

平成30年6月27日現在

機関番号：22702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350625

研究課題名(和文) 障がい児・者の運動学習に働きかける筋弛緩リハビリテーションプログラムの開発

研究課題名(英文) Development of rehabilitation technique to facilitate muscle relaxation

研究代表者

菅原 憲一 (Sugawara, Kenichi)

神奈川県立保健福祉大学・保健福祉学部・教授

研究者番号：90280198

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、中枢神経障害や整形外科疾患に存在する筋緊張異常を緩和するための随意的筋弛緩を誘発するメカニズムを解析するとともに、それを可能にする有効刺激などの検討を行うことである。今回、上位運動中枢および下位運動中枢の筋弛緩を制御する上で、弛緩を発生させるための重要なトリガーである運動野の興奮性変化が弛緩直前に存在することを観察した。また、随意的な筋弛緩を誘発させるための操作として感覚入力的重要性さらには、弛緩課題を反復して行うことで学習による運動制御動態と学習経過に関して上位中枢の可塑的变化が生じることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to produce a new rehabilitation technique for voluntary muscle relaxation that could improve muscle spasticity and muscle stiffness for pain. The present findings suggest that terminating a muscle contraction triggers transient neurophysiological mechanisms that facilitate cortical motor excitability in the period prior to muscle relaxation. And, the electrical stimulation might facilitate motor cortical excitability serve as this transient trigger for the relaxation of prime mover muscles in a therapeutic context. Moreover, the cortical mechanisms that mediate muscle relaxation following motor learning need to be clarified in order to effectively rehabilitate patients with motor disturbances. Further studies should also investigate techniques that could help patients learn how to control muscle release.

研究分野：理学療法学

キーワード：理学療法学 運動学習 随意的筋弛緩 運動制御

### 1. 研究開始当初の背景

筋が正常に作用しなくなったヒトは、各種基本動作の遂行が困難となり、活動の参加が制約される。そのため、障がい児・者のリハビリテーションでは、筋収縮や筋力増強トレーニングにより、基本動作の習得が重要となる。しかし、中枢神経系疾患や整形外科疾患では、筋緊張異常や痛みによって過剰な筋収縮が観察され、随意的な筋制御に問題が生じるケースが少なくない。この結果、筋力増強トレーニングの導入が遅延するだけでなく、関節の拘縮・変形などの二次障害の併発が助長され、障がい児・者の機能回復を妨げている。このような観点から、障がい児・者のリハビリテーションにおいて筋を弛緩させるためのリハビリテーションが重要な役割を担っている。

筋弛緩のリハビリテーションとしては、筋を伸張するストレッチングが臨床場面で広く普及している。しかし、その効果は一過性的のもので、十分な成果を収めているとは言い難い。その理由としては、各種疾病の病態とストレッチングの生理的作用の不適合が背景にある。過剰な筋収縮を示す病態は、痛み由来する防御的収縮、疲労、または中枢神経障害など多種多様な原因が存在する。それに対し、ストレッチングは下位運動ニューロンである脊髄反射機構に生理学的根拠をもつ治療手技であり、永続的な筋弛緩効果を得ることが難しい。そのため、療法士の加える介入(感覚入力)により上位運動中枢に生じる筋弛緩制御メカニズムを詳細に分析することで、障がい児・者が受容しやすい感覚刺激を応用した筋弛緩を確立することが、この問題の解決に必要な不可欠と考える。そこで、我々は基礎実験として療法士の介入を電気刺激と想定し、筋弛緩誘発の可能性を見出すための先行研究を実施した(Sugawara, et al.2011)。この研究を通して、随意収縮と電気刺激量の増大を伴うことにより拮抗筋の運動誘発電位(MEP)が減少するという知見を解明した。この知見が障がい児・者の筋弛緩プログラムの開発に示唆することは、適切な電気刺激(感覚入力)の質・量と随意運動課題を設定することで、その拮抗筋を支配する皮質領域に抑制メカニズムを発生させることである。このような抑制メカニズムを筋弛緩治療に応用すれば、障がい児・者の受容しやすい筋の弛緩方法を運動学習する機会を提供することにつながる。しかし、この知見を臨床応用するには基礎研究レベルで、1)中枢神経による筋弛緩制御動態のさらなる解析、2)筋を弛緩させる有効刺激の考慮が重要な課題と成り得る。当該研究においてはこの部分に着目した研究の取り組みを行い、筋弛緩獲得のためのリハビリテーションプログラムに示唆を与えるものである。

### 2. 研究の目的

健常成人の筋弛緩制御動態の解明を目的と

して健常成人を対象に、皮質運動野における筋弛緩制御メカニズムの検討を行うとともに弛緩に有効な電気刺激の特性および刺激タイミングを明らかにする。これらの知見から筋弛緩に関わる上位・下位運動中枢における運動制御メカニズムを明らかにし、筋弛緩を獲得する治療プログラムに対して基礎的な観点から示唆を与えるものである。

### 3. 研究の方法

本研究は、随意筋収縮から弛緩を行う場面においてその弛緩直前に存在する大脳皮質運動野における促通抑制現象を経頭蓋磁気刺激を用いた運動誘発電位を指標に弛緩を発生する際の時系列における変化を分析した。また、この現象に対して末梢感覚入力として収縮筋やその拮抗筋に対する電気刺激を行うことによる筋弛緩時に生じる変化を分析した。さらに、筋弛緩を反復学習させた場合に生じる上記の促通抑制現象に対して同一指標を用いることで電気生理学的な検証を行った。

### 4. 研究成果

1)運動課題は座位にて自作の張力測定装置による手関節背屈運動を行った。電気刺激(ES)は日本光電社製 isolator によって行った。刺激電極は、デイズポ電極を用い、主動作筋である右橈側手根伸筋(ECR)に貼付し行った。刺激パラメータは、周波数100Hz、パルス幅100 $\mu$ sとした。刺激強度は、感覚閾値(ST)および運動閾値(MT)の各1.2倍として付与した2群(ST群;N=7,MT群;N=8)を構成した。被験者は手関節背屈を20%最大随意収縮(MVC)で保持している状態から反応音により随意的弛緩を行う課題とした。その際、刺激筋である ECR とその拮抗筋である橈側手根屈筋(FCR)の2筋からTMSによるMEPを同時記録した。TMSのタイミングは反応音後、30,60,90msの3つの区間で行い、時間的な相違による興奮性変化をそれぞれ検討した。なお、control MEPは20%MVC保持時のMEPとし、課題時MEPをその比(MEP比)で示した。TMSはMagstim200

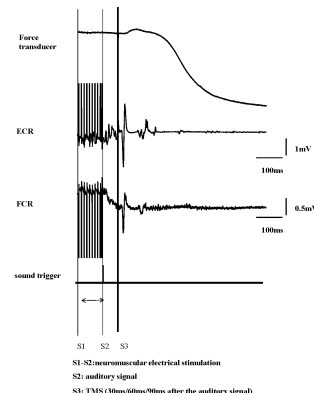
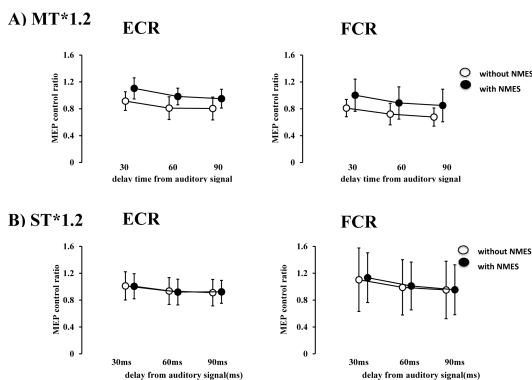
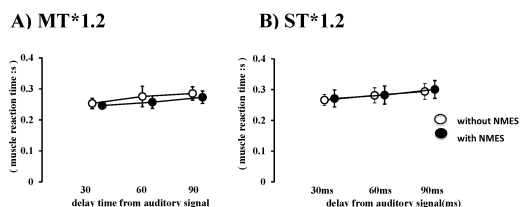


Fig1

(Magstim 社製) を使用し、刺激コイルは 8 字コイルを用いた。MEP 計測は誘発筋電計 (日本光電社製) を使用した。サンプリング周波数は 4kHz、帯域幅は 5-2000Hz とした。さらに、反応音から一定随意収縮による筋張力が 50% 減衰するまでの時間を計測し弛緩に関わる反応時間の指標とした。その結果、高い強度の ES を与えた場合、弛緩直前の ECR と FCR を支配する皮

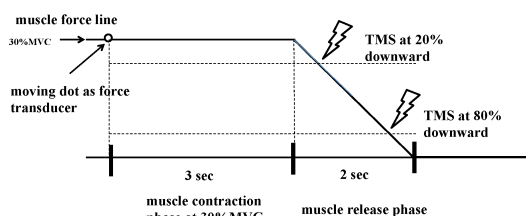


質運動野の興奮性は有意に増大を示した。またこの条件における弛緩に関わる反応時間が有意に短縮を示した。さらに、反応音



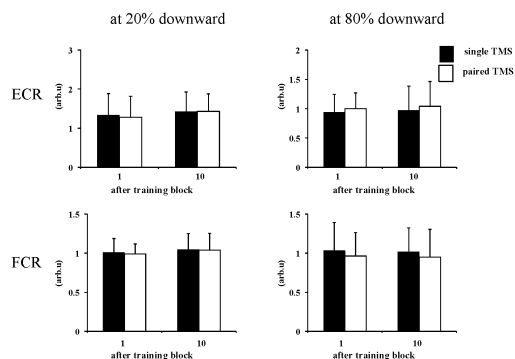
後 30ms と 60ms の間に有意差を認めた。以上の結果から、随意的筋収縮からの弛緩制御を行う期間において、一過性の皮質運動野の興奮性上昇が認められ、またこの現象は弛緩を生じるためのトリガーとなっている可能性が示唆された。さらに、主動筋への高強度の ES 付与によりこの一過性の興奮性上昇を賦活し弛緩を生じやすくすることが示唆された。

2) 筋弛緩のダイナミックな変化中 (下降 20% 時および 80% 時) の 2 点に対して大脳皮質運動野 (M1) の興奮性動態の変化および短潜時皮質内抑制 (SICI) の変化を指



標として運動学習前後における弛緩動態の変容を検討した。運動課題は発揮した張力をドットしてモニターに示し、手関節背屈 30% 最大収縮 (30% MVC) からのゆっくりとした随意的筋弛緩をモニターに示した指示線に沿って行うトラッキング課題によ

り行った。13 名の被験者を対象として実験を行った。運動学習は、この運動を 1 セット 10 回として 10 セットを行いこの指示線による筋弛緩のタイミングを学習する課題とした。TMS による MEP の計測は single-MEP と paired-pulse MEP による 2 種類の測定を下降 20% 時および 80% 時点においてランダムに計測を行った。この計



測された MEP と SICI を運動学習前後で比較を行った。その結果、トラッキングによるパフォーマンスの上昇が認められた。また M1 の興奮性は学習後に上昇を示した。手関節背屈に関わる主動筋の SICI は学習後に 80% 下降時 (完全弛緩に近い部分) に有意に増加を示した。なお、拮抗筋の SICI も同様な時期に有意な増加を示した。

以上の結果から、運動学習によって得られる筋弛緩制御の適応および獲得は主動筋と拮抗筋に関わる SICI の増加が認められることが認められた。この見解は筋弛緩制御の獲得に対して皮質内における抑制機構の増加が生じることによって得られるものと結論した。

以上の結果から、随意的筋弛緩を得るための重要な要素として、弛緩直前に見られる運動野の一過性の興奮性増大がトリガーとなっていること、さらにそのトリガーの発生に対して末梢性感覚入力がある効果を促進する。そして、筋弛緩を学習することに関しては皮質内の抑制が増大するメカニズムが存在することが示唆された。これらの見解を基礎的にさらに検討するとともに、臨床応用に向けた展開を今後継続して行うものである。

## 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 8 件)

1. Tatemoto T, Tsuchiya J, Numata A, Osawa R, Yamaguchi T, Tanabe S, Kondo K, Otaka Y, Sugawara K. Real-time changes in corticospinal excitability related to motor imagery of a force control task. Behav Brain Res. 2017 Sep 29;335:185-190. (査読あり)

2. 沼田純希, 土屋順子, 立本将士, 大澤竜司, 鈴木智高, 田辺茂雄, 菅原憲一. 1) 両側足関節の反復運動における位相の違いが皮質脊髄路興奮性に与える影響. 日本基礎理学療法学雑誌 20(2): 44-50 2017. (査読あり)
3. Sugawara K, Tanabe S, Suzuki T, Higashi T. Effect of neuromuscular electrical stimulation on motor cortex excitability upon release of tonic muscle contraction. Somatosens Mot Res 2016 Sep - Dec;33(3-4):161-168. (査読あり)
4. Suzuki T, Sugawara K, Ogahara K, Higashi T. Time Course of Corticospinal Excitability and Intracortical Inhibition Just before Muscle Relaxation. Front Hum Neurosci. 2016 Jan 28;10:1. (査読あり)
5. Kenichi Sugawara, Shigeo Tanabe, Tomotaka Suzuki, Kei Saitoh, Toshio Higashi. Modification of motor cortex excitability during muscle relaxation in motor learning. Behavioural Brain Research 296 (2016) 78-84. (査読あり)
6. Naoshin Yoshida, Tomofumi Yamaguchi, Kei Saitou, Shigeo Tanabe, Kenichi Sugawara. Increasing corticospinal excitability in the antagonist muscle during muscle relaxation with a tracking task. Somatosens Mot Res. 2015 Mar;32(1):39-43. (査読あり)
7. Suzuki T, Sugawara K, Takagi M, Higashi T. Excitability changes in primary motor cortex just prior to voluntary muscle relaxation. J Neurophysiol. 2015 Jan 1;113(1):110-5. (査読あり)
8. Sugawara K, Yamaguchi T, Tanabe S, Suzuki T, Saito K, Higashi T. Time-dependent changes in motor cortical excitability by electrical stimulation combined with voluntary drive. Neuroreport. 2014 Apr 16;25(6):404-9. (査読あり)

[学会発表](計 9 件)

1. 岩崎理紗, 大澤竜司, 鈴木智高, 菅原憲一. 筋振動刺激が拮抗筋を支配する上位・下位中枢神経機構に及ぼす影響について 第 25 回日本物理療法学会 2017.10.29 (奈良)
2. 大澤竜司, 岩崎理紗, 土屋順子, 田辺茂雄, 鈴木智高, 菅原憲一. 一側肢の反復練習がもたらす非練習肢運動イメージの変化, およびパフォーマンスへの影響 第 52 回日本理学療法学会 2017.5.12 (千葉幕張)
3. 大澤竜司, 立本将士, 土屋順子, 沼田純希, 田辺茂雄, 鈴木智高, 菅原憲一. 一側下肢の運動学習に伴う

- 質脊髄路興奮性の変化と, 対側下肢へ及ぼすパフォーマンスの影響 第 51 回日本理学療法学会(札幌) 2016.5.27
4. 菅原憲一, 田辺茂雄, 鈴木智高, 米津亮電気刺激付与からの筋弛緩動作における大脳皮質運動野の興奮性変化 第 51 回日本理学療法学会(札幌) 平成 2016.5.27
5. 鈴木智高, 菅原憲一, 小河原格也, 東登志夫. 筋弛緩制御における一次運動野興奮性と短潜時皮質内抑制動態の関連性, 第 34 回関東甲信越ブロック理学療法士学会(甲府), 2015.9.12.
6. 立本将士, 土屋順子, 沼田純希, 田辺茂雄, 山口智史, 近藤国嗣, 大高洋平, 菅原憲一. トラッキング課題における運動学習に伴う運動イメージ中の皮質脊髄路興奮性の変化 第 50 回日本理学療法学会(東京) 2015.6月6日
7. 立本将士, 山口智史, 田辺茂雄, 近藤国嗣, 大高洋平, 田中悟志, 菅原憲一. 経頭蓋磁気刺激法における下肢運動誘発電位と頭皮-皮質間距離の関係. 第 1 回日本基礎理学療法学会学術集会・日本基礎理学療法学会第 4 回学術大会合同学会(名古屋), 2014.11.15
8. 土屋順子, 山口智史, 山本和子, 菅原憲一. 聴覚刺激と随意運動の組み合わせが皮質脊髄路興奮性に与える効果 第 49 回日本理学療法学会(横浜) 2014.6.1
9. 鈴木智高, 東登志夫, 高木峰子, 菅原憲一. 随意的筋弛緩制御における一次運動野の興奮性変化 - 経頭蓋磁気刺激を用いたタイムコース研究 - , 第 49 回日本理学療法学会(横浜). 2014.5.30.

[図書](計 0 件)

[その他]

ホームページ等: 無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

菅原 憲一 (SUGAWARA Kenichi)

神奈川県立保健福祉大学 保健福祉学部  
リハビリテーション学科 理学療法専攻・教授

研究者番号: 90280198

### (2) 研究分担者

鈴木 智高 (SUZUKI Tomotaka)

神奈川県立保健福祉大学 保健福祉学部  
リハビリテーション学科 理学療法専攻・准教授

研究者番号: 00576382