

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：22702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750212

研究課題名(和文) 同側一次運動野の興奮性変化と運動制御の関係性

研究課題名(英文) The relationship between motor control and ipsilateral motor cortex activation

研究代表者

鈴木 智高 (SUZUKI, TOMOTAKA)

神奈川県立保健福祉大学・保健福祉学部・助教

研究者番号：00576382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な運動制御に伴う同側一次運動野興奮性は学習前両半球において対称的に生じたが、技能向上後、左同側一次運動野興奮性が著明に減少した。左半球における運動優位性は片手運動時の同側一次運動野興奮性と関連がある。また、筋弛緩制御において、一次運動野興奮性は一時的に増加し、さらにそれに先行して皮質内抑制が減少をした。弛緩前初期の皮質活動が筋弛緩制御において重要であることが示唆される。運動制御に伴う一次運動野興奮性を促通する治療介入は、リハビリテーションにおいてより効果的なものとなるだろう。

研究成果の概要(英文)：Ipsilateral motor cortex activation, associated with a complex motor task, showed symmetrical in both hemispheres before motor learning. However, ipsilateral activation was significantly reduced only in left motor cortex after a short-term period of exercise. The results show that left-hemisphere motor dominance relates to ipsilateral motor cortex activation during unimanual hand movements. Additionally, short-interval intracortical inhibition was decreased before muscle relaxation, and this was followed immediately by a temporary activation of motor cortex. The findings suggest that cortical activation in early stage plays an important role in muscle relaxation control. An intervention to facilitate motor cortex activation associated with motor control would be more effective in rehabilitation.

研究分野：理学療法学

キーワード：経頭蓋磁気刺激 一次運動野 運動制御

1. 研究開始当初の背景

大脳半球には、左右の違い、ラテラルリティがあると考えられている。このような脳活動の非対称は、利き手による違いや運動制御においても認められる。右利きの参加者が片手対立運動を行っている最中の脳活動を測定すると、左手(非利き手)運動時のみに、対側に加えて同側の運動野にも活動(ipsilateral M1 activation)が生じると報告されている。他の研究においても、右利きの場合の左手運動時に、左運動野がより多く活動し、その活動は、単純な運動課題よりも複雑な運動課題でより鮮明になることが報告されている。

すなわち、左半球が複雑運動の協調的な制御に優位に関与することが示唆されている。しかしながら、複雑な運動制御が運動学習の結果容易になった場合、同側一次運動野興奮性がどのように変化するのは未解明であり、また、同側一次運動野興奮性のメカニズムと機能的意味についても明らかにされていない。

2. 研究の目的

脳卒中により生じる片麻痺において、その残存機能は予後を左右する。現在までのところ、同側一次運動野興奮性はこの残存する機能として考慮されてはいない。さらに、この活動が半球間非対称であり、左半球に優位であるという知見も、脳卒中後のリハビリテーションにおいて考慮されていない。

また、麻痺肢には脳卒中に伴う中枢神経の損傷により不随意的収縮である痙縮が生じる。この痙縮は麻痺肢の運動機能を低下させる大きな要因となっている。しかしながら、ヒトがどのように筋の弛緩を制御しているかはほとんどわかっていない。

よって、本研究の目的は運動制御に関わる同側一次運動野興奮性のメカニズムおよび筋弛緩制御における一次運動野の興奮性変化を明らかにし、リハビリテーションアプローチに対する提言を行うことである。

3. 研究の方法

(1) 右利き被験者 11 名が参加した。本研究の運動課題はボール回し課題とし、20 分間の練習前後で本課題のパフォーマンス測定と経頭蓋磁気刺激測定が行われた。経頭蓋磁気刺激は単純反応時間課題を用いて、課題実行時における母指球筋の筋電位開始で誘起した。全ての測定において、運動課題は左右それぞれの手で実施され、磁気刺激コイルは課題手と同側半球に置き、対側の母指球筋と第一背側骨間筋から運動誘発電位を記録した。解析は二元配置分散分析を使用して、課題手(右、左)と練習(前、後)の要因を検討した。加えて、練習による上達度と運動誘発電位の変化について、ピアソンの積率相関係数を求めた。

(2)

健康成人 10 名が参加した。被験者には予告音によって最大随意収縮の 20% の力で右示指外転運動を等尺性に保持するよう指示した。一定時間経過後、反応音によって、速やかに筋を弛緩させる反応時間課題を行った。反応音の前 30ms から、反応音後 130ms の区間において、ランダムに経頭蓋磁気刺激が駆動するようにコンピュータ制御した。この反応時間課題を 140 試行実施し同回数の運動誘発電位を測定した。また、弛緩課題に関わる表面筋電図のコントロール波形を得るため経頭蓋磁気刺激無しの試行を 30 回行った。被検筋は右第一背側骨間筋とし、表面筋電図および運動誘発電位を記録した。筋弛緩開始 -100ms から -20ms の範囲内において、20ms ずつ 4 つの区間にまとめ、興奮性変化を明らかにした。解析には Bonferroni 法による多重比較検定を実施した。

上記に加えて、筋弛緩前の一次運動野興奮性に及ぼす短潜時皮質内抑制の影響を調べるため、経頭蓋磁気刺激の二連発刺激法を用いた。実験プロトコルは概ね同様であり、健康成人 10 名を対象とした。

4. 研究成果

(1) 本運動課題において課題手の左右差はなく、両側とも練習後有意にパフォーマンスが向上した。同側一次運動野興奮性の指標となる運動誘発電位に関して、練習前では母指球筋、第一背側骨間筋ともに課題手による差はなく対称的であった。しかしながら、練習後において、右側の母指球筋と第一背側骨間筋のみ有意に減少し、左側では変化が生じなかった(図 1)。

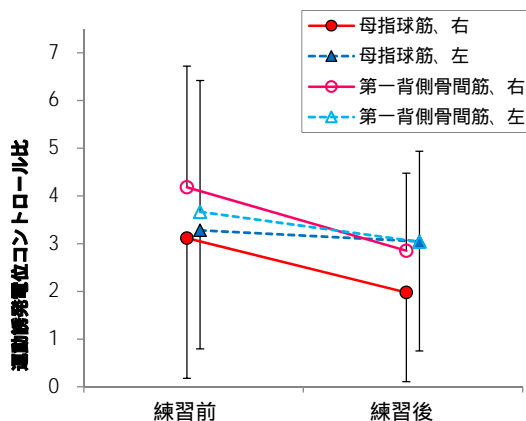


図1 同側一次運動野興奮性の学習変化

本研究では、運動課題中に著明な同側一次運動野興奮性が両側性にかつ対称的に生じていた。複雑な運動制御を要する課題においては、その難易度に依存して同側一次運動野興奮性は両半球において対称性に生じるものと推察される。しかし、運動学習後、左同側一次運動野興奮性のみが有意に減少し、非対称な変化が生じた。先行研究から、左(優位)半球に顕著な同側一次運動野興奮性は、

右(非優位)半球からの不十分な抑制によるものと仮定される。しかしながら、対称性に生じていた同側一次運動野興奮性が、学習後、右半球では変化せず、左半球では減少したことから、この活動は半球間抑制における優劣との関連は少なく、皮質内抑制の増強に影響を受けるものと推察される。

これまで、左半球は運動学習や運動制御において優位であると仮定されてきた。この運動優位性は片手運動時の同側一次運動野興奮性とも関連しており、運動学習においてより顕著に示されることが示唆された。

近年、半球間抑制メカニズムを根拠とする麻痺側上肢の強制使用療法や反復経頭蓋磁気刺激法が注目されている。しかし、本研究では、運動肢と同側の一次運動野が半球間抑制を受けずに運動制御に貢献しており、さらにその機能は左運動野に優位であることが示唆された。よって、損傷した脳領域を考慮して神経リハビリテーションを適用することで、その効果をより明確にすることが可能となる。

## (2)

随意的筋弛緩を実行する 60-80ms 前に一過性の運動誘発電位増加、すなわち一次運動野興奮性の増大がみとめられた(図2)。

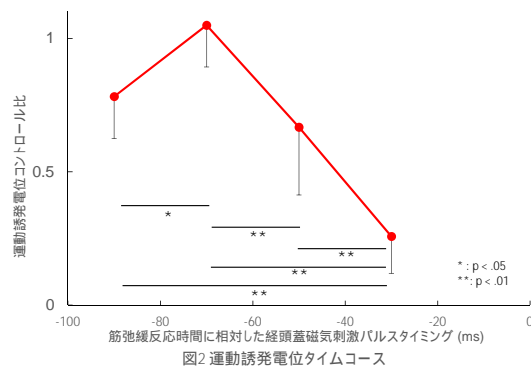


図2 運動誘発電位タイムコース

脳波を用いた先行研究では、随意的筋弛緩は筋収縮と類似した運動関連脳電位が記録されている。よって、筋弛緩においても弛緩直前に中枢神経系に生じる特異的な制御が運動関連領域で行われていると考えられている。本研究の結果はこの弛緩に関わる特異的な制御を裏付けるものである。しかし、脳電位が筋弛緩の前後にわたってゆるやかな増大を示すことに対して、時間分解能に優れた経頭蓋磁気刺激では、一次運動野の興奮性増大は筋弛緩直前の非常に限局された期間に生じていた。この一過性の促通は筋弛緩をトリガーする重要な誘引である可能性が考えられる。一方、-60ms 以降に生じる興奮性の急激な減少は、既に一次運動野において筋弛緩の制御が完了しているものと推察される。

筋弛緩反応において経頭蓋磁気刺激の反応時間遅延効果は少なかった(図3)。一次運動野の一時的な促通に先行して短潜時皮

質内抑制が減少、すなわち脱抑制を示した。その後、一次運動野興奮性が減少にシフトしても短潜時皮質内抑制は増強しなかった。

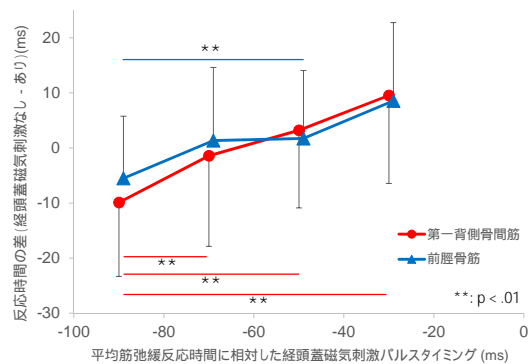


図3 筋弛緩反応時間タイムコース

前回研究同様に筋弛緩制御はアクティブなものであり、一次運動野興奮性のダイナミクスと関連し短潜時皮質内抑制動態も変化することが示唆された。筋弛緩前、初期(約 80ms)の皮質活動が筋弛緩制御に重要であり、一方、後期は筋収縮と異なり重要なフェーズではないと推察された。

これらの研究結果から、筋弛緩前、初期の皮質活動を促通させるリハビリテーション介入(収縮と弛緩の頻回な反復や電気刺激)が、円滑な筋弛緩及び運動制御を導きうることが示唆される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1) 鈴木智高, 菅原憲一, 小河原格也, 東登志夫. Time course of corticospinal excitability and intracortical inhibition just before muscle relaxation. *Front Hum Neurosci* 2016; 10(1)  
doi: 10.3389/fnhum.2016.00001.

2) 鈴木智高, 菅原憲一, 高木峰子, 東登志夫. Excitability changes in primary motor cortex just prior to voluntary muscle relaxation. *J Neurophysiol* 2015; 113(1): 110-5  
doi: 10.1152/jn.00489.2014.

3) 鈴木智高, 東登志夫, 高木峰子, 菅原憲一. Hemispheric asymmetry of ipsilateral motor cortex activation in motor skill learning. *Neuroreport* 2013; 24(13): 693-7  
doi: 10.1097/WNR.0b013e3283630158.

〔学会発表〕(計 3 件)

1) 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, 2015.9.12. アピオウェディングプラザ甲府

(山梨県)

2) 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大会, 2014.5.30. パシフィコ横浜 (神奈川県)

3) 鈴木智高, 東登志夫, 高木峰子, 菅原憲  
一. 片手運動時同側一次運動野の学習による興奮性変化, 第 48 回日本理学療法学会大会, 2013.5.26. 名古屋国際会議場 (愛知県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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・助教

研究者番号: 00576382