運動誘発電位、経頭蓋直流電気刺激、H反射、多重同期刺激、関節固定

1. 研究開始当初の背景

これまでに、視覚情報の入力が入力された脳内での自己体性感覚知覚および運動イメージの構築に重要な役割を果たすことが明らかにされている。このことから、さらに視覚情報入力の方法を工夫することで、現実には運動しているときと同様の脳内活動を再現できる可能

性がある。そこで我々は、第三者の身体運動映像であっても、その呈示の仕方により被験者が一人称的に運動していると錯覚するような動画呈示方法を考案した。具体的には、被験者の身体部位を覆うようにモニタを配置し、被験者の身体部位の延長上に、モニタ上の身体部位が呈示されるようにした。上肢

を対象にした実験の結果、Visual Analogue Scale では、平均 70%以上の強さで、あたかも自己の身体の一部が運動しているかの錯覚を引き起こすことに成功した。この方法を実施した場合の神経生理学的作用や、他の感覚入力刺激と合わせた場合の介入効果が明らかになれば、関節固定などの身体不活動や脳血管障害による運動機能低下を予防・回復させるために有効な方法の確立につながる。

2. 研究の目的

本研究では、我々が考案した自己運動錯覚誘起課題を実施した場合の、生体への神経生理学的作用を明らかにするとともに、脳卒中片麻痺症例などの中枢神経系疾患の運動機能低下に効果的な方法の確立するため、他の感覚入力と組み合わせた場合の生理学的效果を明らかにすることを目的とした。以下に詳細を記す。

(1) これまで上肢を対象にして実施してきた方法が、下肢に対しても適応できるかどうかについて明らかにすること。

(2) 将来、症例に対して適用することを想定し、より効果を高める方法を確立するための研究として、

① 動画上の身体位置と実際の身体位置との間の矛盾が動画呈示による自己運動錯覚に及ぼす影響を明らかにすること。

② 皮膚感覚入力、運動イメージ、経頭蓋直流電気刺激 (tDCS) を組み合わせた場合の効果を神経生理学的に明らかにすること。

(3) さらに、臨床応用へつなげるための基礎データ構築として、

① 短期間の関節固定中に行う自己運動錯覚誘起課題による介入が、運動機能低下予防へ及ぼす影響について明らかにすることとした。

3. 研究の方法

(1) 動画呈示による下肢の自己運動錯覚が皮質運動野の興奮性に及ぼす影響を明らかにするために、経頭蓋磁気刺激 (TMS) によって得られる運動誘発電位 (MEP) を記録した。肢位は膝関節軽度屈曲での安静座位とした。動画呈示方法として、足関節底背屈運動を行っている動画を被験者の下腿上に設置した。被験筋は、前脛骨筋およびヒラメ筋とした。条件として、動画呈示されている錯覚条件と、動画呈示されない安静条件の2条件を実施した。

(2) 動画上の身体位置と実際の身体位置との矛盾の影響を明らかにするために、(1)と同様に、TMS を実施した。被験筋は、第一背側骨間筋 (FDI)、小指外転筋 (ADM) とした。肢位は、安静座位にて前腕を実験台上に置き、肩関節軽度屈曲位、肘関節角度約 70° 屈曲位とした。動画呈示方法として、被験者の前腕を覆うようにスクリーンを設置し、手関節掌背屈運動の動画を呈示した。条件は、実際の手の位置と、動画上の手の位置が一致している条件、両者の位置が不一致の状態にある条件、両者の位置が不一致でありながらも、手指部分のみが見えるように視野を制限した条件 (実際には、動画上の身体位置と実際の身体位置が被験者には見えない) の3条件を実施した。

(3) 皮膚感覚入力、運動イメージ、経頭蓋直流電気刺激を組み合わせた場合 (多重同期刺激) の効果を明らかにするために、以下の方法を実施した。

① 皮膚感覚入力と運動イメージの組み合わせによる脊髄運動ニューロンプールの興奮性を、H 反射を用いて調べた。肢位は安静座位での膝関節 60° 屈曲位とした。H 反射を記録するための被験筋はヒラメ筋とし、皮膚感覚入力は、下腿江綿へテーピングテープを貼付することで加えた。条件は、テーピングテープ貼付の有無各々で、安静条件、運動イメージ条件の計4条件とした。

② 自己運動錯覚誘起課題、運動イメージ、tDCS を組み合わせた介入方法を用いた場合における、皮質運動野の興奮性に対する長期増強様効果を、MEP によって調べた。被験筋は、第一背側骨間筋 (FDI)、小指外転筋 (ADM) とした。肢位は、安静座位にて前腕を実験机上に置き、肩関節軽度屈曲位、肘関節角度約 90° 屈曲位とした。多重同期刺激は、15 分間とし、介入前、介入終了直後、介入終了後 15 分、30 分、60 分経過時に MEP を記録した。

(4) 短期間の関節固定中における自己運動錯覚誘起課題の介入が、運動機能低下へ及ぼす影響について調べた。固定部位は手関節から遠位とした。関節固定時間は 12 時間とした。固定中に自己運動錯覚誘起課題を実施した。固定前後で、示指の最大外転筋力を測定した。また、筋出力調節課題中における第一背側骨間筋の運動単位活動を記録した。さらに、最大 M 波、単収縮力を記録した。関節固定と介入の双方を実施した群を介入群とした。比較対象として、固定も介入も実施しない対照群、固定をして介入は実施しない固定群に対しても同様の測定を行った。

4. 研究成果

本研究から得られた一連の結果は以下のとおりである。

(1) 動画呈示による下肢の自己運動錯覚が皮質運動野の興奮性に及ぼす影響

動画呈示された背屈運動を観察している最中の MEP 振幅値は、安静時および底屈運動時観察中の MEP 振幅値に比べて有意に高値を示した。また、Visual Analogue Scale を測定したところ、背屈時の主観的な錯覚の強度が底屈時に比べて有意に高値を示した。このことから、自己運動錯覚は、上肢においてのみならず、下肢においても可能であることが明らかになった。さらに、自己運動錯覚誘起による皮質運動野興奮性の変化は、運動方向に依存して異なることが示唆された。

(2) 動画上の身体位置と実際の身体位置が一致していない場合における皮質運動野興奮性

動画によって呈示される身体の空間位置と実際の身体位置が不一致にある条件では、両者が一致している条件に比べて MEP 振幅値は有意に低値を示した。その一方で、視野を制限した条件は、不一致にある条件に比べて MEP 振幅値は有意に高値を示した。これらの結果から、自己運動錯覚の誘起においては、自己身体と動画上の身体位置矛盾については、視覚的に入力されるかどうか皮質運動野興奮性の変化に強く影響することが示唆された。臨床で症例に対して自己運動錯覚を応用する場合には、その効果をより強めるために、自己身体と動画上身体との矛盾をマスクするなどの方策が重要であるものと考えた。

(3) 皮膚感覚入力、運動イメージ、経頭蓋直流電気刺激を組み合わせた場合（多重同期刺激）の効果

①皮膚感覚入力と運動イメージの組み合わせによる脊髄運動ニューロンプールの興奮性を H 反射によって調べた結果、両者を組み合わせ合わせた条件が、その他の3条件に比べて有意に高値を示した。

②多重同期刺激による介入方法を用いた場合における、皮質運動野の興奮性に対する長期増強様効果

多重同期刺激を介入方法として用いることで、介入前から介入終了直後、終了後 30 分経過時点まで、MEP 振幅値は有意に高値を示した。

これらの結果から、自己運動錯覚や運動イメージ想起などの方法を、直流電気刺激などと組み合わせることで、皮質運動野の興奮性増大に対してより効果的であることがわかった。

(4) 短期間の関節固定中における自己運動錯覚誘起課題の介入が運動機能低下へ及ぼす影響

示指最大外転筋力において、固定群は固定後に明らかに低下していた。しかし、介入群は固定前後で変化を示さず、固定していない対照群と同様の結果を示した。この結果は、短期間であっても最大筋力は低下するのに対して、自己運動錯覚誘起課題を介入方法として用いることで、その低下を抑制できる可能性があることを示している。ただし、運動単位の活動動態、最大 M 波、単収縮力に関しては、介入効果が反映されるような結果は示されなかった。

(5) 今後の展望

本研究の一連の結果から、動画呈示による自己運動錯覚は、下肢においても適用でき、皮質運動野の興奮性を高めることができることが明らかとなった。また、動画上の身体位置と実際の身体位置に不一致が生じていても、視野を制限することで皮質運動野の興奮性を高めることができ、臨床上有意義な結果を得られたと考える。さらに、多重同期刺激を用いることが、介入方法として有効であり、皮質運動野の興奮性を増大させる持続時間を延長できる可能性があることが示された。そして、自己運動錯覚を介入方法として用いると、短期間関節固定時の運動出力機能の低下を抑制できることが明らかとなった。今後は、多重同期刺激を介入方法とした場合の効果より詳細に解明し、臨床応用につなげる基礎資料をさらに蓄積していく。

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7件)

①Aoyama T, Kaneko F: The effect of motor imagery on gain modulation of the spinal reflex. *Brain Research* 1372, 41-48, 2011. (査読有)

②金子文成: 新しい医療技術 ロボティック・デバイスを用いた運動感覚機能検査. *整形・災害外科* 53, 733-740, 2010. (査読無)

③金子文成: 神経科学と EBPT-非侵襲脳刺激および感覚入力による皮質運動関連領野興奮性の操作-. *理学療法学* 36, 444-447, 2009. (査読無)

④金子文成: 自己運動錯覚誘起による皮質運動野への入力状況の変化—皮質運動野への入力を操作できるか?—. *理学療法の医学的基礎研究会雑誌* 12(2) 9-14, 2009. (査読無)

⑤速水達也, 金子文成, 木塚朝博: 運動経験による体性感覚—運動連関機能の相違. *バイオメカニズム* 19, 47-56, 2008. (査読有)

⑥金子文成, 横井孝志: 生体アクチュエーターの基礎と自己運動知覚～ヒトの筋張力調節と運動系のバーチャルな駆動～. 日本バーチャルリアリティ学会誌 13, 101-105, 2008. (査読無)

⑦金子文成: 運動以外の治療的介入による脳の可塑性と今後の可能性. 理学療法ジャーナル 42, 1017-1025, 2008. (査読無)

[学会発表] (計 16 件)

①Kaneko, F., Aoyama, T., Hayami, T., Shibata, E., Aoki, N.: TMS study on the long-term potentiation like effect in the corticomotor area after multiple synchronized stimulation with motor imagery. The 18th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology. Aalborg, 2010, 6

②Shibata, E., Kaneko, F., Aoyama, T.: Effects of cutaneous input by means of highly elastic adhesive tape on motor neuron pool excitability. The 18th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology. Aalborg, 2010, 6.

③青山敏之, 金子文成, 速水達也, 柴田恵理子: 視覚刺激による足関節の自己運動錯覚の誘起により皮質脊髄路興奮性は増大する. 第 45 回 日本理学療法学会大会. 岐阜, 2010, 5.

④柴田恵理子, 金子文成, 青山敏之, 速水達也, 青木信裕, 榊善成: テーピングが脊髄反射の利得調節に及ぼす影響. 第 45 回 日本理学療法学会大会. 岐阜, 2010, 5.

⑤金子文成, 青山敏之, 速水達也, 柴田恵理子, 青木信裕: 多重同期刺激による皮質長期増強様効果の誘起とその効果に関する運動誘発電位による検証. 第 45 回 日本理学療法学会大会. 岐阜, 2010, 5.

⑥金子文成, 青山敏之, 速水達也: 視覚刺激で誘起される自己運動錯覚に関する運動誘発電位による解析. 第 11 回日本電気生理運動学会大会. 京都, 2009, 11.

⑦青山敏之, 金子文成: ファンクショナルテープ・ミリオールベが皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響. 第 64 回日本体力医学会大会. 新潟, 2009, 9.

⑧金子文成, 青山敏之: 異なる感覚モダリティに依存した筋出力調節運動における皮質内抑制効果の差異. 第 64 回日本体力医学会大会. 新潟, 2009, 9.

⑨Aoyama, T., Kaneko, F.: The Effect of Motor Imagery on Gain Modulation of the Spinal Reflex. 36th International Congress of Physiological Sciences. Kyoto. 2009.7.

⑩Kaneko, F., Hayami, T., Aoyama, T., Kizuka, T.: Motor Imagery and Electrical Stimulation Reproduce Similar Corticospinal Excitability to It During Actual Muscle Contraction. 36th International Congress of Physiological Sciences.

Kyoto. 2009.7.

⑪Kaneko, F., Aoyama, T., Hayami, T.: Masking of vision prevents loss of facilitator effect of self motion illusion on the corticospinal excitability during quasi-illusion induced by visual input. 7th Progress in Motor Control. Marseille. 2009.7.

⑫青山敏之, 金子文成: 運動イメージ想起が脊髄反射の利得調節に及ぼす影響について. 第 44 回日本理学療法学会大会. 東京, 2009, 5.

⑬金子文成: 視覚と体性感覚情報との不一致の入力が自己運動錯覚の効果に影響する. 第 63 回日本体力医学会大会. 大分, 2008, 9.

⑭青山敏之, 金子文成, 速水達也: 視覚刺激による下肢の自己運動錯覚が皮質運動野興奮性に及ぼす影響について. 第 43 回日本理学療法学会大会. 福岡, 2008, 5.

⑮金子文成, 速水達也, 木塚朝博: 視覚情報呈示による自己運動錯覚によって皮質運動野は賦活する -経頭蓋磁気刺激を用いた定位に基づく脳酸素交換機能マッピング法-. 第 43 回日本理学療法学会大会. 福岡, 2008, 5.

⑯金子文成: 大脳皮質運動領野への入力は操作できるか 自己運動錯覚誘起による運動領野への入力状況の変化. 第 13 回理学療法の医学的基礎研究会学術集会. 福岡, 2008, 5.

[図書] (計 2 件)

①金子文成: 神経回路網の再編成. 理学療法 MOOK16 脳科学と理学療法(大西秀明, 森岡周 責任編集), 三輪書店, 東京, P50-65, 2009. (査読無)

②金子文成: 電気刺激療法. 物理療法第 2 版(千住秀明監修, 沖田実編集), 神陵文庫, 神戸, P241-266, 2009. (査読無)

[その他]

ホームページ等

http://web.me.com/sms_sns/SMS_SNS_f_kaneko_lab_site/Welcome.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 文成 (KANEKO FUMINARI)

札幌医科大学・保健医療学部・准教授

研究者番号: 00344200