

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500464

研究課題名(和文)

脳波 - 筋電図コヒーレンスの運動調節における意義

研究課題名(英文)

The significance of coherency between EEG and EMG in motor control

研究代表者

木村 彰男 (KIMURA AKIO)

慶應義塾大学・医学部・教授

研究者番号：70118941

研究成果の概要(和文):

コヒーレンスは、運動単位の発射に対し大きく影響し、それらの発射は脳波の 20Hz 帯に反応して、弱収縮では、2 対 1 に反応し発射していた。しかしながらその収縮の程度が強くなると、徐々に 2 対 1 から 1 対 1 に対応し、発射していた。これらより、コヒーレンスは運動野から脊髄への運動司令の強さの一面を示していると考えられ、これらの解析は運動調節におけるコヒーレンスの解析意義を示すものと考えられた。

研究成果の概要(英文):

We investigated the manner of MU discharge in both subjects who showed significant cortico muscular coherence and subjects who showed non significant coherence. We compared the two types of subjects about cortico muscular coherence and coherence between cortical drive and MU activity. It has been shown that, even if MUs did not construct temporally ensemble such as grouped discharge, single MU was coherent with cortical drive. We evaluated dependency of MU on phase of cortical drive quantitatively by calculating circular variance of instantaneous phase distribution of cortical drive on MU firing timing. We found that MU was gradually being entrapped by the rhythm of the cortical drive as the level of force increased. Furthermore, by ISIH using phase of cortical drive, intermittent MU discharge has also demonstrated. We have shown the evidence of phase-locked activity and intermittent discharge of MU, and revealed the causal relationship between net neuromuscular activity and individual motor unit firing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

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：脳波、筋電図、コヒーレンス、運動単位、発射

1. 研究開始当初の背景

脳の活動と筋活動の律動性の中に相関があることが知られるようになったのは、1995年に脳磁図 - 筋電図コヒーレンスの存在が報告されてからである。以来、その研究が注目されており、脳波と筋電図においても同様にコヒーレンスの存在が報告されている。我々は、さまざまな肢位や活動でも記録し、コヒーレンスについて研究してきた。持続的筋収縮中、対側運動野付近の脳波と筋電図との間には 15 - 35Hz でのコヒーレンスが観察される。しかしながら、それがどのような意義をもっているのかは、不明である。運動単位は、弱収縮では通常 10Hz 前後で発射しており、この大脳運動皮質からの 15 - 35Hz の律動性がどのようにして、運動単位の発射をもたらしているのかが大きな疑問である。この周波数帯でのコヒーレンスの意義を検討するため、筋肉の持続収縮時における運動皮質脳波・表面筋電図・針電極による運動単位発射を記録し、それぞれの関連について検討を加えることが必要である。その生理学的意義について検討を加え、運動調節におけるコヒーレンスの意義を解明する。

2. 研究の目的

以前からさまざまな研究により、脳波・筋電図コヒーレンスは、持続収縮中にみられるが、task により変化することなどを報告してきた。また個人によってコヒーレンスが検出できない人、検出できても非常に弱い人や強い人などがいることがわかってきているが、さらに本研究によって、健康人におけるその分布を知り、臨床応用に役立てることがまず必要であると考えられる。さらに運動単位は、弱収縮では通常 10Hz 前後で発射しており、こ

の大脳運動皮質からの 15 - 35Hz の律動性がどのようにして、運動単位の発射をもたらしているのかが大きな疑問がある。この機構を知るため、運動単位の発射解析を同時に行い、脳波、筋電図、運動単位発射との詳細な解析を行うことにより、運動調節におけるコヒーレンスの役割について解明を加える。

3. 研究の方法

(1) 脳波および筋電図を多チャンネルで記録する。脳波は Cz を中心に 5-6 チャンネル、筋電図が前脛骨筋 (TA) とヒラメ筋 (SOL) から記録する。被験者を 100 名集めて、それぞれの筋の最大収縮の 30%MVC を 120 秒間持続収縮させる。それにより、脳波 筋電図コヒーレンスを解析し、その周波数帯域、有意なピークの値、その面積などを解析し、健康人におけるコヒーレンスの分布を探る。そしてコヒーレンスの有無と性別、伸長、体重などの身体的特長との関係などを探る。対象は健康成人 100 名とする。

(2) コヒーレンスが顕著に検出された被験者に対して、脳波、筋電図に加えてさらに運動単位の発射を記録し、それぞれの関係についてコヒーレンス、脳波から trigger しての運動単位発射の解析、逆に運動単位発射からの脳波の back averaging などを用いて、脳波、筋電図、運動単位の発射の関係を明らかにし、コヒーレンスの存在意義について検討する。これらには、筋電信号分解法 decomposition を用いた。脳波および筋電図を多チャンネルで記録した。脳波は Cz を中心に 5-6 チャンネル、筋電図が前脛骨筋 (TA) から記録した。最大収縮の 5 - 30%MVC を 180 秒間持続収縮させた。また針筋電図からは複数の運動単位を記録し、それぞれの運動単位

の発射に分解した。

(3) コヒーレンスが検出されない被検者に対して(2)と同様のことを行った。

4. 研究成果

(1) 対象は102名 (53名の男性、49名の女性、年齢19-35歳)の健常人である。コヒーレンス解析を行った結果、有意なコヒーレンスを65名に認めた。そのうち60名では、コヒーレンスのピークは、15-35Hzのベータ帯域に認めた。コヒーレンスのピーク値は、Poisson分布を示した。脳波から筋電図への潜時は平均21.2msであった。

コヒーレンスについて、男女の性差があるかどうかについて検討をしたが、性によって差は認めなかった。コヒーレンスと年齢との関係でも、有意な関係は認められなかった。コヒーレンスと身長との関係でも、身長との有意な関係は認められなかった。

以上より、コヒーレンスは、健常人の約60%に認められ、その有無について身体的な特徴、年齢、性などとの関連はなかった。

(2) コヒーレンスが顕著な被験者では、表面筋電図と脳波のコヒーレンスは針筋電図と脳波のコヒーレンスと似た形をしていて、最大値を示す周波数も同じが多かった。これより、筋電図に含まれる運動単位の数に比例してコヒーレンスが高くなることが予想された。しかしながら単一運動単位が筋電図よりも高いコヒーレンス値を示すことはなかった。運動単位の発射時間間隔のヒストグラムを数個合算したものは、脳波の20Hzの発火間隔のところにピークが現れた。つまり、単一の運動単位は、一見脳波の位相に関係した活動をしていないように見えるが、数個の運動単位で見ると脳波の位相に関係した発火間隔の活動が多いと考えられた。

(3) コヒーレンスが検出されない被験者は、全く脳波の位相とは関連なく、運動単位は発

射しており、それらに明らかな関係は見いだせなかった。コヒーレンスは、運動単位の発射に対し大きく影響し、それらの発射は脳波の20Hz帯に反応して、弱収縮では、2対1に反応し発射していた。しかしながらその収縮の程度が強くなると、徐々に2対1から1対1に対応し、発射していた。これらより、コヒーレンスは運動野から脊髄への運動司令の強さの一面を示していると考えられ、これらの解析は運動調節におけるコヒーレンスの解析意義を示すものと考えられた。また脳波の解析をとともに用いることで、運動単位の発射メカニズムを知ることができると考えられた。以上をまとめると等尺性収縮中の体性感覚運動野近傍から導出した脳波とその支配筋の筋電図には、20 Hz 付近 (帯域) で統計学的に有意なコヒーレンスが観測されることが知られている。一方で、筋の構成要素である単一運動単位の活動は帯域に満たない5~18 Hzで発火している。そこで、各々の運動単位が筋全体で帯域の活動を実現している仕組みについて、運動単位の活動時間と脳波の相関解析によって検討を行った。実験では9名の健常成人を対象に、最大収縮力の0~30%の間で、5%おきに右脚前脛骨筋の等尺性背屈を行わせた。脳波筋電図コヒーレンスの有意な帯域でバンドパスフィルタを脳波に適用して、脊髄運動神経群に入力する下行性神経活動に相当する成分を抽出し、この帯域脳波に対する運動単位の発火時位相を調べることで、運動単位の下行性神経活動への位相依存性および発火間隔を算出した。解析の結果、脳波・筋電図の相関が強く現れた2名の被験者では、筋張力を高めると、脳波と筋電図の帯域パワーがピーク周波数を変えずに、有意に増加することが明らかになった ($p < 0.05$)。このことから、筋の発揮張力を高めるためには、下行性神経

活動は活動周波数を 帯域のまま、振幅のみを増加させていることが示された。また、脳波・筋電図の相関が強く現れた被験者群では、運動単位は 帯域脳波に対して位相依存的に発火確率を変動させていた。筋張力を高めると、この傾向は徐々に増し、位相依存性は有意に高まった ($p < 0.05$)。さらに、運動単位は張力増加に伴い、帯域脳波 2 周期に対し 1 回の分周発火から、1 周期 1 回の発火へと活動様式を変化させていた。低張力時では 2 つの律動的なシナプス入力が時間的に重畳することで初めて発火していた運動単位が、筋張力を高め、下行性神経活動の振幅が大きくなることで、1 回のシナプス入力ですぐに発火するようになると予想された。以上の結果から、脊髄運動神経は 帯域の律動的な下行性神経活動に対して位相依存的な活動をすることで、筋活動全体としては 帯域の律動的な活動を起こしていることが示された。このようにして、個々の運動単位は発火頻度を低く保つことで疲労の影響を最小限に留めつつ、筋全体の収縮は周波数を β 帯域に保つことで強縮を実現し、発揮張力が揺らがないように活動戦略を取っているものと考えられた。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

木村 彰男 (KIMURA AKIO)
慶應義塾大学・医学部・教授
研究者番号 : 70118941

(2)研究分担者

正門 由久 (MASAKADO YOSHIHISA)
東海大学・医学部・教授
研究者番号 : 10173733

大田 哲生 (OOTA TETSUO)
慶應義塾大学・医学部・准教授
研究者番号 : 20233132

(3)連携研究者

なし