

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

Effect of Muscle Contraction and Relaxation on the Other Intralimb Muscles

国分 真秀 (早稲田大学大学院スポーツ科学研究科)

加藤 孝基 (早稲田大学スポーツ科学学術院)

彼末 一之 (早稲田大学スポーツ科学学術院)

抄録

本研究は、ある筋の弛緩が同肢内の他筋の持続収縮に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。健康な成人10名は、右肘および右手指(母指および示指)を対象に、ある部位を持続収縮した状態で他部位を音合図に素早く反応して弛緩または収縮する課題を行った。タスクは、肘関節屈曲と指関節屈曲をどちらも50% MVCで維持した状態から音合図に素早く反応し、指関節屈曲筋(または肘関節屈曲筋)のみを弛緩するタスク、50%最大随意収縮(MVC)で肘関節屈曲(または指関節屈曲)の力を維持したまま、音合図に素早く反応し50% MVCで指関節屈曲(または肘関節屈曲)するタスクの計4種類とした。肘関節屈曲筋の弛緩により、維持していた指関節屈曲出力および筋活動は有意に低下し、収縮により指関節屈曲出力は有意に増加した($p < 0.05$)。一方で、指関節屈曲筋を弛緩・収縮させると、弛緩させた際だけでなく収縮した際にも肘関節屈曲出力が低下した($p < 0.05$)。筋の弛緩は同肢内の他筋の活動を低下させること、さらに、収縮の影響は組み合わせる筋によって異なる事が示唆された。

1. 緒言

我々は、日常生活からスポーツにおけるあらゆる動作を行う際に、複数の筋を同時に制御する。例えば、荷物を持ち上げる際には、物を掴む筋と肘を屈曲する筋を同時に収縮させる。また、スポーツ動作においては、例えばサッカーのインステップキックでは、ハムストリングスは弛緩した状態で、下腿三頭筋は収縮する。バドミントンのスマッシュ時の筋活動を明らかにした研究では、熟練者は最小限の筋を適切なタイミング・強さで収縮しているのに対し、未熟練者は不必要な筋を過度に収縮することが報告されている(Sakurai and Ohtsuki, 2000)。また、ピアノの打鍵動作を対象にした研究では、熟練者は大き

な音を出す際に手関節筋の屈曲と上腕筋群の弛緩を同時に行うのに対し、未熟練者は上腕筋群も同時に収縮することが明らかになっている(Furuya and Kinoshita, 2008)。このように、複数筋を巧みに制御することは困難であり、収縮・弛緩による制御の仕方も異なることが考えられる。

複数肢を対象にした研究では、経頭蓋磁気刺激法(Transcranial magnetic stimulation: TMS)を用い、下肢筋の収縮は上肢を支配する皮質脊髓路の興奮性を増加させる事が明らかとなっている(Baldissera et al., 2002; Tazoe et al., 2007)。さらには、筋の収縮が対側の筋を支配する皮質脊髓路の興奮性を高めるという事も明らかとなっている(Hortobagyi et al., 2003)。このように、ある筋の収縮は他肢の筋活動に影響を与える。これらの研究は収縮が他肢の筋活動に与える影響についての研究であるが、筋収縮状態からの自発的弛緩(以下、本文では弛緩と表記する)が他肢の筋活動に与える影響についてはあまり知られていない。

筋の弛緩時は収縮時と同様に一次運動野が賦活していることが報告されており(Toma et al., 1999)。背外側前頭前野および前部帯状回などの部位は収縮時よりも弛緩時に賦活する(Spraker MB et al., 2009)ことから、筋の弛緩とは単なる収縮の終了ではなく、脳活動を伴ったアクティブな動作といえる(Toma et al., 1999; Begum et al., 2005)。近年、前腕の筋を持続収縮する際に下肢の筋を収縮すると、前腕の持続収縮力は一時的に増加し、下肢を弛緩すると一時的に減少することが明らかとなった(Kato et al., 2014; 2015)。さらに、下肢筋の弛緩による前腕の持続収縮力の低下は、手関節筋を支配する皮質脊髓路の興奮性低下が関与することも報告された(Kato et al., 2016)。以上より、弛緩も他肢の筋活動に影響を及ぼすと考えられる。

しかしながら、筋活動が“同肢内”の他筋に及ぼす影響は未だ明らかにされていない。そこで、本研究では指関節屈曲筋と肘関節屈曲筋を対象に、筋の弛緩および収縮が

同肢内の他筋に及ぼす影響を検討した。

II. 方法

1) 被験者

被験者は神経学的疾患のない健常な成人男女10名(23.5 ± 2.2歳)とした。利き腕は全員右利きとした。実験に先立ち、被験者には本研究の趣旨および考えられるリスクを十分に説明した後、同意を得た。この実験は、早稲田大学の人を対象とした倫理委員会の承認を得て行われた。

2) 課題と実験手順

被験者は椅子に座り、肩の高さと机の高さが合うように調節した。右肘を90度に曲げ、地面に対して上腕が水平に、前腕が垂直になるようにし、手関節・前腕中央部・上腕中央部の3か所を固定した。また、右手の母指と示指でフォースセンサーをつまんだ状態で2つの指を1周するようにテープで固定した。第一背側骨間筋 (first dorsal interosseous: FDI)、短母指屈筋 (flexor pollicis brevis: FPB)、総指伸筋 (extensor digitorum: ED)、上腕二頭筋 (biceps brachii: BB)、上腕三頭筋 (triceps brachii: TB) の表面筋電図 (EMG) を筋電計 (MEB-2216 Neuropack, NIHON KOHDEN) により測定した。やすりで皮膚表面を削り、アルコール綿でふき取ることで皮膚抵抗を軽減した。その後、電極を各筋の筋腹に貼付した。実験を始める前にインピーダンスレベルをチェックし、抵抗が大きい箇所は新たにセンサーを張り替えた。導出したEMGの信号はA/D変換装置 (ML880 powerlab 16/30, ADInstruments) を介してサンプリング周波数1kHzで取得した。被験者はまず、指関節屈曲力と肘関節屈曲力の最大随意収縮力 (MVC) をそれぞれ1回ずつ測定した。それぞれ、3秒以上の最大随意収縮を行い、最大値をその被験者のMVCとした。その後、十分に練習を行った後に課題を行った。右肘および右手指 (母指および示指) を対象に、ある部位を持続収縮した状態で他部位を音合図に素早く反応して弛緩または収縮する課題を行った。被験者にはリアルタイムでモニターを通じて指関節屈曲力および肘関節屈曲力の視覚的なフィードバックを与えた。収縮の強度は全て50%MVCで行った。行った課題は以下の4種類である。(1) 指関節屈曲筋および肘関節屈曲筋を持続収縮した状態から、音合図に反応し肘関節屈曲筋のみを弛緩 (指Keep肘Relax) (2) 指関節屈曲筋のみを持続収縮した状態から、音合図に反応し肘関節屈曲筋を収縮 (指Keep肘Contract) (3) 指関節屈曲筋および肘関節屈曲筋を持続収縮した状態から、音合図に反応し指関節屈曲筋のみを弛緩 (指Relax肘Keep) (4) 肘関節屈曲筋のみ

を持続収縮した状態から、音合図に反応し指関節屈曲筋を収縮 (指Contract肘Keep)。被験者には「持続収縮力を50% MVCでキープしてください」という教示をした。「行きます」という掛け声を聞いた後に被験者は必要強度の収縮を行い、出力が安定してから2秒以上時間をおいてランダムに音合図を鳴らした。1回の試行はおおむね5~10秒程度であった。弛緩の課題では、拮抗筋の活動がないことを毎回確認した。4条件を各15回ずつ計60回行った。試行順はランダムに行った。疲労の影響を考慮し、試行間には十分な休憩をとった。音合図前500msから音合図後2500msまでの3000ms間の指関節屈曲出力、肘関節屈曲出力およびEMGを記録した。

3) 解析項目

音合図前500msから音合図までの、指Keep肘Relax課題および指Keep肘Contract課題での指関節屈曲力、また、指Relax肘Keep課題および指Contract肘Keep課題での肘関節屈曲力 (それぞれ「キープしている力」とする) の平均値をBaseline (=1) として標準化した。同様に、指Keep肘Relax課題および指Keep肘Contract課題でのFDIの整流化したEMG変化、また、指Relax肘Keep課題および指Contract肘Keep課題でのBBの整流化したEMG変化 (それぞれ「キープしている主動筋EMG」とする) の平均値をBaseline (=1) として標準化した。

Relaxation onsetおよびContraction onsetを0msとし、-399ms~2000msの間の指関節屈曲出力および肘関節屈曲出力、また、FDIおよびBBのEMG変化の平均および標準偏差を算出した。Contraction onsetは筋活動が認められた時間、Relaxation onsetは筋活動が終了する時間とし、それぞれ被験者がPCのモニター上で同定した (Buccolieri et al., 2004; Begum et al., 2005; Kato et al., 2016)。

4) 統計処理

Relaxation onsetおよびContraction onsetを0msとした時の、-399msから2000msまで400msごとの平均値を算出し、Baselineと比較した。筋弛緩に伴う神経機構や筋活動の変化を検討した先行研究では、50msごと (begum et al., 2005)、100msごと (Kato et al., 2016)、200msごと (Kato et al., 2015) を用いるなど、その現象に応じて各々のbin区間を設けている。本研究では、フォースレベルおよび筋活動の変化が先行研究よりも長期に渡ることを予備実験で確認しているため、Kato et al., 2015で用いた200msの倍の区間を設けた。Wilcoxonの符号付順位検定を用い、有意水準は $p < 0.05$ とした。

III. 結果

一人の被験者から得られた、整流化した筋電図と Force Level の変化を図1-1および図1-2に示した。また、Relaxation onset または Contraction onset を 0 ms とした際の -399ms から 2000ms まで、400ms ごとのキープ

している力の平均値を4課題それぞれに算出し、Baseline と比較したものを表1-1および表1-2に示した。同様に、Relaxation onset または Contraction onset を 0 s とした際の -399ms から 2000ms まで、400ms ごとのキープしている主動筋 EMG の4課題それぞれに算出し、Baseline と比較したものを表2-1および表2-2に示した。

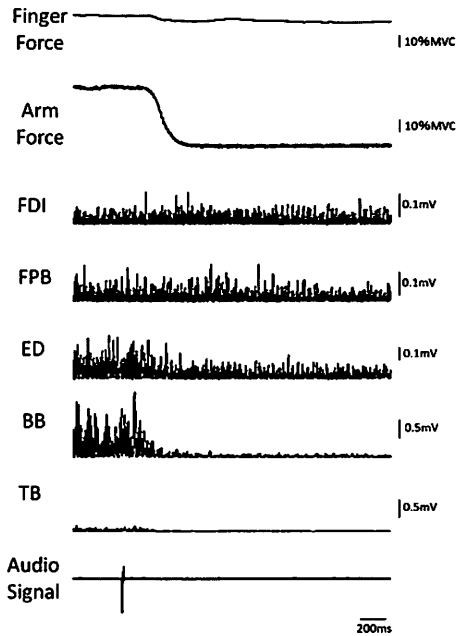


図1-1. 指Keep肘Relax課題時の筋電図（整流波形）および Force Level の変化

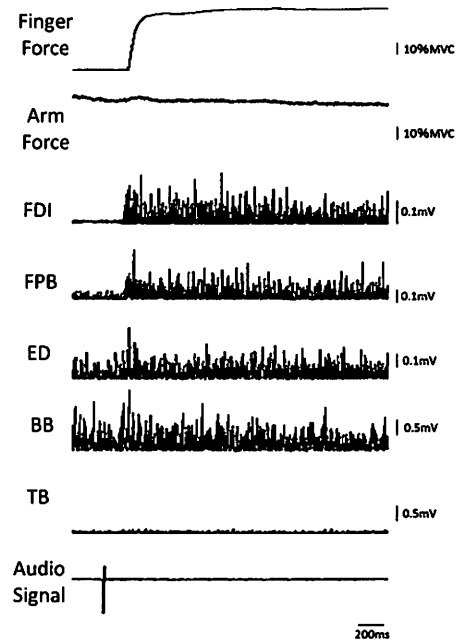


図1-2. 指Contract肘Keep課題時の筋電図（整流波形）および Force Level の変化

表1-1. 肘関節屈曲筋を弛緩または収縮した際の指関節屈曲力の 400ms ごとの変化

	Time (ms)					
	-399~0	1~400	401~800	801~1200	1201~1600	1601~2000
Relax	0.991 ± 0.021	0.913 * ± 0.047	0.841 * ± 0.096	0.883 * ± 0.082	0.906 * ± 0.070	0.911 * ± 0.053
Contract	0.991 ± 0.023	0.968 ± 0.036	0.926 ± 0.065	0.908 ± 0.065	0.906 ± 0.059	0.909 ± 0.053

* : compared to the baseline (p<0.05)

表1-2. 指関節屈曲筋を弛緩または収縮した際の肘関節屈曲力の 400ms ごとの変化

	Time (ms)					
	-399~0	1~400	401~800	801~1200	1201~1600	1601~2000
Relax	0.994 ± 0.020	0.885 * ± 0.093	0.810 * ± 0.105	0.828 ± 0.090	0.842 * ± 0.090	0.852 * ± 0.097
Contract	0.994 ± 0.020	1.038 * ± 0.033	1.064 * ± 0.046	1.073 * ± 0.058	1.078 * ± 0.056	1.084 * ± 0.059

* : compared to the baseline (p<0.05)

表2-1. 肘関節屈曲筋を弛緩または収縮した際のFDIのEMGの400msごとの変化

	Time (ms)					
	-399~0	1~400	401~800	801~1200	1201~1600	1601~2000
Relax	0.999 ± 0.006	0.955 ± 0.098	0.899 ± 0.090	0.893 * ± 0.069	0.890 * ± 0.079	0.898 * ± 0.077
Contract	1.026 ± 0.035	1.237 ± 0.273	1.208 ± 0.252	1.149 ± 0.194	1.165 ± 0.235	1.166 ± 0.280

* : compared to the baseline (p<0.05)

表2-2. 指関節屈曲筋を弛緩または収縮した際のBBのEMGの400msごとの変化

	Time (ms)					
	-399~0	1~400	401~800	801~1200	1201~1600	1601~2000
Relax	0.998 ± 0.041	0.879 ± 0.104	0.807 ± 0.197	0.898 ± 0.186	0.953 ± 0.171	0.948 ± 0.139
Contract	1.001 ± 0.072	0.941 ± 0.144	0.896 ± 0.173	0.892 ± 0.134	0.891 ± 0.131	0.882 ± 0.127

* : compared to the baseline (p<0.05)

指関節屈曲筋 (FDI および FPB) 弛緩時に拮抗筋 (ED) に筋活動が認められた4試行, 肘関節屈曲筋 (BB) 弛緩時に拮抗筋 (TB) に筋活動が認められた4試行の計8試行 (全600試行の1.3%) を解析から除外した。

指Keep肘Relax課題では, キープしている力は, 1~400 ms, 401~800 ms, 1201~1600 ms, 1601~2000 msでBaselineより有意に減少した ($p < 0.05$)。指Keep肘Contract課題では, キープしている力は, 0ms以降どの区間もBaselineと比較すると有意に増加した ($p < 0.05$)。指Relax肘Keep課題でのキープしている力は, 0ms以降どの区間もBaselineと比較すると有意に減少した ($p < 0.05$)。指Contract肘Keep課題でのキープしている力はどの区間もBaselineと比較して有意な差が認められなかったが, 1601~2000 msで減少傾向が見られた ($p = 0.054$)。

一方でEMG変化では, 指Keep肘Relax課題で, 801~1200ms, 1201~1600 ms, 1601~2000 msでBaselineより有意に減少した ($p < 0.05$)。指Keep肘Contract課題では, どの区間もBaselineと比較して有意な差が認められなかったが, 1~400msで増加傾向が見られた ($p = 0.054$)。指Relax肘Keep課題では, どの区間もBaselineと比較して有意な差が認められなかったが, 1~400msで減少傾向が見られた ($p = 0.078$)。指Contract肘Keep課題ではどの区間もBaselineと比較して有意な差が認められなかった。

IV. 考察

本研究の目的は, 筋の弛緩および収縮が同肢内の他筋の持続収縮に及ぼす影響を明らかにすることである。肘関節屈曲筋の弛緩により指関節屈曲力は有意に低下し, 肘関節屈曲筋の収縮により指関節屈曲力は有意に増加した ($p < 0.05$)。さらに, 肘関節屈曲筋の弛緩によりFDIのEMGは有意に減少し ($p < 0.05$)。肘関節屈曲筋の収縮によりFDIのEMGは増加する傾向が見られた ($p = 0.054$)。また, 指関節屈曲筋の弛緩により肘関節屈曲力は有意に低下し ($p < 0.05$)。指関節屈曲筋の収縮により肘関節の屈曲力は低下する傾向が見られた ($p = 0.054$)。さらに, 指関節屈曲筋の弛緩によりBBのEMGは減少傾向が見られ ($p = 0.078$)。指関節屈曲筋の収縮によりBBのEMGの変化は見られなかった。これらの結果より, 筋の弛緩は出力およびEMGから検討すると, 同肢内の他筋の活動を抑制することが示唆された。また, 肘関節屈曲筋の収縮は出力およびEMGから検討すると指関節屈曲筋の活動を促進するが, 指関節屈曲筋の収縮は出力から検討すると肘関節屈曲筋の活動を抑制する傾向が見られたが, EMGへの影響は見られなかった。Force Levelでの有意な変化が見られたのにもかかわらず, EMGの変化が見られ

なかった理由としては, 本研究では指関節屈曲動作と肘関節屈曲動作を対象とし, その主動筋としてFDIとBBのEMGを測定した。しかしながら, 指関節屈曲動作と肘関節屈曲動作を担う筋はこの二つ以外にも存在する。そのため, 有意なForce Levelの変化が認められつつも主動筋のEMG変化が認められなかったという可能性が考えられる。つまり, 今回測定した筋以外の筋で有意な変化があった可能性が考えられる。

これまでに, 前腕の筋を持続収縮する際に下腿の筋を弛緩すると, 前腕の収縮力が減少することが明らかとなっている (Kato et al., 2014; 2015)。本研究により, 指関節屈曲筋を弛緩すると肘関節屈曲筋の持続収縮力が減少し, 肘関節屈曲筋を弛緩すると指関節屈曲筋の持続収縮力が減少し, さらにEMGが減少することが明らかとなった。これらのことより, ある筋の弛緩は, 同側他肢のみならず, 同肢内の他筋にも抑制性的影響を及ぼす事が示唆された。

また, 足関節筋の弛緩により, 手関節筋を支配する皮質脊髄路の興奮性が低下することがTMSを用いた研究により明らかとなっている (Kato et al., 2016)。このことから, 本研究における持続収縮力の低下も, 指関節屈曲筋および肘関節屈曲筋を支配する皮質脊髄路の興奮性低下が関与している可能性が考えられる。これらのことについて, 指関節屈曲筋の弛緩時に, TMSを用いて肘関節屈曲筋を支配する皮質脊髄路の興奮性を評価したり, 反対に, 肘関節屈曲筋の弛緩時に, TMSを用いて指関節屈曲筋を支配する皮質脊髄路の興奮性を評価したりするなど, 今後さらなる検討が必要である。

一方で, 前腕の筋を持続収縮する際に下腿の筋を収縮すると, 前腕の収縮力が増加することが明らかとなっている (Kato et al., 2015)。さらに, 足関節筋の収縮時には, 手関節筋を支配する皮質脊髄路の興奮性が増加することが報告されている (Baldissera et al., 2002)。これらの先行研究から, ある筋の収縮は他筋に興奮性的影響を及ぼすという事が知られている。しかし, 今回の研究で, 指関節屈曲筋を収縮すると肘関節屈曲筋の持続収縮力が減少する傾向があり, 肘関節屈曲筋を収縮すると指関節屈曲筋の持続収縮力が増加することが明らかとなった。つまり, 筋収縮が同肢内の他筋に及ぼす影響は組み合わせる筋によって異なるということが示唆された。この影響の違いが生じた要因の一つとして, 機能的意義が組み合わせにより大きく異なることが考えられる。肘を屈曲する際には, 指の力も必要とされることが多く想定される。例えば, 重いドアを引くとき, 肘を屈曲すると共にドアノブをしっかりと握る必要がある。そのため, 上腕二頭筋の収縮に伴って第一背側骨間筋の収縮も誘発された可能性が考えられる。その結果, 肘関節屈曲筋の収縮により指関

節屈曲力が増加したと考えられる。反対に、ある部位を弛緩する場面では、他部位も収縮の必要がなくなることが多く想定される。例えば、ドアノブから手を離すときは、上腕の筋も収縮する必要がなくなる。そのため、上腕二頭筋の弛緩に伴って第一背側骨間筋の弛緩も誘発された可能性が考えられる。その結果、肘関節屈曲筋の弛緩により指関節屈曲力が低下したと考えられる。肘関節の屈曲動作は主に手関節から先の位置決定を担う機会が多く想定される。一方で指関節の屈曲動作は、本研究の課題で扱ったつまみ動作など、作業を担う場合が多く想定される。位置決定の動作と作業の動作を同時に行うとき、作業の動作に意識が偏った可能性が考えられる。そのため、指関節屈曲筋の収縮により肘関節の屈曲力が低下した可能性が考えられる。

また、対象とした筋が先行研究と異なることも、違いを生じた要因の一つとして考えられる。これまでの研究 (Baldissera et al., 2002; Borroni et al., 2006; Hortobágyi et al., 2003; Kato et al., 2015, 2016) では、足関節筋や手関節筋など、今回対象とした指関節屈曲筋と比べ、より近位かつ大きな筋を扱っていた。より近位にある比較的大きな筋群は多くの場合、他の筋と協調して動作する。一方で、指関節筋は独立して動作することも多く想定される。そのため、肘関節屈曲筋の収縮により指関節屈曲筋の持続収縮力が増加し、指関節屈曲筋の収縮により肘関節屈曲筋の持続収縮力が低下したと考えられる。この違いについて、他の同肢内の複数筋の組み合わせについて同様の実験を行うなど、今後さらなる検討が必要である。

Buccolieriら (2004) は、筋が弛緩する 30ms 前に、その筋を支配する皮質脊髄路の興奮性が低下することを明らかにした。また、複数筋を対象に行った研究 (Kato et al., 2015) では、足関節の弛緩後 0 ~ 200ms の間に上肢の皮質脊髄路の興奮性が低下することが明らかとなっている。本研究では、指 Keep 肘 Relax 課題、指 Keep 肘 Contract 課題、および指 Relax 肘 Keep 課題において、Relaxation Onset / Contraction Onset 直後の 400ms 間で有意な変化が確認された。この結果は、先行研究 (Kato et al., 2015) とおおよそ一致しており、同側他肢のみならず同肢内でも、ある部位の Relaxation Onset / Contraction Onset 直後に他部位に影響を及ぼす可能性が示唆された。このことから、ある部位の収縮・弛緩が他筋の活動に与える抑制・促進などの影響は、Relaxation onset または Contraction onset の直後に生じるという事が示唆された。また、その影響は収縮・弛緩した筋からの距離に関わらず全身同時に及ぶ可能性が示唆された。

V. まとめ

本研究は、指関節屈曲筋と肘関節屈曲筋を対象とし、筋の弛緩および収縮が同肢内の他筋に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。その結果、肘関節屈曲筋の弛緩により指屈曲力は低下し、収縮により増加した。指関節屈曲筋の弛緩により肘屈曲力は低下し、収縮も低下する傾向が見られた。また、肘関節屈曲筋の弛緩により FDI の EMG は低下し、収縮により増加傾向があった。指関節屈曲筋の弛緩により BB の EMG は低下傾向があり、収縮は影響を及ぼさなかった。したがって、筋の弛緩は同肢内の他筋の活動を低下させること、筋の収縮が同肢内の他筋に及ぼす影響は組み合わせる筋によって異なるという事が示唆された。

VI. 参考文献

- Baldissera F, Borroni P, Cavallari P, Cerri G (2002) Excitability changes in human corticospinal projections to forearm muscles during voluntary movement of ipsilateral foot. *J Physiol* 539.3, 903-911.
- Begum T, Mima T, Oga T, Hara H, Satow T, Ikeda A et al. (2005) Cortical mechanisms of unilateral voluntary motor inhibition in humans. *Neurosci. Res.* 53: 428-435.
- Borroni P, Cerri G, Baldissera F (2006) Excitability changes in resting forearm muscles during voluntary foot movements depend on hand position: a neural substrate for hand-foot isodirectional coupling. *Brain Res.* 1022: 117-125.
- Buccolieri A, Abbruzzese G, J. C. Rothwell (2004) Relaxation from a voluntary contraction is preceded by increased excitability of motor cortical inhibitory circuits. *J Physiol* 558.2: 685-695.
- Furuya S, Kinoshita H (2008) Organization of the upper limb movement for piano key-depression differs between expert pianists and novice players. *Exp Brain Res.* 185: 581-593.
- Hortobágyi T, Taylor JL, Petersen NT, Russell G, Gandevia SC (2003) Changes in Segmental and Motor Cortical Output With Contralateral Muscle Contractions and Altered Sensory Inputs in Humans. *J. Neurophysiol* 90: 2451-2459.
- Kato K, Muraoka T, Higuchi T, Mizuguchi N, Kanosue K. (2014) Interaction between simultaneous contraction and relaxation in different limbs. *Exp Brain Res.* 232: 181-189.
- Kato K, Watanabe T, Kanosue K (2015) Effects of muscle relaxation on sustained contraction of ipsilateral remote muscle. *Physiol. Rep.* 3: e12620.
- Kato K, Muraoka T, Mizuguchi N, Nakagawa K, Nakata H, Kanosue K. (2016) Muscle Relaxation of the Foot Reduces

- Corticospinal Excitability of Hand Muscles and Enhances Intracortical Inhibition. *Front Hum Neurosci.* 10: 218.
- Sakurai S, Ohtsuki T (2000) Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *J Sports Sci* 18: 901-914.
- Spraker MB, Corcos DM, Vaillancourt DE (2009) Cortical and Subcortical Mechanisms for Precisely Controlled Force Generation and Force Relaxation. *Cereb Cortex* 19: 2640-2650.
- Tazoe T, Endoh T, Nakajima M, Sakamoto, T, Komiyama. (2007) Disinhibition of upper limb motor area by voluntary contraction of the lower limb muscle. *Exp. Brain Res.* 177: 419-430.
- Toma, K., M. Honda, H. Hanakawa, T. Okada, H. Fukuyama, et al. (1999) Activities of the Primary and Supplementary Motor Areas Increase in Preparation and Execution of Voluntary Muscle Relaxation: An Event-Related fMRI Study. *J. Neurosci.* 19: 3527-3534.

連絡責任者

住所：〒359-1165 埼玉県所沢市堀ノ内135-1-108

早稲田大学スポーツ科学研究科

氏名：国分 真秀

Tel & Fax：04-2947-6826

E-mail：bun-bun-bun@akane.waseda.jp