

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16494

研究課題名(和文) 筋のリラックスに関わる神経機構の解明および運動機能獲得への応用

研究課題名(英文) neural mechanism about muscle relaxation

研究代表者

加藤 孝基 (Kouki, Kato)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・助手

研究者番号：10750771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツや楽器演奏を行う際、リラックス(弛緩)することをなぜ難しいと感じるのだろうか。一般的に、弛緩すべき特定の筋に不必要な筋収縮が生じることは容易に想像がつく。一方で、ある筋を無理に弛緩しようとする収縮すべき他の筋が適切に収縮せず、動作がぎこちなくなる点も考慮しなければならない。本研究では、筋の弛緩が他部位に及ぼす影響を多角的に明らかにした。まず、足関節筋の弛緩を行うと、同側他肢(右足、右手)および対側他肢(右足、左手)さらには同肢内他筋(右肩、手)の持続収縮力および皮質脊髄路興奮性が低下することが明らかになった。また、これらは運動イメージを行うことによっても変化することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In daily life, many occasions require the simultaneous use of multiple muscles. Especially, complex multi-limb movements such as playing the piano or drum require fine coordination, not only of muscle contraction but also of muscle relaxation. It is well known that muscle contraction influences on the motor behavior in another limb (remote effect). The objective of the present research was to clarify the remote effect of muscle relaxation. It is demonstrated that the force magnitude of sustained contraction or corticospinal excitability for one muscle decreased by muscle relaxation for another muscle of ipsilateral, contralateral and intra-limb. Furthermore, we additionally demonstrated that motor imagery of muscle relaxation also induced reduction of corticospinal excitability for another muscle.

研究分野：motor control

キーワード：協調運動 運動抑制 TMS EMG

1. 研究開始当初の背景

スポーツや楽器演奏を行う際、リラックス(弛緩)することをなぜ難しいと感じるのだろうか。一般的に、弛緩すべき特定の筋に不必要な筋収縮が生じることは容易に想像がつく。一方で、ある筋を無理に弛緩しようとすると収縮すべき他の筋が適切に収縮せず、動作がぎこちなくなる点も考慮しなければならない。

例えば、雲梯で右手を放しながら(右手筋の弛緩)左手で支えるとき(左手の収縮)、右手筋の弛緩と左手筋の収縮がどのように影響を及ぼし合うかはよく分かっていない。これまでの研究により、複数肢を用いた動作では、ある肢の収縮は他肢の筋活動や神経機構に影響を及ぼすことが知られている(Swinen, 2002)。一方で、複数肢動作における「弛緩の制御」という視点は欠けており、筋の弛緩が他肢に及ぼす影響については不明な点が多い。機能的磁気共鳴画像法(fMRI)や経頭蓋磁気刺激法(TMS)を用いた研究より、筋の弛緩は単なる収縮の終わりではなく、脳活動の点から見ると積極的に筋活動を抑制するアクティブなプロセスであることが明らかにされている(Toma et al., 1999; Buccolieri et al., 2005)。したがって、収縮と同様に、弛緩も他肢に影響を及ぼす回路が存在すると考えられる。実際に、申請者らは、同側の手足で収縮と弛緩を同時に行う単純反応課題において、収縮筋の活動が他肢の弛緩を同時に行うと低下し、反応時間も長くなることを報告した(図1; Kato et al., Exp Brain Res, 2014)。またTMSを用いた実験では、足関節筋の弛緩時に、同側の手関節筋を支配する皮質脊髄路興奮性が安静時よりも低下した(加藤ら, 2012; 東京体育学会奨励賞)。つまり、“ある筋の弛緩を行うと、他肢の特定の筋が収縮しづらい状態になる”のである。

以上より、筋収縮・弛緩のいずれも、他肢の神経機構に影響を及ぼす(影響の仕方は異なる)動作であることがわかる。

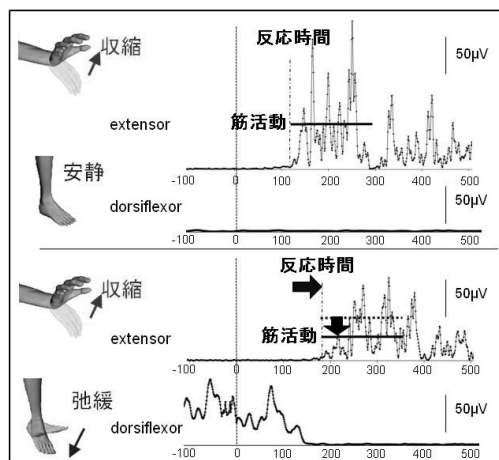


図1. 筋弛緩が同側他肢の収縮活動に及ぼす影響
上; 収縮(手)のみ, 下; 収縮(手)と弛緩(足)

では、複数肢において同時に筋収縮と弛緩を行う際には、どのような神経活動を伴うのだろうか。本研究では、二連発TMSを用いて筋の弛緩が行われる際の他肢の神経機構をより詳細に明らかにし(課題1)、fMRIを用いて、筋の収縮と弛緩が同時に行われるときの神経活動を詳細に明らかにする(課題2)。また、筋収縮の運動イメージが他肢の神経活動を高めることも報告されている。そこで本研究では筋弛緩の運動イメージが他肢に及ぼす影響も明らかにする(課題3)。

2. 研究の目的

二連発TMSを用いることで、大脳皮質内の抑制機構を詳細に調べることが出来る。課題1では筋の弛緩を行う際の他部位を司る神経活動を二連発TMSを用いて明らかにする。課題2では、収縮と弛緩を同時に行うときに特異的にはたらく脳領域を、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて特定する。さらに課題3では、筋弛緩の運動イメージが他肢に及ぼす影響も明らかにする。

3. 研究の方法

(課題1)二連発TMSを用い、刺激間隔2.5msにて条件刺激と試験刺激を組み合わせることで、大脳皮質の抑制機構を調べることができる。被験者は、音刺激に素早く反応して、足関節筋の弛緩を行った。その際に、様々なタイミングで二連発TMSを同側の手関節領域に刺激した。試験刺激による運動誘発電位(MEP)の振幅をもとに皮質内抑制(SICI)を評価した。(課題2)また、筋の弛緩と収縮を同時に行うときの脳活動領域を機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて測定した。fMRIは、脳の局所血流量の変化をとらえることで、課題遂行時にどの脳領域が活動しているかを計測することができる。さらに、それぞれ

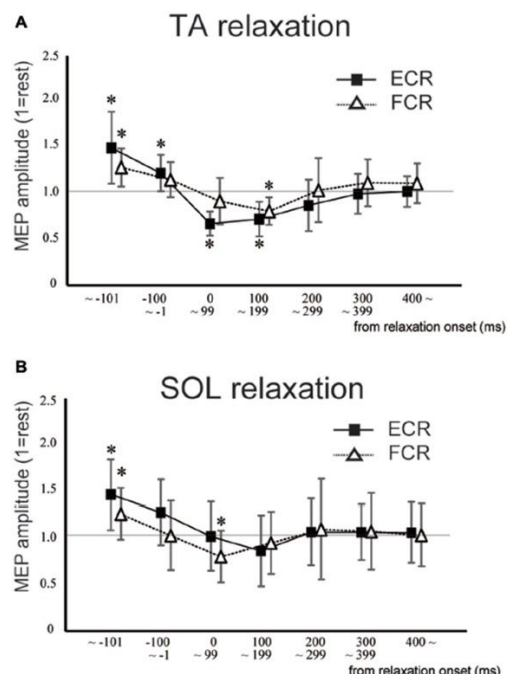


図2. 筋弛緩(TAおよびSOLの弛緩)を行う際のMEPの変化

の課題時の脳活動から差分を求めることで、ある動作時に特異的に活動する脳領域を明らかにすることができる。

(課題3) 被験者は、音刺激に素早く反応して、足関節筋の弛緩を行う運動イメージをした。その際に、様々なタイミングでTMSを同側の手関節領域に刺激した。前腕筋群より得られたMEPの振幅をもとに皮質脊髄路興奮性を評価した。

4. 研究成果

課題1では、二連発TMSを用い、詳細に大脳皮質の神経メカニズムを明らかにした。TMSを二台連結して一つのコイルから二発のTMS(条件刺激および試験刺激)を一次運動野に与えると、その刺激間隔の変化に応じて試験刺激で惹起されるMEPの振幅が変化する。Kujiraiらによると、刺激間隔を1-5msにすると試験刺激のMEP振幅が減少し、それらは一次運動野皮質内の抑制機構によるとされる(Kujirai et al., 1993)。この短い刺激間隔によるMEPの抑制を、短潜時皮質内抑制 short-interval intracortical inhibition (以下SICI)と呼び、皮質内の抑制機構が働く際には試験刺激のMEPが大きく減少し、SICIが増加するといわれている。この手法を用いて、足関節筋弛緩時の手関節筋のSICIを検討したところ、足関節筋の弛緩時(筋活動消失後0-100ms)には、単発時のMEPが安静時よりも低下し(図2AB)、二連発により得られたSICIは増加する(図3AB)ことが明らかになった。

課題2では、fMRIを用いて筋の収縮と弛緩を同時に行う際の脳活動を明らかにする予定であったが、一過性の筋弛緩動作を行う際の脳活動をfMRIにより記録するのが困難であ

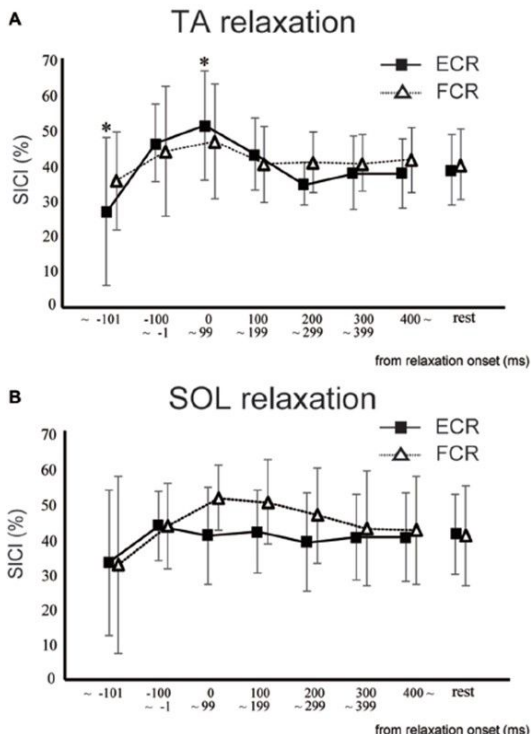


図3. 筋弛緩(TAおよびSOLの弛緩)を行う際のSICIの変化

ったために、当初予定していた通りに研究は進まなかった。

課題3では、足関節背屈筋の弛緩を実行、及びイメージする際の、手関節伸筋(ECR)および屈筋(FCR)の皮質脊髄路興奮性を明らかにした。その結果、筋弛緩を実行する際には、他肢を支配する皮質脊髄路興奮性が安静時よりも低下し、筋弛緩のイメージを行う際にも同様に低下することが明らかになった(図4AB)。

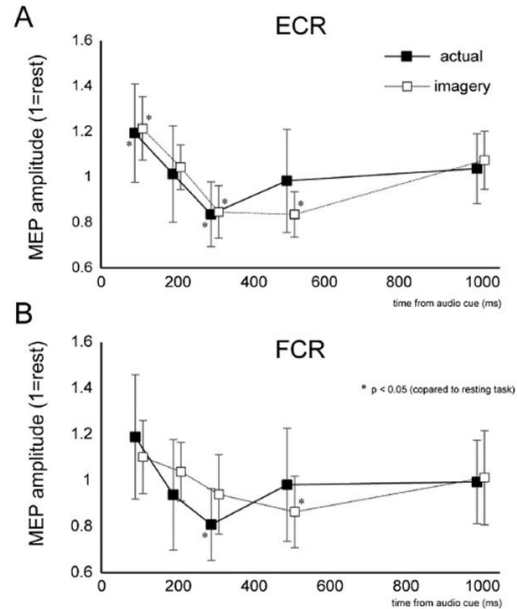


図4. 筋弛緩を行う際、およびイメージする際のMEPの変化

さらに、実際の筋弛緩においてMEPが低下する人ほど、イメージを行う際にもMEPが低下することが明らかになった(図5AB)。

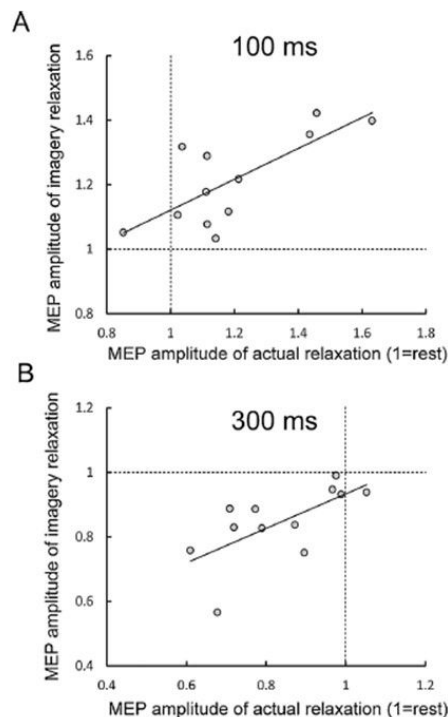


図5. 実際に弛緩した際およびイメージした際のMEP変化の相関

これらの結果は、トップアスリートのトレーニングに応用出来る可能性を秘めているだけでなく、筋弛緩が困難な神経疾患を有した患者さんへのリハビリ法としても活用できる有用な知見になるだろう。

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 5件)

Kouki Kato, Tetsuro Muraoka, Nobuaki Mizuguchi, Kento Nakagawa, Hiroki Nakata and Kazuyuki Kanosue, 2016. Muscle relaxation of the foot reduces corticospinal excitability of hand muscles and enhances intracortical inhibition. Front in Human Neurosci. 10:218. (査読有り)

Kouki Kato, Kanosue Kazuyuki. 2016. Effect of muscle relaxation in the foot on simultaneous muscle contraction in the contralateral hand. Neurosci Lett. 28; 633:252-256. (査読有り)

国分真帆, 加藤孝基, 彼末一之, 2017「筋の弛緩および収縮が同肢内の他筋の活動に及ぼす影響」東京体育学研究 Vol.8, online journal (査読有り)

Kouki Kato, Kanosue Kazuyuki. 2017. Corticospinal excitability of hand muscle during motor imagery of foot changes with imagined force level. PLoS ONE 12(9):e0185547 (査読有り)

Kouki Kato, Kanosue Kazuyuki. Motor imagery of voluntary muscle relaxation of the foot induces a temporal reduction of corticospinal excitability in the hand. 2018 Neuroscience letters. 668:67-72.

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤 孝基 (KATO, Kouki)

早稲田大学スポーツ科学学術院・講師

研究者番号: 10750771