

令和 元年 6 月 14 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03222

研究課題名(和文) 高齢者の複合的行動能力を特異的に鍛えるトレーニング法の開発

研究課題名(英文) Does exercise training involved with cognitive training improve motor skill and cognitive function?

研究代表者

吉武 康栄 (Yoshitake, Yasuhide)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：70318822

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,390,000円

研究成果の概要(和文)：1) 同一仕事量の運動中において、課題の難度の違いにより、皮質脊髄路の興奮性が変化するか検証した。若齢者に対し、single pulseの経頭蓋磁気刺激を、強度は同一であるが課題の難度が異なる等尺性筋収縮中に与えた。その結果、MEPの振幅値が課題の難度が高いほうが有意に大きかった。したがって、課題の難度により皮質脊髄路の興奮性が増すことが明らかになった。

2) 1)の結果を基に、同一仕事量であったとしても、課題の難度が高い運動メニューの方が高齢者の認知機能の改善に有用であるか検証した。その結果、筋力の増加は同程度であったが、1部認知機能がより向上することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常の筋力トレーニングは、単純な関節の伸展・屈曲運動で構成されている。筋力トレーニングによる筋力・筋量の増大は見込めても、認知機能に対する効果は結果が別れており、その効果は不明である。一方で、本研究で試みたように、動作自体が複雑で巧緻性を含んでいる場合は、たとえ同一運動強度であったとしても、単純な動作よりも脳の興奮性が増加する。したがって、そのような複雑・巧緻性という要素を含んだトレーニングメニューにすれば、認知機能がより改善・向上する可能性が高まると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The 1st study examined corticospinal excitability during unilateral force-matching tasks of different difficulty. Single pulse TMS was applied to the hemispheres of seventeen young male during force matching tasks with easy (EASY) and difficult (DIFF) task difficulty. MEPs were significantly larger ($P < 0.05$) during DIFF than EASY. These results indicate that greater task difficulty increases corticospinal excitability of both contralateral and ipsilateral hemispheres.

The 2nd study tested the effect of the exercise training with task difficulty on muscle and cognitive function. After 3 month-exercise training, exercise training with task difficulty enhanced some cognitive function scores greater than traditional exercise training while exercise training volume evaluated by surface EMG was comparable between training. The results indicated that exercise with task difficulty should be better way to enhance muscle and cognitive function than traditional training regimen.

研究分野：運動生理学 神経生理学

キーワード：大脳興奮性 認知機能 運動課題 課題難度 経頭蓋磁気刺激 TMS 筋力トレーニング 高齢者

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

健全な若者であれば、日常生活にありふれている何一つ苦勞もなく円滑に行える単純な動作においても、「動作の決定→自身の手と対象物までの距離の認識→運動戦略の決定→大脳から脊髄を通じて筋へ適切な命令伝達→滑らかな筋収縮の発生」という多岐に渡る器官での複合的な働きが統合されて成り立っている。つまり、日常生活活動およびスポーツ動作などの身体運動を、ヒト独自の高レベルで実施するためには、複合的機能が同時に適切に働く能力が必要である。

ヒトの生活活動の多くは、筋力を意図通りに巧緻的に発揮することで成立しているため、加齢や不活動によって力を精確に制御する機能が低下してしまうことは、生活の質(QOL)が低下してしまうことと同義になる。さらには、社会問題となっている加齢による認知症を発症した場合は、寝たきりへの道が近くなり、生活筋力さえ保障されなくなってしまう。したがって、筋力、巧緻性、認知機能は「健康生活の三大必須機能」と捉えられる。体力医科学分野では、力調節能力や認知機能の低下それぞれの改善を目的として、高齢者に筋力トレーニングを実施した結果として、単純な力合わせ課題の精確性は向上するが、認知機能への効果は、賛否両論あることが報告されている。トレーニングの「特異性の原理」に基づけば、高強度での単純な力発揮が主である筋力トレーニング単体では、認知機能への効果が必ずしも認められない研究結果について、至極当然であると考えられる。この現状を打破するためには、神経筋活動の特異性に基づいて考案したトレーニング法の確立が必要である。

通常の運動療法やトレーニングの現場では、筋力/筋力トレーニング、巧緻性/力調節トレーニング、認知機能/脳トレーニングなど、それぞれが別々に行われている。一方、日常生活活動やスポーツ活動においては、これらの機能が同時に参画する「複合的機能」が、その優劣を決定する。したがって、高齢者において、複合的行動能力を改善するためには、複合的機能こそ「特異的に」鍛えられなければならない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1)「筋出力」と「巧緻性」を同時に要求される複合的行動に特異的な神経活動を明らかにする、2)「筋出力」「巧緻性」「認知機能」を同時に鍛えるハイブリッド筋力トレーニングを組み立て、その実施効果を高齢者において明らかにする、ことであった。

3. 研究の方法

1)「筋出力」と「巧緻性」を同時に要求される複合的行動に特異的な神経活動を明らかにする
右利きの健全若齢者6名を対象に、非利き手の等尺性示指外転動作による力調節課題を行った。力調節課題の目標強度は、最大随意収縮力の5%と15%とし、対象者は表示された目標値の許容範囲を目視しながら発揮する力が許容範囲に合うよう努力した。各目標強度における難易度は、力の目標値の表示法によって、易・難課題を設定した。力調節課題中にナビゲーションシステムを用いて、一次運動野手指領域に単発の経頭蓋磁気刺激を行い、第一背側骨間筋より運動誘発電位(MEP)を記録した。刺激強度は、検証1:各目標強度の収縮時運動閾値の1.2倍、検証2:安静時運動閾値の1.2倍とし、各課題20回の刺激を行った。一次運動野の興奮性は、課題ごとに加算平均されたMEP波形(P-P値)から評価した。

2)「筋出力」「巧緻性」「認知機能」を同時に鍛えるハイブリッド筋力トレーニングを組み立て、その実施効果を高齢者において明らかにする
対象者は、地域在住の高齢者37名(男性:13名、女性:24名、年齢:72.8 ± 6.8歳)であり、男女別かつ無作為に、キネクトを活用し視覚フィードバックと聴覚フィードバックを用いて音を生み出すトレーニング(MU)群20名(身長:155.5 ± 8.3cm、体重:54.4 ± 10.3kg)およびコントロール(CONT)群17名(身長:156.6 ± 8.8cm、体重:57.9 ± 9.8kg)であった。トレーニングは、両群ともスクワット運動とし、週3回、3か月間継続して実施した。CONT群の運動負荷は、スクワット実施回数をトレーニング6週目までは15回×3セットに設定し、以降は2週ごとに1セットずつ追加した。MU群の運動負荷は、事前に取得した筋電図データを基に、CONT群と同等の運動負荷になるよう設定した。トレーニング前後に、以下の身体形態および筋機能、ならびに認知機能の測定を行った。

身体形態は、身長、体重、筋厚の計測を行った。筋厚は、超音波Bモード法により、外側広筋(VL)、内側広筋(VM)、内側広筋斜頭(VMO)の各部位で計測した。筋機能は、右脚(利き脚)による等尺性膝関節伸展動作による最大筋力(MVC)および力調節課題より評価した。力調節は、1)視覚フィードバックがない条件下で、指示された目標値(10%および80%MVC)に相当する力を対象者の主観に基づいて発揮、2)モニタに表示された20%MVCを示すターゲットラインに対し、発揮した力を表すカーソルが一致するように力発揮、3)2)と同様に、モニタに表示された20% ± 4%MVCで構成された正弦波形のターゲット(slow条件:0.5Hz、fast条件:1Hz)に対し、発揮した力を可能な限り一致させた。ターゲットからの実測値の差分もしくは力の変動量から力調節能を評価した。

認知機能は、情報処理速度、実行機能、作業記憶より評価した。情報処理速度は、対象者の眼前に設置したモニタ上に表示される視覚刺激に対し、手元に設置したボタンを可能な限り素早く押させる単純反応課題を用いた。実行機能は、対象者の眼前のモニタ上に4つの文字(赤・青・黄・緑)のいずれかを4色のインク(赤・青・黄・緑)のいずれかで提示するストループ

課題を用いた。意味回答課題（文字の意味する色を回答）および色回答課題（インク色を回答）を行い、手元に設置した4色のボタンのうち正解に該当するボタンを可能な限り素早く押すことで回答させた。それぞれの課題において、文字の色と意味の一致・不一致条件時での平均反応時間および正答率を算出した。作業記憶は、口頭にて提示された数字を順唱および逆唱可能であった個数から評価した。

4. 研究成果

1) 「筋出力」と「巧緻性」を同時に要求される複合的行動に特異的な神経活動を明らかにする検証1（実施肢と反側）では、MEPは課題間で差はなかった。検証2（実施肢と同側）では、MEPは課題難度の主効果が認められ（ $P < 0.05$ ）、難課題が易課題よりも1.5倍大きかった。同一強度での力調節課題中の一次運動野の興奮性は、課題実施肢と同側半球において難度が高い方が増加することが示唆された。したがって、同一仕事量の運動中においても、課題の難度が異なることにより、大脳の興奮性が変化すると言える。

2) 「筋出力」「巧緻性」「認知機能」を同時に鍛えるハイブリッド筋力トレーニングを組み立て、その実施効果を高齢者において明らかにする

取得された全ての評価項目について、トレーニング前には両群間に差はなかった。身長は、トレーニング後に両群ともに変化はなく（ $P > 0.05$ ）、群間差もなかった（ $P > 0.05$ ）。体重は、トレーニング後に両群ともに減少したが（ $P < 0.05$ ）、群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。筋厚は、VLおよびVMOで、トレーニング後に両群ともに増加したが（ $P < 0.05$ ）、群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。VMの筋厚は、トレーニング後に両群ともに変化はなく（ $P > 0.05$ ）、群間差もなかった（ $P > 0.05$ ）。

最大筋力は、トレーニング後に両群ともに増加したが（ $P < 0.01$ ）、群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。また、力調節課題のうち、課題3（slow・fast条件）における誤差面積が、トレーニング後に両群ともに減少したが（ $P < 0.05$ ）、群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。他の力調節課題（課題1および課題2）の評価項目では、トレーニング前後および群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。

単純反応課題ではMU群のみ反応時間がトレーニング後に減少した（ $P < 0.01$ ）。ストループ課題の反応時間は、色不一致条件ではトレーニング後に両群とも減少し（ $P < 0.01$ ）、さらに、MU群がCONT群よりも低かった（ $P < 0.05$ ）。色一致条件では、MU群のみ減少し（ $P < 0.01$ ）、さらに意味一致・不一致条件では両群ともトレーニング後に減少した（ $P < 0.01$ ）。ストループ課題の正答率は、色不一致条件では、両群とも増加し（ $P < 0.01$ ）、意味不一致条件ではCONTのみ増加したが（ $P < 0.01$ ）、群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。色・意味一致条件は両群ともにトレーニング後の変化および群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。数唱課題では、両群ともにトレーニング後の変化および群間差はなかった（ $P > 0.05$ ）。以上のことから、運動量は同じであるが難度の高い動作が含まれたトレーニングは、筋機能の向上の効果に加え、認知機能の中でも実行機能の向上に従来のトレーニング法よりも有用である可能性がある。実行機能が向上した要因として、本研究で処方したトレーニングは巧緻性および複数課題を伴う動作で構成されていることから、視覚的情報を判断・選択し、身体を調節することを一層要求され、1)の研究結果からサポートされるように、当該機能を担う大脳の前頭前野の神経活動が亢進したことに起因すると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件) 全て査読あり

1. Watanabe H, Mizuguchi N, Mayfield DL, Yoshitake Y. Corticospinal excitability during actual and imaginary motor tasks of varied difficulty. *Neuroscience*. 2018 Nov 1;391:81-90. doi: 10.1016/j.neuroscience.2018.08.011.
2. Yoshitake Y, Uchida D, Hirata K, Mayfield DL, Kanehisa H. Mechanical interaction between neighboring muscles in human upper limb: Evidence for epimuscular myofascial force transmission in humans. *J Biomech*. 2018 Jun 6;74:150-155. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.04.036.
3. Yoshitake Y, Ikeda A, Shinohara M. Robotic finger perturbation training improves finger postural steadiness and hand dexterity. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018 Feb;38:208-214. doi: 10.1016/j.jelekin.2017.11.011.
4. Watanabe H, Kanehisa H, Yoshitake Y. Unintended activity in homologous muscle during intended unilateral contractions increases with greater task difficulty. *Eur J Appl Physiol*. 2017 Oct;117(10):2009-2019. doi: 10.1007/s00421-017-3689-7.
5. Yoshitake Y, Kanehisa H, Shinohara M. Correlated EMG Oscillations between Antagonists during Cocontraction in Men. *Med Sci Sports Exerc*. 2017 Mar;49(3):538-548. doi: 10.1249/MSS.0000000000001117.

6. Yoshitake Y, Miyamoto N, Taniguchi K, Katayose M, Kanehisa H. The Skin Acts to Maintain Muscle Shear Modulus. *Ultrasound Med Biol*. 2016 Mar;42(3):674-82.
doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2015.11.022.

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 渡邊裕宣, 松村遥, 武富貴史, Alexander Plopski, 権田智也, 加藤博一, 吉武康栄. 動作観察による運動学習を促進させる顔変換システムの有用性の検証, 第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, スポーツ応用システム: 大阪市, 2018 年 12 月.
2. 渡邊裕宣, 陳泰之, 吉武康栄. 片側性力調節課題時の難易度と同側一次運動野の皮質内抑制・促通機構の解明, 第 72 回日本体力医学会大会, 愛媛県, 2017 年 9 月.
3. Hironori Watanabe, Sohei Washino, Hiroaki Kanehisa, Yasuhide Yoshitake. Motor execution and imagery with greater task difficulty increases corticospinal excitability, 64th Annual Meeting of American College of Sports Medicine, Board 69, Denver (USA), 2017 年 6 月.
4. 渡邊裕宣, 吉武康栄. 片側性力調節課題時の難易度と両側一次運動野の興奮性の相違, 第 71 回日本体力医学会大会, 岩手県, 2016 年 9 月.
5. 渡邊裕宣, 吉武康栄. 片側性随意的筋活動時に反対側同名筋に発生する不随意的筋活動の特性解明, 第 67 回日本体育学会大会, 大阪府, 2016 年 8 月.

〔その他〕

ホームページ等

<https://yoshitake-labratory.jimdofree.com/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 金久博昭

ローマ字氏名: Kanehisa Hiroaki

所属研究機関名: 立命館大学

部局名: スポーツ健康科学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 50161188

研究分担者氏名: 小河繁彦

ローマ字氏名: Ogoh Shigehiko

所属研究機関名: 東洋大学

部局名: 理工学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 80553841

研究分担者氏名: 宮本直和

ローマ字氏名: Miyamoto Naokazu

所属研究機関名: 順天堂大学

部局名: スポーツ健康科学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 20420408

