

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：33111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500480

研究課題名（和文） 静的筋収縮時の負荷形式の比較研究 - 錘を牽引すべきか，不動の物体を押すべきか -

研究課題名（英文） Influences of load compliance during static contraction in sensorimotor integration - Position control task Vs. Force control task -

研究代表者

桐本 光 (KIRIMOTO HIAKRI)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・准教授

研究者番号：40406260

研究成果の概要（和文）：静的筋収縮時の負荷形式には，一定の外力（錘など）に抗して所定の関節角度を保持する肢位制御課題と，関節角度は固定された状態で一定の筋力を保持する筋力制御課題がある．ニュートン力学的に同一関節トルクを必要とする静的筋収縮を二つの負荷形式によって行った時に，筋力制御課題の運動持続可能時間は，肢位制御課題より二倍長いとの報告がある．本研究は，肢位制御課題では一定の筋力を保持するために，筋力制御課題と比較して末梢からの固有受容感覚と皮膚感覚情報をより多く必要とすることを明らかにした．

研究成果の概要（英文）：When an individual performs a submaximal isometric contraction, there are two different load types either to produce a constant force against a rigid restraint (force task) or to maintain the position against a constant load (position task). In previous studies reported that the time to task failure for a submaximal contraction was twice as long in force task compared with in position task. In this study, we demonstrated that the position task causes more inhibitory effect on somatosensory cortex compared with the force task. Larger gating effect in the position task could imply that the task to maintain the position of the index finger while supporting a constant load requires more proprioceptive information from the group Ia afferents with which the enhanced gating of centripetal mechanism occurs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：臨床神経生理学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：運動療法，運動負荷形式，感覚運動連関機能，感覚誘発電位，運動誘発電位

1. 研究開始当初の背景

静的筋収縮時の負荷形式において，図 1 が示すように，肢位制御課題（A）では，第一背側骨間筋（FDI）の最大筋力の 20%（20%

MVC）と等価の錘（①）に抗して，エレクトロゴニオメータ（②）からのフィードバックを受けながら被験者は示指外転位 10° を保持する．一方，筋力制御課題（B）では，示

指外転位 10° に固定された状態で被験者はストレインセンサ (③) からのフィードバックを受け、これを 20%MVC の力で引張する (Buchanan et al, Neuroscience Letters, 1995. / Enoka & Duchateau, Journal of Physiology, 2007.).

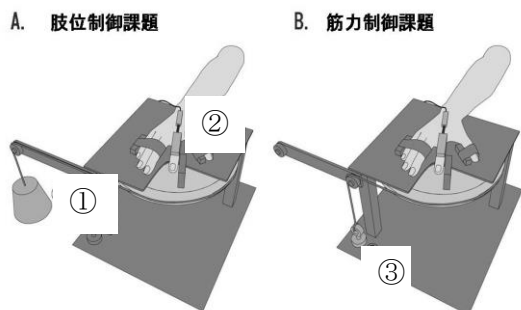


図 1 静的筋収縮時の二つの運動負荷形式

両課題の遂行に FDI が発揮する関節トルクはニュートン力学的に同一であるが、これを疲労困憊まで行った場合、運動持続可能時間は肢位制御課題が約 5 分であるのに対し、筋力制御課題では約 10 分と 2 倍の差があるとの報告がある。このような現象が生じる原因の一つに、肢位制御課題では筋力制御課題よりも筋放電活動の上昇が早く進行することが報告されている (Maluf et al, Exp Brain Res, 2005. / Maluf et al, Clinical Neurophysiology, 2007.) が、その背景にある生理学的機序の詳細は明らかにされていない。また、運動療法で用いられるような条件下で両負荷形式による反復訓練の効果を比較検討した研究も見当たらず、二つの負荷形式の特性の違いに関する基礎的研究の結果をリハビリテーション場面で応用する段階には達していない。

2. 研究の目的

本研究は、ニュートン力学的に同一関節トルクを必要とする静的筋収縮を二つの負荷形式によって行った時に、感覚フィードバックの経路や皮質感覚運動関連領野での運動制御様式が異なるのか否か検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 静的筋収縮時の運動負荷形式による感覚運動調節様式の違い

10 名の被験者が右示指外転位 10° で最大筋力の 20% を保持する FDI の 2 種類の静的収縮課題を行った。収縮中に右尺骨及び正中神経刺激による感覚誘発電位 (SEP) を C3' より、右正中神経刺激による Heteronymous reflex を FDI より記録した。また、左一次運動野 (M1) に経頭蓋磁気刺激 (TMS) を行い、

運動誘発電位 (MEP) とサイレントピリオド (cSP) を記録した。

- ① SEP; 末梢の体性感覚刺激に対する一次体性感覚野 (S1) の興奮性の指標。随意運動を正確に遂行する際は、固有感覚情報をより多く必要とするため、末梢への電気刺激に対する応答の低下 (gating 現象) が生じる。
- ② Heteronymous reflex; 異名神経 (FDI 収縮時は正中神経) により、潜時約 30 ms の単潜時反射 (SLR) と、潜時約 45 ms の長潜時反射 (LLR) が記録される。SLR は主に Ia 群感覚神経からの入力による脊髄前角細胞の興奮性、LLR は S1 を介した脊髄前角細胞の興奮性の指標となる。
- ③ MEP; M1 に対する TMS により標的筋から記録される MEP の振幅は、皮質脊髄路の興奮性の指標となる。随意運動中に TMS を行うと、MEP 発生後 100-150 ms の間、皮質の抑制性介在ニューロンの興奮により筋活動が消失する。この期間を cSP と呼び、皮質脊髄路における抑制性入力の指標となる。

(2) 静的筋収縮時の運動負荷形式による Cutaneo-Muscular Reflex の違い

14 名の被験者が右示指外転位 10° で最大筋力の 20% を保持する、右 FDI による静的収縮を PcT と FcT でそれぞれ行った。収縮中に右示指にリング電極による皮膚感覚刺激を行い、Cutaneo-Muscular Reflex (CMR) を右 FDI より、SEP を左半球頭頂部後方 (C3') より記録した。

CMR; 低強度の随意収縮中に、指神経に 5 Hz 程度の経皮電気刺激を行うと、潜時約 30 ms で脊髄由来の筋電図上昇 (E1) が生じ、次いで皮質由来の筋電図低下 (I1)、上昇 (E2) が記録される。SEP の gating と同様に、随意収縮への注意が必要な課題では主に皮質由来の E2 が低下する。

4. 研究成果

(1) 静的筋収縮時の運動負荷形式による感覚運動調節様式の違い

- ① 安静時と比較した、静的筋収縮中における SEP の振幅低下 (gating) の量の課題間差は、尺骨神経刺激時の SEP 早期成分 P45 でのみ認められ、PcT で FcT より顕著だった (図 2)。正中神経刺激時にも gating は認められたが、課題間に有意な差は認められなかった。

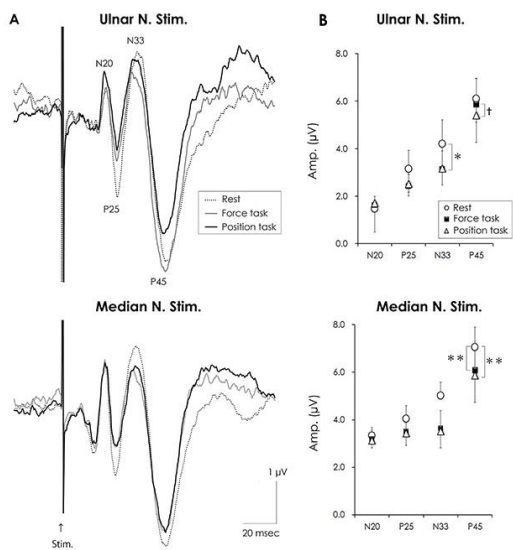


図2 尺骨神経刺激 (A 上段) 及び正中神経刺激 (A 下段) 時に記録した SEP のグランドアベレージ波形, 及び各 SEP 成分の平均値

② SLR, LLR の振幅はともに FcT より PcT で有意に大きかった. (図 3)

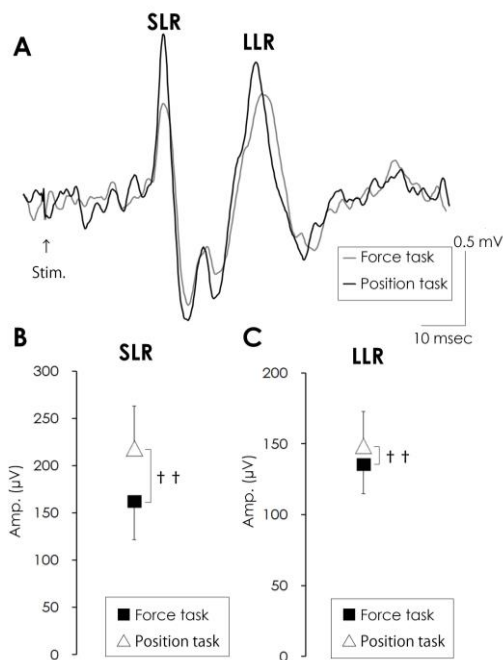


図3 Heteronymous reflexのグランドアベレージ波形 (A) 及び SLR (B) と LLR (C) 振幅の平均値

③ 静的筋収縮中の MEP 振幅には課題間の差は認められなかったが, cSP は FcT 遂行時に有意に延長した (図 4)

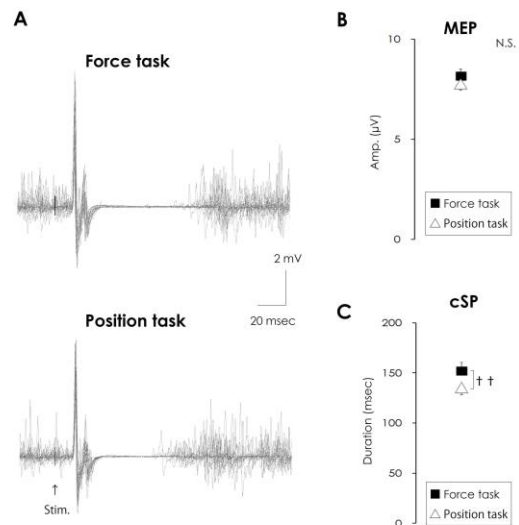


図4 随意運動中に TMS を行った時の MEP と cSP の代表記録例 (A), 及び MEP 振幅 (B) と cSP 時間 (C) の平均値

PcT で FDI 支配の尺骨神経刺激でのみ SEP の gating 量が増加したこと, SLR の振幅増加は, Ia 線維入力増加と考えられ, これが疲労進行に関与すると推測した. 一方, FcT における SP 延長は, 皮質脊髓路が末梢ループに抑制的に作用すると考えた.

(2) 静的筋収縮時の運動負荷形式による Cutaneo-Muscular Reflex の違い

- ① CMR の成分 E2 の振幅は FcT と比較して PcT で有意に減少した.
- ② SEP 振幅の早期成分 (P14/N20) も同様に FcT と比較して PcT で有意に減少した.

CMR の E2 の生成には, 皮質を介した神経回路が関与すると考えられており, PcT では SEP 振幅の低下も生じていることから, PcT における CMR の E2 成分の減少は, 皮膚感覚刺激に対する中枢神経の応答の低下 (gating) であると推察した. 以上の結果より, PcT により一定筋力を保持する課題では, FcT より多くの感覚情報を必要とすることが示唆された.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 20 件)

- ① Yotani K, Tamaki H, Kirimoto H, Yuki A, Kitada K, Maesaka S, Ogita F. Response time and muscle activation patterns of the upper limbs during different strikes in kendo. Arch. Budo, 査読有, 2013; 9:101-107
- ② Kojima S, Onishi H, Sugawara K, Kirimoto H, Suzuki M, Tamaki H. Modulation of the cortical silent period elicited by single- and paired-pulse transcranial magnetic stimulation. BMC Neuroscience, 査読有, 2013. doi: 10.1186/1471-2202-14-43.
- ③ Sugawara K, Onishi H, Yamashiro K, Soma T, Oyama M, Kirimoto H, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S. Repeated practice of a Go/NoGo visuomotor task induces neuroplastic change in the human posterior parietal cortex: an MEG study. Experimental Brain Research, 査読有, 2013; 226(4):495-502.
- ④ Onishi H, Sugawara K, Yamashiro K, Sato D, Suzuki M, Kirimoto H, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S. Neuromagnetic activation following active and passive finger movements. Brain and Behavior, 査読有, 2013; 3(2): 178-192.
- ⑤ 桐本 光, 鈴木 誠, 吉田 翔太, 岩波潤, 大山 峰生. 静的筋収縮時の運動負荷形式の違いが感覚誘発電位の“Gating”量に及ぼす影響 - 筋力制御と肢位制御 -. 作業療法, 査読有, 2012; 31(6): 564-572.
- ⑥ Suzuki M, Kirimoto H, Onishi H, Yamada S, Tamaki H, Maruyama A, Yamamoto J. Reciprocal changes in input-output curves of motor evoked potentials while learning motor skills. Brain Res, 査読有, 2012; 1473:114-23.
- ⑦ 菅原和広, 大西秀明, 小島 翔, 桐本 光, 田巻弘之. 他動運動が経頭蓋磁気刺激による運動誘発電位に及ぼす影響. 日本生体磁気学会誌, 査読有, 2012, 25:140-141.
- ⑧ 大西秀明, 菅原和広, 小島 翔, 田巻弘之, 相馬俊雄, 桐本 光, 大山峰生, 山代幸哉, 佐藤大輔, 丸山敦夫, 村上博淳, 亀山茂樹. 機械的皮膚触覚刺激による求心性抑制について. 日本生体磁気学会誌, 査読有, 2012, 25 : 66-67.
- ⑨ Suzuki M, Kirimoto H, Inamura A, Yagi M, Omori Y, Yamada S. The relationship between knee extension strength and lower extremity functions in nursing home residents with dementia. Disability and Rehabilitation, 査読有, 2012; 34(3): 202-209.
- ⑩ Suzuki M, Omori Y, Sugimura S, Miyamoto M, Sugimura Y, Kirimoto H, Yamada S. Predicting recovery of bilateral upper extremity muscle strength after stroke. Journal of Rehabilitation Medicine, 査読有, 2011; 43(10): 935-943.
- ⑪ 緒方勝也, 桐本光, 飛松省三. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS). Clinical Neuroscience, 査読有, 2011; 29(7) : 805-807.
- ⑫ Tamaki H, Kirimoto H, Yotani, K, Takekura H. Frequent alternate muscle activity of plantar flexor synergists and muscle endurance during low-level static contractions as a function of ankle position. The Journal of Physiological Sciences, 査読有, 2011; 61(5) : 411-419.
- ⑬ 大西秀明, 菅原和広, 大山峰生, 相馬俊雄, 桐本光, 田巻弘之, 村上博淳, 亀山茂樹. 動きを伴う触覚刺激時における体性感覚誘発磁界反応. 日本生体磁気学会雑誌, 査読有, 2011 ; 24 : 3-4.
- ⑭ 菅原和広, 大西秀明, 相馬俊雄, 大山峰生, 桐本光, 村上博淳, 亀山茂樹. 視覚反応課題の習熟が運動関連脳磁界に与える影響. 日本生体磁気学会誌, 査読有, 2011 ; 24 : 112-113.
- ⑮ Yotani K, Tamaki H, Yuki A, Kirimoto H, Kitada K, Ogita F, Takekura H. Response training shortens visuo-motor related time in athletes. International Journal of Sports Medicine, 査読有, 2011; 32(8) :586-590.
- ⑯ 大山峰生, 大西秀明, 相馬俊雄, 桐本光, 村上博淳, 亀山茂樹. 示指指神経に対する触圧覚刺激の体性感覚誘発脳磁界. 日本手の外科学会雑誌, 査読有, 2011; 27(4) : 355-358.
- ⑰ Kirimoto H, Ogata K, Onishi H, Oyama M, Goto Y, Tobimatsu S. Transcranial direct current stimulation over the motor association cortex induces plastic changes in ipsilateral primary motor and somatosensory cortices. Clinical Neurophysiology, 査読有, 2011; 122(4) : 777-783.
- ⑱ Onishi H, Oyama M, Soma T, Kirimoto H, Sugawara K, Murakami H, Kameyama S. Muscle-afferent projection to the

sensorimotor cortex after voluntary movement and motor-point stimulation: An MEG study. *Clinical Neurophysiology*, 査読有, 2011; 122(3): 605-610.

- ⑱ Tamaki H, Yotani K, Yuki A, Kirimoto H, Sugawara K, Onishi H. Magnetic field strength properties in bone marrow during pulsed electromagnetic stimulation. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 査読有, 2010; 3(12): 1156-1160.
- ⑳ Onishi H, Oyama M, Soma T, Kubo M, Kirimoto H, Murakami A, Kameyama S. Neuromagnetic activation of primary and secondary somatosensory cortex following tactile-on and tactile-off stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 査読有, 2010; 121(4): 588-593.

[学会発表] (計 70 件)

- ① Kirimoto H. Differential sensori-motor modulations on the load compliance during maintaining constant finger force or position. 18th annual Congress of the European College of Sport Science, 2013. 6. 26-29 (Barcelona, Spain).
- ② Tamaki H. Electrical stimulation of denervated rat skeletal muscle slows trabecular bone loss in early stages of disuse atrophy. 2013 International Bone and Mineral Society, 2013. 5. 28-6. 1 (Kobe, Japan).
- ③ Kirimoto H. The effects of cathodal transcranial direct current stimulation of the supplementary motor area on the function of anticipatory postural adjustments. 5th International Conference on Non-Invasive Brain Stimulation, 2013. 3. 19 - 21 (Leipzig, Germany).
- ④ 桐本光. 静的筋収縮時の運動負荷形式による感覚運動調節様式の違い - 筋力制御と肢位制御 -. 第 42 回日本臨床神経生理学会・学術大会 2011. 11. 8-10 (東京).
- ⑤ 桐本光. 静的筋収縮時の運動負荷形式の違いが一次体性感覚野の興奮性に及ぼす影響 - 筋力制御と姿位制御 -. 第 46 回日本作業療法学会, 2012. 6. 15-17 (宮崎).
- ⑥ Kirimoto H. Gaiting of somatosensory evoked potentials differs with the load compliance during maintaining constant finger force or position.

Neuroscience, 2011. 11. 12-16 (Washington DC/USA).

- ⑦ 桐本光. 静的筋収縮時の運動負荷形式による SEP の “Gating” 量の違い - 筋力制御と肢位制御 -. 第 41 回日本臨床神経生理学会学術大会, 2011. 11. 10-12 (静岡).
- ⑧ 桐本光. 静的筋収縮時の運動負荷形式の違いが SEP の “Gating” 量に及ぼす影響 - 筋力制御と肢位制御 -. 第 11 回新潟医療福祉学会学術大会, 2011. 10. 22 (新潟).
- ⑨ Kirimoto H. Gaiting of SEPs depends on the load types of isometric contractions: Force vs. Position tasks. 4th European congress on Clinical Neurophysiology - 4th International Conference on Transcranial Magnetic and Direct Current Stimulation, 2011. 6. 21-25 (Rome/ Italy).
- ⑩ Kirimoto H. Transcranial direct current stimulation over the motor association cortex induces plastic changes in the ipsilateral sensory-motor cortices. 29th international congress of clinical neurophysiology, 2010. 10. 28-11. 1 (Kobe, Japan).

[その他]

- ① 平成 22 年度 ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～ KAKENHI (研究成果の社会還元・普及事業) 採択課題「ヒトの運動が“いい感じ”にできるとき、それがうまくいかなかったとき」
- ② 平成 23 年度 ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～ KAKENHI (研究成果の社会還元・普及事業) 採択課題「ヒトの巧みな運動を支える仕組みとその障害～脳みそから骨の髄まで学びつくそう～」
- ③ 平成 24 年度 ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～ KAKENHI (研究成果の社会還元・普及事業) 採択課題「もっと部活動が楽しくなる医科学講座 “動いて、食べて、学問して”」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桐本 光 (KIRIMOTO HIKARI)

新潟医療福祉大学・医療技術学部・准教授
研究者番号: 40406260

(2) 研究分担者

大西 秀明 (ONISHI HIDEAKI)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号：90339953

大山 峰生 (OYAMA MINEO)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号：10367427

田巻 弘之 (TAMAKI HIROYUKI)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・教授
研究者番号：50224134

鈴木 誠 (SUZUKI MAKOTO)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・准教授
研究者番号：80554302

菅原 和広 (SUGAWARA KAZUHIRO)
新潟医療福祉大学・医療技術学部・助教
研究者番号：10571664