

機関番号：32527
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700568
 研究課題名(和文) 上肢の力制御の再獲得を目的としたニューロリハビリテーション開発に関する基礎的研究
 研究課題名(英文) Development of neurorehabilitation program for regaining force control in persons with hand disabilities
 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

研究成果の概要(和文)：経頭蓋磁気刺激や脳波-筋電図コヒーレンス法などの電気生理学的手法を用いて、手指での精密な力制御による物体把持を行っている時の運動制御機構について詳細に検討した。その結果、精密な力制御に必要な物体把持を行っているときには、一次体性運動野活動と脊髄運動ニューロンプール活動の同調性の役割は小さく、皮質運動野の興奮性増大と皮質運動野内の抑制性入力増大が重要な役割を果たしていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the central nervous system activity for fine force control of hand muscles by using electrophysiological measurements, including transcranial magnetic and electrical stimulation and EEG-EMG coherence. As a result, it was suggested that increased excitability of the motor cortex and increased intracortical inhibition rather than coupling between sensorimotor cortex and spinal motoneuronal activity are needed for precise regulation of force.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |
| 2010年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：運動生理学、神経生理学、神経科学

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：皮質運動野、ニューロリハビリテーション、筋電図、経頭蓋磁気刺激、巧緻性、力制御、脳波-筋電図コヒーレンス

1. 研究開始当初の背景

手、指および腕などの上肢の運動障害は、日常生活の質を著しく低下させる。このため、近年、効率的かつ効果的なリハビリテーションを目的としたニューロリハビリテーションの開発が期待されているが、上肢においては、下肢に比して未だ有効なニューロリハビリテーションは確立されていない。この要因として、ヒトにおける手指の冗長な力制御機

構について詳細に把握されていないことが考えられる。

皮質脊髄路は上肢の巧緻運動においては非常に重要な経路であることは周知の事実である(Nishimura et al. 2007)。ゆえに、様々な運動機能障害が原因で低下した上肢の巧緻運動機能を再獲得するには、この皮質脊髄路の機能について詳細に検討を加える必要がある。これまで手指の巧緻性について

検討した研究は多いが、手指の精密な力制御について検討している研究はほとんどない。近年、fMRI を用いて手指の細かな力制御をしている際には、皮質運動野や運動前野などの活動性が増大するという報告はあるが (Kuhtz-Buschbeck et al. 2001)、実際にはどのように皮質脊髄路が関与しているかについては明らかにされていない。加えて、経頭蓋磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation ; TMS) 後の筋電図消失期間 (silent period ; SP) より観察可能な皮質内抑制も手指による力発揮時には貢献していると考えられているが (Tinazzi et al. 2003)、この皮質内抑制が精密な力制御時にどのような関与をしているか明らかにされていない。

近年、脳波と筋電図をコヒーレンス解析することによって、一次体性運動野活動と脊髄運動ニューロンプール活動の同調性が生ずることもヒトの運動制御時に現れる一つの生理的現象であることが明らかにされている (Baker et al. 1997)。しかしながら、脳と脊髄運動ニューロンの活動の同調性がヒトのどのような運動機能と関係があるのかについては未だ不明な点が多い。従来の研究で多く用いられてきた TMS などによる皮質脊髄路の興奮性評価とともに、脳波-筋電図コヒーレンスを用いて、一次体性運動野活動と脊髄運動ニューロンプール活動の同調性についても検討を加えることで、ヒトの精密な力制御時の運動制御機構のさらなる解明が可能であると考えられる。この脳波-筋電図コヒーレンスは、脳と脊髄運動ニューロンの活動の同調性について 0-1 の実数として評価するものであり、客観性が高く。またこの方法は運動中に導出した脳波と筋電図より計算するため無侵襲であり、誘発筋電図法よりも遥かに被験者に対する負担が低いため、臨床応用への期待が高いと考えられている (Mima et al. 2002)。

2. 研究の目的

本研究では、手指の精密な力制御時の皮質脊髄路の動態に焦点を絞り、TMS および経頭蓋電気刺激 (transcranial electrical stimulation ; TES) や脳波-筋電図コヒーレンスを用いて、皮質運動野や脊髄運動ニューロンプールの興奮性動態およびそれらの同調的活動、さらには皮質運動野に対する抑制性の入力精密な力制御中にどのように関与するかを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 健常成人 8 名より構成された被験者は加速度計と圧センサーの組み込まれたマニピュランダムを普通に第一指と第二指で摘む課題 (NP) および NP 課題と同じ把握方法

で物体を落とさない必要最小限の把握力で物体を摘む課題 (MS) を行った。MS 課題は、把握物体を実際に 3~5 回滑り落とすことにより、把握物体の重量を学習した後に行われた。重量負荷は 50、100、200、400 および 600g の 5 種類であった。両課題ともに各重量付加で 10 回ずつ課題が遂行された。課題遂行中、把握力が安定したところで TMS (安静時閾値の 1.1~1.2 倍) が被験者の皮質運動野に与えられ、第一背側骨間筋 (FDI) の表面筋電図より誘発される運動誘発電位 (motor evoked potential ; MEP) の振幅値、MEP 後に現れる SP および背景筋電図量が解析された。また、課題遂行中の把握力およびマニピュランダムの揺れも記録した。

(2) 8 名の健常男性被験者は物体を普通に摘む課題 (NP) および物体を落とさない最小の把握力で摘む課題 (GP) を行った。把握物体の重量は GP 課題では 200 および 300g の 2 種類を用い、NP 課題では GP 課題中それぞれの FDI における背景筋電図量が同じになるように調節した。両課題はそれぞれ 10 回ずつ試行された。各試行中、把握力が安定したところで TMS および TES (ともに安静時閾値の 1.1 倍) が被験者の皮質運動野上に与えられ、FDI の表面筋電図より誘発された MEP の振幅値、SP および背景筋電図量が解析された。

(3) 8 人の健常被験者は、80g および 240g のマニピュランダムをそれぞれ、人差し指と親指で普通に摘んで把持する (NP 課題)、および把持している物体を落とさない必要最小限の力で把持する (GP 課題) という 2 種類の方法で物体把持した。課題中、被験者の一次感覚運動野近傍の脳波および FDI、母指球筋、浅指屈筋および表面筋電図を記録した。その後、オフラインにて周波数領域における相互相関を算出する脳波-筋電図コヒーレンス解析を行い、運動に関与があると報告されている 13-35Hz のベータ帯のピーク値を計測した。

4. 研究成果

(1) 全ての重量負荷において、NP 課題の把握力は MS 課題の約 2 倍あり、また FDI の背景筋電図量も NP 課題に比して有意に MS 課題で少なかった。これらのことより、MS 課題では NP 課題に比して精密な運動を遂行していたと考えられた。しかしながら、全ての重量負荷において TMS によって誘発された MEP および SP は両課題間で有意な差が認められなかった。背景筋電図量で標準化した MEP および SP は全ての重量負荷において MS 課題で NP 課題に比して有意に大きかつ

た。MEPの大きさおよびSPの長さはそれぞれ皮質脊髄路の興奮性、皮質内抑制を示し、これらは背景筋電図量と関係があることが報告されている (Di Lazzaro et al. 1998; Mathis et al. 1998; Taylor et al. 2002)。ゆえに本研究結果は、皮質脊髄路の興奮性および皮質内抑制は運動課題の精密度と関係して変化する可能性を示唆した。

(2)重量負荷はNP課題に比してGP課題で有意に大きかったが、両課題間でFDIの背景筋電図量には有意な差は認められなかった。TMSによるMEPはNP課題に比して、GP課題で有意に大きかった。一方、TESによるMEPは両課題間で有意な差は認められなかった。TMSによるSPは、NP課題に比して、GP課題で有意に長かったが、TESによるSPは両課題間で有意な差は認められなかった (図1)。TMSによるMEPは皮質脊髄路、TESによるMEPは主に皮質下の脊髄運動ニューロンプールの興奮性をそれぞれ示すと考えられている (Di Lazzaro et al. 1998; Taylor et al. 2002)。また、TMSによる100ms以上のSPは皮質内抑制を示すと考えられている (Inghilleri et al. 1993; Roick et al. 1993)。ゆえに本研究結果は、皮質運動野の興奮性および皮質内抑制は運動課題の精密さに関係して変化する、および精密な運動制御時において重要な役割を果たしている可能性を示唆する。

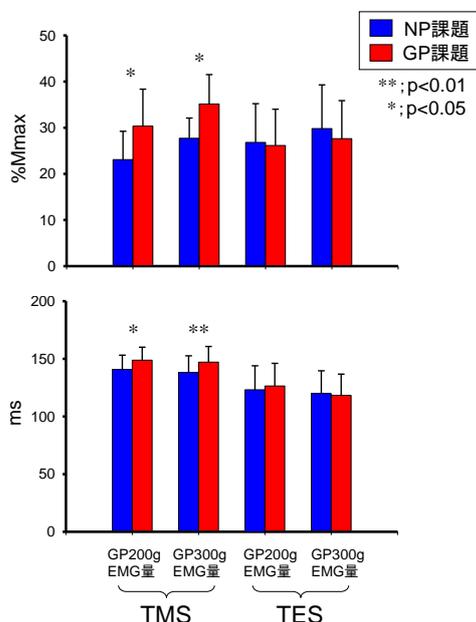


図1 TMSおよびTESによるMEP振幅(上段)とSP(下段)

(3) 一次感覚運動野から導出した脳波と FDIの表面筋電図より算出した脳波・筋電図コヒーレンスのベータ帯におけるピーク値は、NP課題に比して、GP課題で増大する傾向が

認められたが、有意差は検出されなかった。また算出されたコヒーレンスのピーク値は0.1以下で非常に低い値であった (図2)。これらの結果より、一次感覚運動野と脊髄運動ニューロンプールの同調的活動は、手指の精密な力制御にはあまり関与していない可能性が示唆された。

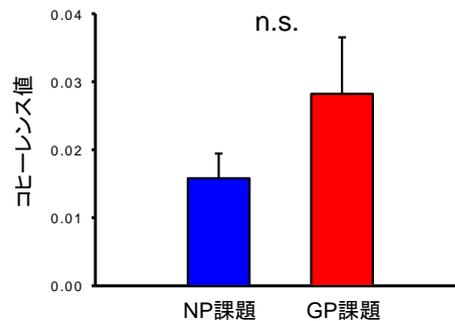


図2 課題中の脳波・筋電図コヒーレンス

以上の研究結果より、手指の力を巧みに制御している際には皮質運動野の興奮性および皮質内の抑制性の入力が増大が大きな役割を果たしている可能性が示唆された。また、これらのことより、新たなニューロリハビリテーションを考案する際には、皮質運動野の興奮性および皮質内の抑制性の入力を増大を引き起こすことが必要であると考えられた。

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2件)

- ① Azusa Uematsu, Hiroki Obata, Takashi Endoh, Taku Kitamura, Tibor Hortobágyi, Kimitaka Nakazawa, Shuji Suzuki. Asymmetrical modulation of corticospinal excitability in the contracting and resting contralateral wrist flexors during unilateral shortening, lengthening and isometric contractions. *Experimental Brain Research*, Vol. 206, No. 1, 2010, 56-69, 査読有
- ② 遠藤隆志、小川哲也、中澤公孝. 伸張性筋収縮による筋損傷が運動学習に与える影響とその神経生理学的要因. *デサントスポーツ科学*, 31巻、2010、167-175、査読有

[学会発表] (計5件)

- ① 遠藤隆志、中島剛、植松梓、小川哲也、中澤公孝. 伸張性筋収縮後の筋損傷が運

動学習および皮質脊髄路興奮性に与える影響. 第 65 回日本体力医学会大会、2010 年 9 月 17 日、千葉経済大学 (千葉県)

- ② 遠藤隆志、中島剛、小宮山伴与志. 伸張性運動による筋損傷および遅発性筋痛が体性感覚誘発電位に与える影響. 第 18 回日本運動生理学会大会、2010 年 7 月 30 日、鹿児島大学 (鹿児島県)
- ③ 遠藤隆志、中島剛、齋藤早紀子、中澤公孝. 精密把握運動における皮質運動野の興奮性の課題依存的変化. 第 64 回日本体力医学会大会、2009 年 9 月 19 日、新潟朱鷺メッセ (新潟県)
- ④ Takashi Endoh, Tsuyoshi Nakajima, Sakiko Suzuki-Saitoh, Kimitaka Nakazawa. Task dependent modulation of cortical excitability and inhibition during a pincer grip. XXXVI International Congress of Physiological Sciences. 2009. 7. 31. Kyoto international conference center (Kyoto, Japan)
- ⑤ Takashi Endoh, Norio Saga, Junichi Ushiba, Motoi Tsuchiya, Tsugutake Yoneda. Corticomuscular coherence immediately after eccentric and concentric exercise. 56th American College of Sports Medicine Annual Meeting. 2009. 5. 29. Washington state convention center (Seattle, USA)

[その他]

遠藤隆志、中島剛、齋藤早紀子、中澤公孝. 精密把握運動における皮質運動野の興奮性の課題依存的変化. 第 64 回日本体力医学会大会研究奨励賞、2009 年 9 月 19 日、新潟朱鷺メッセ (新潟県)

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