

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：32527

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700612

研究課題名(和文)筋損傷時における両側性運動機能低下のメカニズムの解明

研究課題名(英文)Effect of muscle damage induced by eccentric exercise on bilateral motor deficit and its neurophysiological mechanism

研究代表者

遠藤 隆志 (Endoh, Takashi)

植草学園大学・発達教育学部・講師

研究者番号：80510594

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、伸張性運動による片手の筋損傷が両手同時運動に与える影響とその生理的機序について、経頭蓋磁気刺激および直流電流刺激(tDCS)などの電気生理学的手法を用いて明らかにすることを目的とした。片手の筋損傷により、筋損傷のない手も中枢性に影響を受け、両側性機能低下の促進など両手運動の機能低下が生じることが明らかとなった。また、tDCSによる皮質運動野の興奮性増大は半球間抑制を強め、対側の運動機能に影響を与えることが明らかになった。以上より、片手に筋損傷がある時は、筋損傷側の皮質運動野の興奮性増大によって半球間抑制の変化し、その結果として両手同時運動の機能低下が生じる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the effect of unilateral muscle damage induced by eccentric exercise on bilateral motor deficit, and the mechanism, using electrophysiological measurements, including transcranial magnetic and direct current stimulation (tDCS). We showed that unilateral muscle damage enhanced the bilateral deficit by decreasing maximum voluntary contraction on the damaged and intact sides. In addition, modified interhemispheric inhibition due to increased cortical excitability by tDCS affected two-hand motor function. The results suggest that modified interhemispheric inhibition, which is due to increased cortical excitability by unilateral muscle damage, plays a role in enhanced bilateral motor deficit.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・身体教育学

キーワード：皮質運動野 両手運動 両側性機能低下 半球間抑制 運動誘発電位 経頭蓋直流電流刺激 経頭蓋磁気刺激 筋損傷

1. 研究開始当初の背景

筋が収縮しながら引き伸ばされる伸張性筋収縮を繰り返すと筋の微細構造が損傷し、その結果、その運動の 8-24 時間後に遅発性筋痛が発症することは広く知られており、またほとんどの人が経験をしている (遠藤ら, 2006)。この筋損傷時には発揮筋力の不安定化、努力感の増大、持続的な筋力発揮時における中枢性疲労の亢進など、末梢の変化だけではなく中枢も大きな影響を受けて運動機能が低下することが報告されている。この要因として伸張性運動後の筋損傷時には、運動単位の発火頻度および同期的発火が増大することが明らかにされた (Semmler et al., 2007; Dartnell et al., 2008,2009; Endoh et al., 2005)。さらに近年、伸張性運動後の筋損傷時においては、これらの背景として運動中に一次体性感覚運動野と脊髄運動ニューロンプールの同調的活動が高まること (Endoh et al., 2009)、および皮質運動野の興奮性が増大すること (遠藤ら, 2010) などが明らかとなり、筋損傷時における運動機能低下の中枢メカニズムが解明されてきている。また、この筋損傷時には運動学習が阻害され、この筋損傷は身体運動やスポーツにおけるスキル獲得にも大きな影響を及ぼす可能性があることも報告されている (遠藤ら, 2010)。現在までこの筋損傷に有効な予防・回復手段が見当たらないため、安全で効率的な学習を進めるスポーツ・身体教育の推進・普及のためには、筋損傷時の運動制御に関するさらに多くの研究とデータの蓄積が必要であると考えられる。

両手で大きな荷物やバーベルなどを持ち上げる際、水泳のドルフィンキック、バスケットボールのチェストパスなどのように、多くの運動・スポーツでは両側の肢を同時に用いる場面が多いが、片側の肢が筋損傷を受けているときに両側同時の運動はどのような影響を受けるかについてほとんど明らかにされていない。Proske らのグループは、片側の腕の筋が損傷を受けた状態で、両腕での運動を行った際には、両腕の力発揮感および発揮筋力に大きな誤差が生じることを報告している。しかしながら、他にどのような運動が影響を受けるのか、さらにはその詳細な中枢のメカニズムについてはこれまで明らかにされていない (Proske & Morgan, 2001)。

大脳の両半球は密接に関係し、互いの影響を受けることは広く知られている。脳血管障害で患側の皮質運動野の興奮性が低下すると、患側から健側への半球間抑制が弱まることで健側の皮質運動野の興奮性が増大することが知られている (Lindenberg et al., 2010)。また、健常者の片腕に筋疲労を起こした際、その反対の腕の筋疲労を早めることが報告されている (Todd et al., 2003)。これらのことを考慮すると、皮質運動野の興奮性増大などの中枢の変化を生じさせる片側の筋損傷は中枢性に反対側の運動制御機構

を変化させる可能性が高いと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、伸張性運動によって片手の筋に筋損傷を引き起こし、この時の両手同時の様々な力発揮に与える影響を詳細に検討すること、およびこの背景にある神経生理学的メカニズムについて経頭蓋磁気刺激 (TMS) や経頭蓋直流電流刺激 (tDCS) などの電気生理学的手法を用いて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 神経疾患のない 10 名の健常成人被験者は、左の第一背側骨間筋 (FDI) に筋損傷を引き起こすため、自作の実験器材を用いて左手示指の外転の伸張性運動 (ECC) を示指外転の最大筋力発揮 (MVC) が 50%未満に低下するまで繰り返し行った (平均 81 ± 26.6 回)。この運動の前および約 90 分後に両手および片手 (左および右手) において、1) 最大努力で把持力を発揮する最大筋力運動課題、2) 最大筋力の 50%、20%、10% および 5% の目標に把持力を合わせる力調整課題、3) 30 秒間最大筋力を維持する疲労運動課題を行った。これらの課題中、両手の把持に関する筋の筋活動量および母指と示指による把持力を計測し、記録した。また、把持に関する筋において圧痛閾値検査も ECC の前後に行った。

(2) 神経疾患のない健常成人男性 8 名は上記 (1) の実験と同様に左の FDI に筋損傷を引き起こすため、左手示指外転の ECC を MVC が 50%未満になるように行った (平均 46.3 ± 5.4 回)。この運動の前および約 90 分後に、1) 両手および片手 (左および右) において最大努力で把持力を発揮する MVC 課題、2) 把持に関する筋の圧痛閾値検査、3) 片手の MVC 中に同側の皮質運動野に TMS (安静時閾値の 1.3 倍の刺激強度) を与えて同側皮質運動野刺激誘発性の筋電図消失期間 (iSP) の誘発を行った。iSP は TMS をトリガーとして全波整流した FDI の EMG を加算平均し、刺激の約 50ms 後に現れる抑制成分 (振幅およびピーク時間) を解析した。

(3) 健常成人被験者 (計 15 名) の FDI 領域における両側の皮質運動野 (右側陽極、左側陰極) に 1.5 mA の tDCS を 15 分間与えた。この tDCS の前後に、1) 左右それぞれの皮質運動野に単発の TMS (安静時閾値の 120%) を与え、FDI より誘発された運動誘発電位 (MEP) の振幅および安静時閾値の計測、2) 左右両側の皮質運動野へ刺激間インターバル 10ms で 2 連発の TMS を与え、条件刺激のみの MEP からの変化率の計測、3) 両手の示指外転力の合力 (両手で 2.5-10N) をビジュアルフィードバックとして与えて両手同時力発揮を行い、両手それぞれの力発揮バラ

ンスの計測を行った。また、実際には tDCS を与えない sham 刺激の前後にも同様の実験を行った。

4. 研究成果

(1) ECC 後に左手において約 30%の最大把持力の低下および力調整課題における左 FDI の筋放電量の有意の増大 ($p<0.05$) が観察された。またこの時に圧痛閾値には変化がなかったことより、左 FDI において、筋痛はなく、筋損傷が起きたことが考えられた。両側同時および片側それぞれの MVC より計算される Bilateral Index は ECC 後に有意に低下し ($p<0.05$)、片手に筋損傷がある際には両側性機能低下が増大することが明らかになった (図 1)。

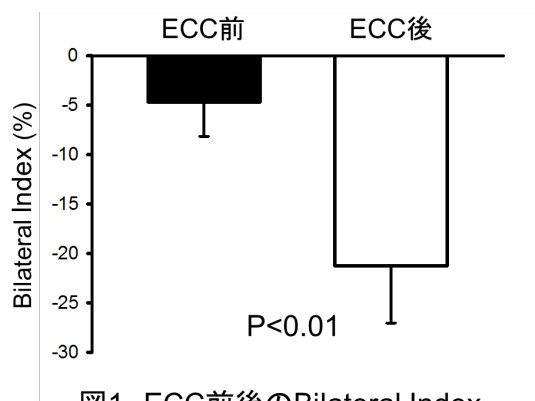


図1 ECC前後のBilateral Index

また、この時、筋損傷のある左手だけでなく、右手の MVC も有意に低下した ($p<0.05$)。このことは片手に筋損傷がある際の両手による MVC 発揮時には、損傷側だけでなく、健側の MVC も低下することを示唆する。両手での力調整課題においては、右手の把持力の増大が認められ、健常側が筋損傷側を補助する傾向が認められた。両手での疲労運動課題においては、両手で発揮した筋力が両手ともに ECC 後で ECC 前より早期に低下する傾向が認められ、損傷側だけでなく健側においても中枢性に疲労が亢進することが考えられた。片手に筋損傷がある際のこれらの様々な両側同時運動の機能低下の要因として、半球間抑制などの中枢性の要因が関与する可能性が示唆された。

(2) 実験 (1) と同様に、ECC 後の左手において約 40%の最大把持力の有意な低下および力調節運動課題中の損傷側の FDI の EMG 量の増大が確認された ($p<0.05$)。左右それぞれの MVC 中に運動肢と同側の皮質運動野への TMS によって誘発された iSP の振幅は、ECC の前後で両手ともに有意な変化は認められなかったが、損傷側では小さくなる傾向が認められた。このことより、筋損傷後に損傷側の MVC 中に健側の皮質運動野から脳梁を介した半球間抑制が減弱される可能性が示唆された。しかしながら、この iSP に

ついては、実験を行ったサンプル数が少ないことおよび両手同時力発揮中には計測していないことなどの方法論の問題が多く残されているため、筋損傷時における半球間抑制については追加実験などのさらなる検討が必要であると考えられる。

(3) tDCS 後、単発の TMS に誘発された MEP は陽極側で増大、陰極側で減少した ($p<0.05$)。このことは、tDCS によって、陽極側の皮質運動野の興奮性は増大し、一方、陰極側の皮質運動野の興奮性は低下したことを示唆する (Nitsche & Paulus, 2000)。また 2 連発 TMS による半球間抑制は、陽極側から陰極側に対しては亢進し、その反対方向では減弱した (図 2; $p<0.05$)。

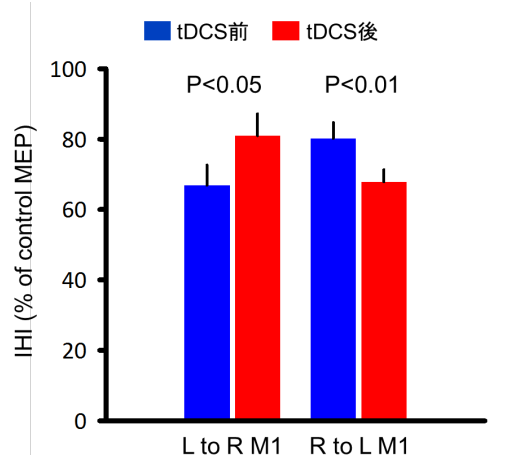


図2 tDCS前後のIHI

これらのことより、皮質運動野の興奮性の変化と関連して、半球間抑制も変化することが明らかになった。また、この tDCS 後の協調的な両側同時力発揮では、力発揮の貢献は陽極側で増大し、一方、陰極側では減少した ($p<0.05$)。sham 刺激の前後では全ての実験において有意な変化はなかった。これらのことから、両側大脳皮質への tDCS による皮質運動野の興奮性の修飾に伴って半球間抑制も変化し、これに関連して協調的な両側同時力発揮における左右の貢献度が対称的に変化する可能性が示唆された。

以上の片手の筋損傷中の両手運動機能および tDCS を用いた皮質運動野の修飾と半球間抑制および力制御に与える影響を検討した結果より、片手に筋損傷があるときには、その手を支配する皮質運動野の興奮性が増大し、その結果として半球間抑制が強まり、反対側の手 (健側) の運動機能が低下する可能性が示唆された。これらのことより、筋損傷が起きている状態で運動を続けることはパフォーマンスに大きな影響を与え、大きな怪我につながる可能性も予測される。ゆえにスポーツおよび運動指導において、伸張性運動による筋損傷や遅発性筋痛など運動者の

身体状態に配慮して、運動の内容を工夫する必要があると考えられる。

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3件)

遠藤隆志、齋藤基一郎．伸張性運動による筋損傷が運動機能に与える影響．植草学園大学研究紀要、第6巻、2014、pp.5-13、査読有

Masanori Sakamoto, Toshiki Tazoe, Tsuyoshi Nakajima, Takashi Endoh, Tomoyoshi Komiyama. Leg automaticity is stronger than arm automaticity during simultaneous arm and leg cycling. Neuroscience letters. Vol. 564, No. 3, 2014, pp.62-66, 査読有 doi: 10.1016/j.neulet.2014.02.009.

Rei Takahashi, Takashi Endoh, Tsuyoshi Nakajima, Tomoyoshi Komiyama. Modulation of homosynaptic depression during voluntary contraction and muscle fatigue with different test reflex size. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, Vol. 2, No. 2, 2013, pp.251-258, 査読有

[学会発表](計4件)

遠藤隆志、田添歳樹、齋藤基一郎、緒方徹．両側性経頭蓋直流電気刺激が両側同時力発揮に及ぼす影響．第43回日本臨床神経生理学学会学術大会、2013年11月8日、高知県立県民文化ホール他

遠藤隆志、齋藤基一郎．片側肢の筋損傷が両側性機能低下に与える影響．第21回日本運動生理学学会大会、2013年7月27日、東京国際大学

Takashi Endoh, Toshiki Tazoe, Kazuhito Morioka, Toru Ogata. Modulation of interhemispheric interactions depending on the electrode montage of transcranial direct current stimulation. Neuroscience 2012. 2012.10. Ernest N. Morial Convention Center, New Orleans, LA

Takashi Endoh, Tsuyoshi Nakajima, Azusa Uematsu, Tetsuya Ogawa, Kimitaka Nakazawa. Acute muscle damage induced by eccentric Contractions increases corticospinal

excitability. 59th American College of Sports Medicine Annual Meeting. 2012.6. Moscone Center, SF, CA

6. 研究組織

(1)研究代表者

遠藤 隆志 (ENDO Takashi)

植草学園大学・発達教育学部・講師

研究者番号：80510594