

氏名	渡邊 裕宣
学位の種類	博士（体育学）
学位記番号	第54号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成31年3月25日
学位論文題目	力発揮課題の難易度の違いによる神経・筋の活動様相
論文審査委員	主査 金久 博昭 副査 森 司朗 副査 與谷 謙吾 副査 吉武 康栄

論文概要

【緒論】実運動（ACT）および運動イメージ（IMG）による片側性の力発揮課題時には、脳の高次中枢および対側半球の一次運動野（M1）が賦活する。しかし、当該領域の興奮が増大（オーバーフロー）することにより同側 M1 も賦活し、さらに同側 M1 と皮質脊髄路を介し接続する対側同名筋の活動様相も変化する。片側性の力発揮課題時の脳・筋活動様相は、スポーツ・日常生活動作を構成する要因（例：筋収縮強度・筋疲労）により変化するが、「課題難度（細やか・巧みな動作）」の影響については不明である。そこで本論文は、力発揮課題時の難易度と脳・筋の活動様相との関連性を明らかにすることを目的とした。

【研究 1】課題難度の増加により同側 M1 の興奮が増大した場合、対側同名筋の不随意的筋活動も増大する可能性がある。そこで片側性の力調節課題時における課題難度の違いが対側同名筋の不随意的筋活動に及ぼす影響を検証した。右利きの健常な若齢者 12 名および高齢者 12 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。目標強度は最大随意収縮力（MVC）の 20、40、60、80%とし、対象者は表示された目標値の許容範囲に発揮する力が合うよう努力した。許容範囲は各目標強度の±2%（難課題）または±7%（易課題）とした。不随意的筋活動は、対側（右手）の第一背側骨間筋（FDI）より導出した筋電図の RMS 値（aEMG）より評価した。また、同名筋の筋電図信号の類似性を 17 例（右手の筋活動量>10%EMGmax）を対象に、同名筋間の全波整流筋電図信号（<3Hz）の相互相関関数（CCF）により評価した。その結果、右手の aEMG は各要因（課題難度・目標強度・年齢）の主効果が認められ、難課題は易課題よりも aEMG が大きかった。また、CCF による相関係数は時間ずれ 0 付近に正の極値が認められた。

【研究 2】研究 1 の結果、課題難度の増加により両側半球の皮質脊髄路の興奮性が増大している可能性がある。そこで ACT および IMG による片側性の力調節課題時の課題難度の違いが、脳半球の皮質脊髄路の興奮性に及ぼす影響を検証した。右利きの健常な若齢者

12名を対象に、研究1の力調節課題をACTおよびIMGにより行い、目標強度はMVCの5、15%とした（IMGは15%のみ）。許容範囲は各目標強度の±0%（難課題）または±7%（易課題）とした。課題中に刺激強度を調整した単発の経頭蓋磁気刺激（TMS）を対側・同側M1に与え、FDIより各課題20波形の運動誘発電位（MEP）を記録した（IMGは同側M1のみ刺激）。皮質脊髄路の興奮性はMEPの頂点間振幅値の平均値から評価した。その結果、ACTのMEPは、対側M1刺激時では各要因（課題難度・目標強度）において、また同側M1刺激時では課題難度の要因において主効果が認められ、MEPは難課題が易課題よりも大きかった。また、IMGのMEPも難課題が易課題よりも大きかった。さらに、課題難度の増加によるACTおよびIMG（15%MVC）のMEPの変化率間には正の相関関係が認められた。

【研究3】研究2の結果、課題難度の増加により同側半球の皮質脊髄路の興奮性が增大したが、実際に同側M1で興奮性の変化が生じているか不明である。そこで片側性の力調節課題中の課題難度の違いが、同側M1の皮質内抑制および促通機構に及ぼす影響について検証した。右利きの健常な若齢者12名を対象に、研究2で用いた力調節課題を5%MVCの目標強度で行った。課題中に刺激強度を調整した2連発のTMSを同側M1に与え、FDIより各課題15波形のMEPを記録した。2連発のTMSの刺激内間隔時間（ISI）は、2ms（皮質内抑制）および10ms（皮質内促通）とした。M1の興奮性はMEPの頂点間振幅値の平均値から評価した。結果、2ms-ISIのMEPは難課題が易課題よりも大きく（抑制が低下）、10ms-ISIのMEPは難課題が易課題よりも大きかった（促通が増加）。

【研究4】未経験な動作（難課題）を鮮明度高くイメージすることは困難であるため、M1の興奮性は増大せず、運動学習が停滞する。よって、鮮明度を増加させ得る要素（本人の顔、動作観察）の付与により、運動イメージ時のM1の興奮性が亢進すると仮説を立てた。そこで、本人の顔を熟練者の顔と映像内変換した変換像（顔:本人、体:熟練者）の動作観察による、運動イメージ時の皮質脊髄路の興奮性について検証した。右利きの健常な若齢者12名を対象に、動作観察による運動イメージを行った。観察する動作は、手関節背屈動作（易課題）および掌上ボール回し動作（難課題）とした。易・難課題において、熟練者および変換像の動作観察を行った。皮質脊髄路の興奮性は、各課題のイメージ中に対側M1に単発のTMSを与え、研究2と同様に評価した。その結果、難課題においてのみ、MEPは変換像観察時が熟練者観察時よりも大きく、そのMEPの変化率と変換像の本人との類似度は正の相関関係にあった。

【結論】本論文で得られた知見は以下のとおりであった。

研究1:片側性の力発揮課題時における課題難度の増加により、対側同名筋の不随意的筋活動は増大し、筋電図信号の波形は同名筋間で類似する。

研究2:片側性の力発揮課題時における課題難度の増加により、実運動時の対側および同側半球の皮質脊髄路の興奮性は増大し、運動イメージ時の同側半球の皮質脊髄路の興奮性は増大する。さらに、課題難度の増加による実運動および運動イメージ時の同側半球の皮

質脊髄路の興奮性の変化率は関連する。

研究 3:片側性の力発揮課題時における課題難度の増加により，同側一次運動野の皮質内抑制は低下し，皮質内促通は増加する。

研究 4:難課題時に変換像（顔:本人，体:熟練者）の動作観察により，運動イメージ時の皮質脊髄路の興奮性は熟練者の動作観察時よりも増大し，その増加率は変換像の本人との類似度に関連する。

以上の知見より，力発揮課題における課題難度の増加により大脳の対側半球および同側半球の運動野の興奮性は増大し，対側同名筋の不随意的筋活動も増大すること，また，本人の顔を熟練者の顔へ映像内変換した変換像の動作観察により難課題を運動イメージした際の運動野の興奮性は増大することが示唆された。

論文審査の要旨

本論文は、片側性の力発揮課題時における課題難度が脳神経および筋活動様相に及ぼす影響の明確化を目的とした4つの研究の成果をまとめたものである。まず研究1では、片側性の力調節課題時における課題難度の違いが対側同名筋の不随意的筋活動（反対側投影）に及ぼす影響、不随意的筋活動の変化率における年齢差の有無、ならびに課題実施肢と対側肢の同名筋間の筋電図の時系列波形の類似性が明らかにされた。さらに研究2において、実運動および運動イメージによる片側性の力調節課題時における課題難度と大脳半球の皮質脊髄路の興奮性との関連性が示され、研究3では、片側性の力発揮調節課題時における同側半球の一次運動野の賦活メカニズムに対する課題難度の影響が明らかにされた。そして研究4においては、顔変換システムを用いた運動イメージは、大脳半球の皮質脊髄路の興奮性を高めることが確認された。本論文は、課題難度が脳神経および筋の活動様相に及ぼす影響について、新たなエビデンスを明示するものであると同時に、運動学習の手法開発につながる基礎的知見を提示するものであり、その内容は博士（体育学）の学位論文としてふさわしいものであると判断する。