

機関番号：3 2 6 6 5

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700660

研究課題名 (和文) 複数肢協調動作におけるリラックスの制御メカニズムの解明

研究課題名 (英文) Control mechanisms of muscle relaxation in coordinated movements of interlimbs

研究代表者

村岡 哲郎 (MURAOKA TETSURO)

日本大学・経済学部・准教授

研究者番号：30398929

研究成果の概要 (和文)：身体と同じ側の手と足の筋について，一方で収縮 (力発揮)，他方で弛緩 (リラックス) をさせる時，それぞれの動作は互いに影響を及ぼすことが動作レベルで明らかとなった．また，足の筋の収縮または弛緩が，同側手の筋を支配する皮質脊髄路 (大脳一次運動野から脊髄の運動神経までの経路) 興奮性には影響を及ぼしていない可能性が示唆された．

研究成果の概要 (英文)：We found that simultaneous contraction and relaxation of muscles in ipsilateral hand and foot influenced with each other at behavioral level. In addition, it was suggested that neither contraction nor relaxation of foot muscle influenced excitability of corticospinal pathway of hand muscles.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康,スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：リラックス

1. 研究開始当初の背景

複数肢協調動作の制御は，主に両上肢あるいは同側上下肢の動作を対象として研究されてきた．複数肢協調動作がどのように知覚されるか (Mechsner et al., Nature, 2001) あるいは動作に関わる神経筋の間にどのような結びつきがあるか (Baldissera et al., J Physiol, 2002) により動作制御の難易が変化する．これまで，動作の方向やタイミング，動作への物理的負荷，活動する筋の組み合わせを変えることで，どのような因子がどのように協調動作制御に影響するかが調べられてきた．しかし，身体各部の筋の収縮

と弛緩 (リラックス) を適切に行うことにより身体動作が遂行されているにも関わらず，「リラックスの制御」という視点は全く欠けていた．

筋のリラックスは単なる筋収縮の終わりではないことが脳活動の点から示唆されている (Toma et al., J Neurosci, 1999)．つまり，一つの筋の収縮と別の筋のリラックスを同時に行うには，別々の神経プロセスを同時に遂行する必要があることを意味する．また，単にある肢の筋を収縮するだけでも，対側肢の筋や同側他肢の筋を支配する大脳皮質運動野の興奮性を高める (Borrioni et al.,

Brain Res, 2004; Carson, J Physiol, 2004) といった皮質間の神経接続が存在する。これらのことから、同時に複数肢の筋を収縮（あるいはリラックス）させることよりも、ある肢の筋の収縮と別の肢の筋のリラックスを同時に行うことはより複雑な神経プロセスを必要とすることが予想できる。さらに、ある肢の筋収縮開始を急に中止する場合（いわゆる NoGo 課題）においては、反対側の同名筋を支配する大脳皮質運動野の活動までもが抑制される (Coxon et al., J Neurophysiol, 2007) ことから、前述した“ある筋の収縮→別の筋を支配する大脳皮質興奮性の増加”とちょうど逆になる“ある筋のリラックス→別の筋を支配する大脳皮質興奮性の低下”となる神経接続も存在する可能性が考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主に単肢の運動において調べられてきた“リラックス”の神経機構を、手足の協調動作という一般的な身体動作により近い形の中で明らかにするものである。具体的には、同側手足において同時に筋収縮・リラックスを行う時の相互作用を動作レベルで明らかにする。また、ある肢の筋収縮・リラックスが別の肢を支配する皮質脊髄路興奮性にどのように影響するかを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 右手足関節において同時に筋収縮・リラックスを行う時の相互作用に関する実験

被験者は健康な成人7名とし、実験の対象は右足手関節と足関節とした。それら関節の筋を同時に収縮、リラックスをする時の動作パフォーマンスを反応時間、関節動作速度、筋電図の点から検討した。

被験者はひじ掛けのあるイスに腰掛け、右手関節に関しては動作が右手関節の背屈動作に限定されるような装置に固定した。この時、右手前腕が回内位（掌を下向）をとるように固定した。また、イスに座った時に足部が床面に着かないようにイスの高さを調節した。右肘関節・膝関節・股関節はそれぞれ90°とし、右肩関節の角度は右手関節の背屈動作を行いやすい角度に被験者ごとに設定した。

実験のタスクは、脱力状態から右手関節の能動的背屈 (Ha)、脱力状態からの右足関節の能動的背屈 (Fa)、能動的に軽く右足を背屈した状態からの筋リラックスによる受動的な足底屈 (Fp)、Ha と Fa を同時に行う (HaFa)、Ha と Fp を同時に行う (HaFp)、の計5種の動作とした。被験者は「用意」という験者の声の合図で用意の姿勢（筋を収縮させる関節においては安静にした姿勢、筋をリラックスさ

せる軽く抵抗を感じる程度に足背屈した姿勢）をとり、その後、動作開始合図（ビープ音）を聞いたら全速で動作を行うというタスクとした。Ha は手関節をおよそ0度（＝解剖学的肢位）まで動かさず動作とし、Fa は足関節を軽く抵抗を感じる程度の背屈位まで動かさず動作とした。行うタスクの順序はランダムとし、各タスク10試行ずつ行った。

実験において、橈側手根屈筋 (FCR)、橈側手根伸筋 (ECR)、前脛骨筋 (TA)、ヒラメ筋 (SOL) から表面筋電図 (EMG) を導出した。手関節角度および足関節角度はゴニオメータにより記録した。

実験で得られた EMG と関節角度のデータから 1) EMG の反応時間、2) 平均関節角速度、3) EMG の平均振幅を算出した。EMG の反応時間については、得られた EMG データを全波整流した後、音の合図が鳴り始める直前の -200 ms から 0 ms における平均値と標準偏差を算出し、そこで得られた平均値 + 3 倍の標準偏差を 3 ポイント (2 ms) に渡って越えたところを EMG の反応の開始とした。その際、そのポイントがノイズでないか一つ一つ確認し、ノイズであった場合は正しいポイントに訂正した。また、リラックスの動作では -200 ms から 0 ms の平均値の 50% を 3 ポイント (2 ms) に渡って下回る点を EMG の反応の開始とした。こちらもそのポイントがノイズでないか一つ一つ確認し、誤りの場合は訂正した。平均関節角速度については、まずビープ音が鳴り始める直前の -200 ms から 0 ms の間に、ゴニオメータから得られた関節角度の平均値を算出し、音の合図の後にその平均値を 3 ms に渡って 0.5° 上回った点 (リラックスの動作では下回った点) を動作の動き始めとして動作の反応時間を算出した。次に、動作開始からそのタスクにおける動作範囲の 60% (リラックスするタスクでは 80%) に達するまでの時間を求め、動作範囲で規格化した平均関節角速度を算出した。EMG の平均振幅に関しては、筋収縮による動作では、ECR と TA に関して、EMG の反応開始から 150 ms の範囲で得られた EMG データの積分値を時間で除した値を EMG 平均振幅値として算出した。リラックスによる動作では、ECR と TA については EMG の反応の開始から 50 ms、FCR と SOL については EMG の反応の開始から 250 ms の範囲で得られた EMG データの積分値を時間で除した値を EMG 平均振幅値として算出した。

なお、被験者の集中が途切れ明らかに反応時間が遅れている、あるいは合図を予測してしまうことで反応時間が早すぎてしまうといった試行データを分析対象から除外するために、各被験者の各タスクにおいて、手・足両方の反応時間を合計したもののうち、最も合計時間の短い 2 試行と最も合計時間の長い 2 試行のデータを除いた 6 試行分を分析対

象とした。

(2) 右足関節の筋収縮・リラックスが右手関節筋を支配する皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響に関する実験

被験者は健康な成人 13 名とし、実験の対象は右足手関節と足関節とした。足関節の筋を収縮、リラックスさせた時に右手関節筋を支配する皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響を経頭蓋磁気刺激による運動誘発電位の点から検討した。

被験者はひじ掛けのあるイスに腰掛け、右手前腕が回内位（掌を下向）をとるようにひじ掛けに右手前腕を固定した。右足は踵のみを床面に着けるように右膝関節を 120-150°にし、股関節は 120-150°とした（ともに最大伸展位=0°）。右肘関節は 90°とし、右肩関節の角度は右手関節の背屈動作を行いやすい角度に被験者ごとに設定した。

被験者は、合図の音に合わせて足背屈筋を素早く収縮させる、リラックスさせる、あるいは何もせず安静を保つ、という 3 種類のタスクを行った。被験者は「用意」という験者の声の合図で用意の姿勢（筋収縮させるタスクおよび安静を保つタスクでは安静にした姿勢、筋をリラックスさせるタスクでは軽く抵抗を感じる程度に足背屈した姿勢）をとり、その後、メトロノーム音が 2 Hz で鳴り始め、5 回目の音に合わせてタスク動作を行うよう指示された。また、筋をリラックスさせるタスクでは能動的な足底屈力を発揮しないよう指示された。実験において、まず、各被験者はタスク動作の練習を数回行った。その後、筋収縮タスクと筋リラックスタスクを 5 回ずつ行い、5 回目のメトロノーム音と筋収縮開始または筋のリラックス終了との時間差を表面筋電図を基に計測し、平均の時間差を算出した。この時間差を基準に、筋収縮開始または筋リラックス終了となる時刻を 0 とし、0 ms, ±50 ms, ±100 ms の 5 種の時刻に手関節筋を支配する大脳皮質一次運動野に経頭蓋磁気刺激を行い、右手関節筋の橈側手根屈筋 (FCR) と橈側手根伸筋 (ECR) から運動誘発電位を記録した。行うタスクの順序はランダムとし、各条件を 10 試行（収縮タスク×時間差 5 種、リラックスタスク×時間差 5 種、安静タスク×時間差 1 種）ずつ合計 110 試行を行った。

なお、磁気刺激の 2 s 前から磁気刺激までの間に安静を保つべき筋に 25 μ V 以上の背景筋活動が認められた場合には、その試行は分析から除外した。

4. 研究成果

(1) 筋収縮とリラックスの相互干渉

筋のリラックスと筋収縮を同時に行う時、筋収縮の反応時間が遅延し（図 1）、反応後の筋収縮レベルが低下した。先行研究では複数筋を収縮させる時に、ある筋のみの収縮を中

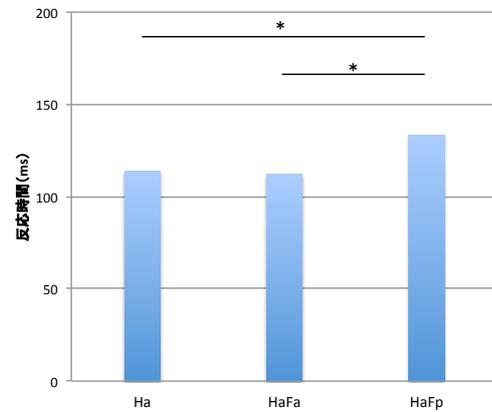


図 1 手関節筋 EMG の反応時間

止することは困難なタスクであり、ある筋の収縮中止に伴う抑制機構は対側同名筋についても影響を及ぼすことが示唆されている (Coxon et al., J Neurophysiol. 2007). 本研究は、同側異名筋において、ある筋の筋のリラックスが別の筋の筋収縮を抑制することを示した。収縮を中止するというより強い抑制が働くことが予想されるタスクではない単なるリラックスにおいて、ある筋のリラックスとそれに伴う筋収縮の抑制機構の影響が同側異名筋にまで及ぶという結果は、様々な身体動作において余計な力を抜くことの難しさを示す結果といえる。今後は、本研究結果がより一般的身体動作においてどのような形でかわるかを明らかにすることで、様々な身体動作の習得方法の開発につながることを期待できる。

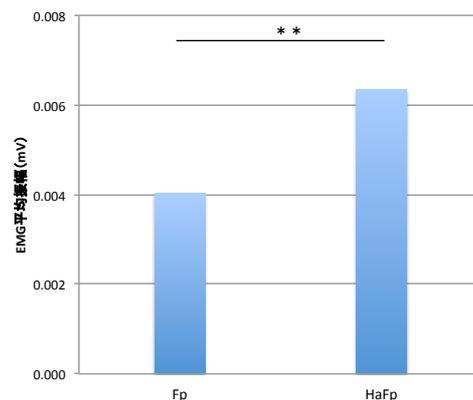


図 2 ヒラメ筋 EMG 平均振幅値

一方で、リラックスする筋においては反応時間の遅延や反応開始後のリラックス過程に有意な差は認められなかった。しかし、リ

ラックスさせる筋の拮抗筋であるヒラメ筋の活動が手関節筋収縮の際には有意に高くなった(図2). 手関節筋の収縮は, リラックスすべき足関節筋の拮抗筋の意図しない筋収縮を引き起こし, その相反抑制という形でリラックス過程を円滑に行わせていたかもしれない.

(2) 他肢筋皮質脊髄路興奮性にリラックスが及ぼす影響

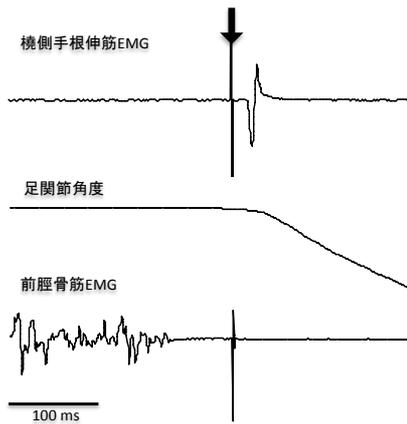


図3 足関節筋のリラックスにおいて誘発された手関節筋の運動誘発電位の一例

各試行における刺激タイミング(図3矢印)を基準に, 収縮のタスクにおける前脛骨筋EMGの起ち上がり, リラックスのタスクにおける前脛骨筋EMGの消失(安静時レベルへの回帰)の時刻を求め, 筋収縮・リラックスの-100~-50, -50~0, 0~50, 50~100 msのそれぞれの区間において誘発された運動誘発電位の振幅値(安静時の運動誘発電位に対する比)を求めた(図4). その結果, いず

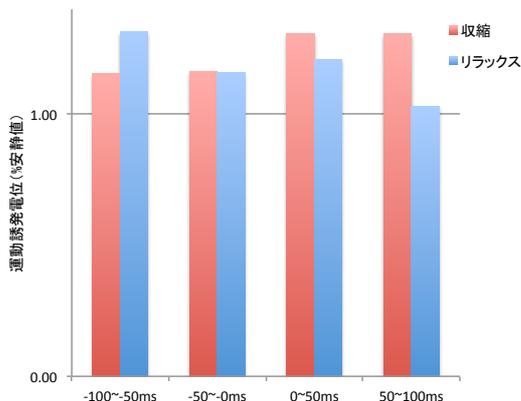


図4 橈側手根屈筋の運動誘発電位

れの筋の運動誘発電位振幅値においても, 刺激タイミングの有意な影響は認められなかった. 同側手足の協調動作におけるパフォー

マンスから, 足関節筋の収縮や弛緩は手関節筋の皮質脊髄路興奮性に影響を及ぼすことを仮説としたが, その仮説は棄却された. よって, 同側手足筋の同時収縮・リラックスにみられる相互作用には, ある肢の筋活動が別の肢の筋の皮質脊髄路興奮性に及ぼす影響によるものでは無い可能性が示唆された. 先行研究では, 足関節筋の周期的筋収縮, リラックスに応じて手関節筋を支配する皮質脊髄路興奮性に影響が認められた(Baldissera et al., J Physiol, 2002). 本研究のような単発の動作においてそうした結果が得られなかったことは, 周期的動作と単発動作では異なる神経機構が関わることを示したSchaal et al. (Nature Neurosci, 2004)の研究結果を表したものと考えられた.

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)

[学会発表] (計1件)

Tetsuro Muraoka, Masanori Sakamoto, Nobuaki Mizuguchi, Kento Nakagawa, Kazuyuki Kanosue. Excitability changes in human finger corticospinal projections during rhythmic voluntary movement of the opposite finger. Neural Control of Movement 20th Annual Meeting, 2010. April 22, USA (Florida)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村岡 哲郎 (MURAOKA TETSURO)

日本大学・経済学部・准教授

研究者番号: 30398929