

上肢に対する二対の電気刺激における刺激効果間の相互作用
Interaction between two pairs of electrical stimulation for upper limb

○高橋 篤, 二見 亮弘
○Atsushi Takahashi, Ryoko Futami

福島大学
Fukushima university

キーワード: 増強効果(Enhancing effect)、神経ブロック(nerve blocking)、表面電極
(surface electrode)、高周波刺激(high frequency stimulation)

連絡先: 〒960-1248 福島県福島市金谷川 1 番地
福島大学大学院共生システム理工学研究科人間-機械システム分野
高橋 篤、[Tel:\(024\)548-8196](mailto:s1570022@ipc.fukuahima-u.ac.jp)、[Email:s1570022@ipc.fukuahima-u.ac.jp](mailto:s1570022@ipc.fukuahima-u.ac.jp)
二見 亮弘、[Tel:\(024\)548-8196](mailto:futami@sss.fukuahima-u.ac.jp)、[Email:futami@sss.fukuahima-u.ac.jp](mailto:futami@sss.fukuahima-u.ac.jp)

1. はじめに

皮膚電極による電気刺激は、非侵襲的であるという利点があるため機能的電気刺激(FES)や治療的電気刺激(TESS)においてよく用いられている。しかし、刺激部位の選択性が低いため、特に手指の複雑な動作を行うことは困難である。

本研究では二対の皮膚電極を用いて、連続高周波電流とバースト状の低周波電流を対象とする運動神経を刺激し、それらによる刺激効果の相互作用(干渉効果)を調査する。

2. 二対の電気刺激における刺激効果間の相互作用について

先行研究では皮膚電極による電気刺激において、三角波の付加がパルス波による神経の興奮閾値を変化させることが示されている。しかし、三角波の刺激感覚は不快であり、三角波の横幅が数百 ms であるため、連続的な筋収縮力の発揮には向かないという課題があった。

神経は軸索の太さによって電気刺激に対する閾値が異なる。これは高周波電流

による神経ブロックも例外でない。閾値の低い神経をブロックすることで、他の神経を選択的に刺激できる可能性がある。

そこで、本研究ではカフ電極でのみブロック効果^[1]が報告されている高周波の利用に着目し、皮膚電気刺激における有効性の確認を試みる。

本研究では新しい手法として、まず、連続な高周波とバースト状低周波を組み合わせ刺激すること、さらに基準電極を共有し、計 3 つの電極により 2 つの刺激効果を相互作用させる手法を試みる。

3. 4 電極と 3 電極での刺激実験

3.1 実験目的

二対の電気刺激における刺激間の相互作用について、新しい手法である 3 電極法を用いてその有効性を調査する。

3.2 実験方法

被験者は上肢運動機能に障害のない成人男性 1 名である。まず刺激パラメータについて、刺激波形を Fig.3 に示す。主刺

激はバースト幅 2ms、繰り返し周期 20ms、バースト内周波数は 500Hz とする。高周波のパラメータは筋収縮が起きない周波数(5k~20kHz)の連続な正弦波で刺激強度は±23mA を最大として、20 秒間で Fig.3 に示すとおりに時間的に変化する。二つの刺激波形の位相は同期していない。

電極の配置を Fig.4 に示す。4 電極では主刺激の電極対(□印)を肘から 5cm 離れた総指伸筋上と上腕筋上、さらにそこからそれぞれ 5cm 離れた位置に高周波の電極対(○印)を配置する。3 電極では基準電極を共有し、基準電極の位置は肘から 7cm 離れた上腕筋上で、高周波刺激用電極(○印)を遠位側に配置した。

手掌および手指の関節を固定するためにカバーを使用した。また、角度センサーをカバー上に取り付け、背屈角度は水平を 0 度として計測した。前腕は水平とした。

主刺激の強度は手首が 30~40 度の範囲で背屈するように設定する。そして Fig.3 にあるように実験開始から 5 秒間は主刺激のみで刺激し、手首の角度が保持されているのを確認する。主刺激開始から 5 秒後に高周波刺激を開始する。

3.3 結果

4 電極の結果を Fig.5、3 電極の結果を Fig.6 に示す。3 電極では 5kHz、10kHz では刺激の増強効果が起こり、収縮力が増大している。20kHz では、可逆的な神経ブロックが起き、高周波の刺激強度によって収縮力の増加と低下を繰り返している。

4 電極では 5kHz、10kHz で増強効果が見られているが 20kHz ではほぼ変化が起きていない。

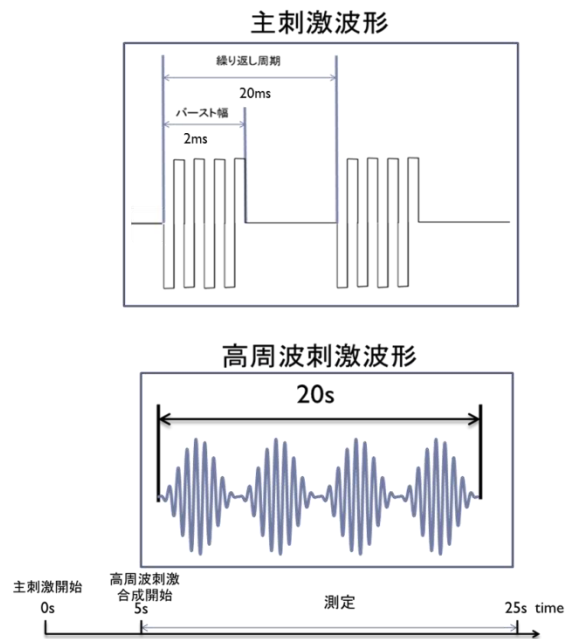


Fig.3 刺激波形と実験の流れ

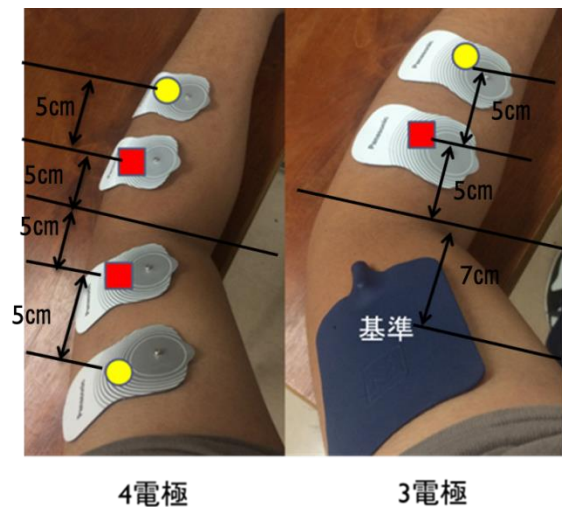


Fig.4 電極の配置

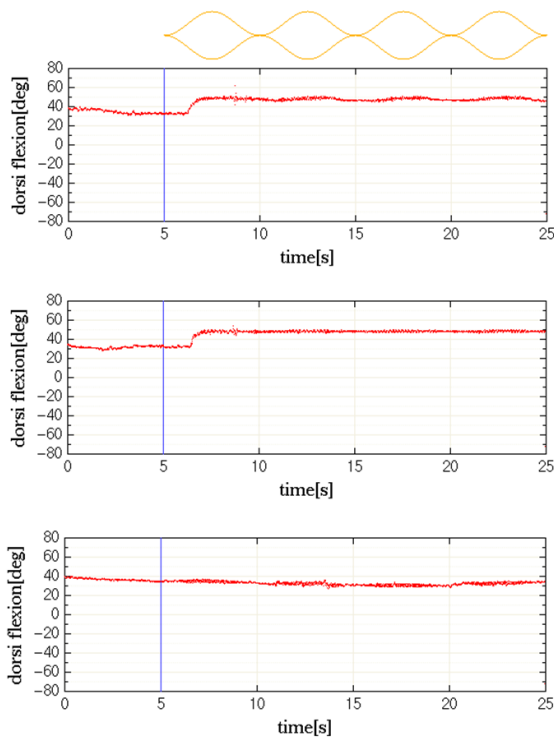


Fig.5 4電極での結果(上から 5kHz、10kHz、20kHz)

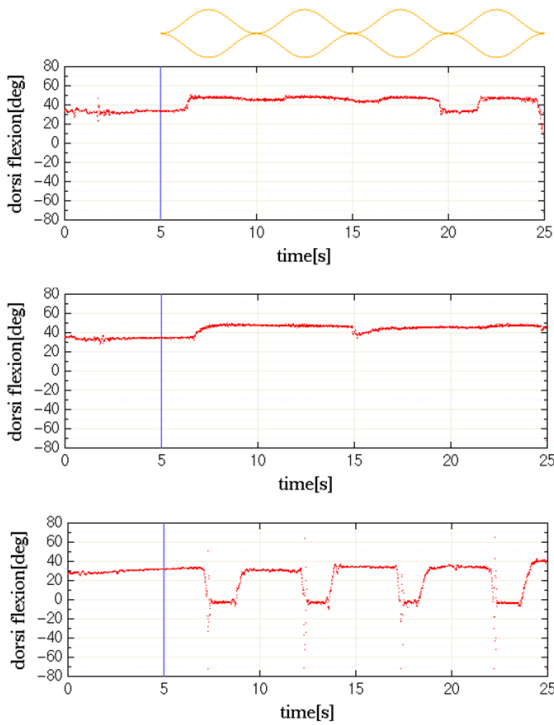


Fig.6 3電極による結果の一例(上から 5kHz、10kHz、20kHz)

4. 追実験:増強効果の可逆性の確認

4.1 実験目的

前節の実験で筋収縮により運動神経の位置が動いたために刺激効果が変わり、脱力が起きなかった可能性がある。この実験では、前節で確認できなかった増強効果の可逆性を確認する。

4.2 実験方法

実験方法は 4.1 と同様だが主刺激の刺激強度についてのみ変更がある。変更点は、前節の実験では背屈角度を 30~40 度にする刺激強度であったが、今回の実験では、約 0 度とした。

4.3 結果

4 電極結果を Fig.7、3 電極の結果を Fig.8 に示す。3 電極 4 電極ともに増強効果についての可逆性の確認ができた。ただし、3 電極の 20kHz のみ変化はなかった。

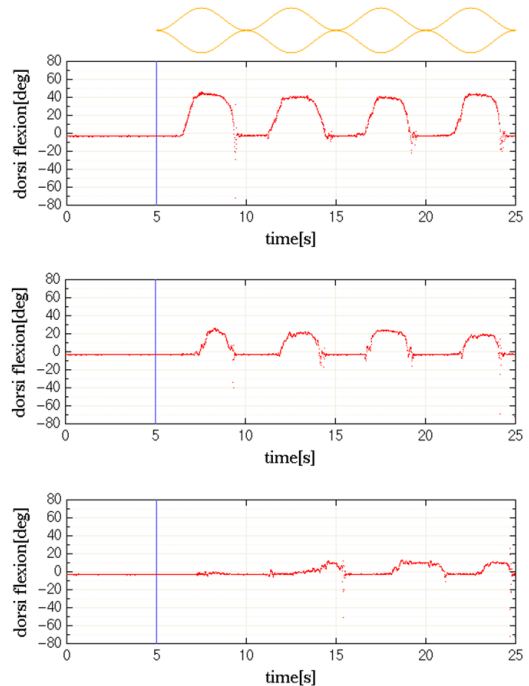


Fig.7 4電極による結果の一例(上から高周波刺激の周波数が 5kHz、10kHz、20kHz)

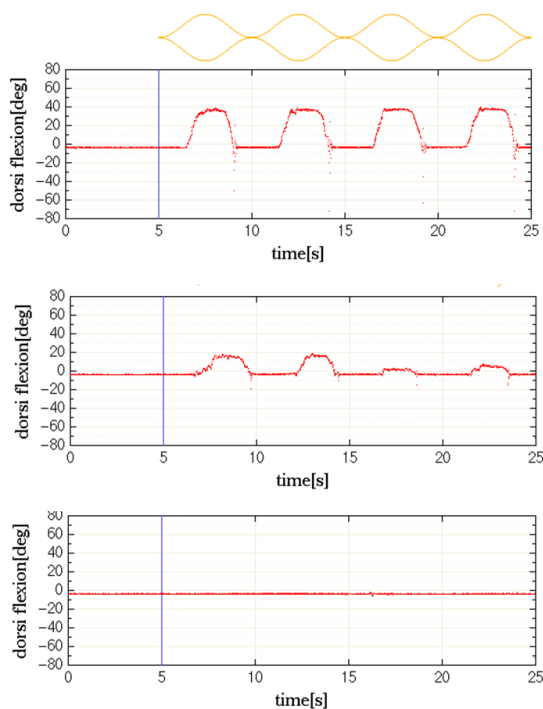


Fig.8 3電極による結果の一例(上から高周波刺激の周波数が5kHz、10kHz、20kHz)

5. 電極の皮膚電極による選択的神経刺激実験

5.1 実験目的

皮膚電極による電気刺激の欠点の一つとして、刺激する神経の選択性が乏しいことがあげられる。しかし、本研究で皮膚電極でも神経ブロックが発生する可能性が示唆できた。

この項では、上腕部に3電極で2対の電気刺激を行い、選択性が上がるかを簡易であるが調査する。

5.2 実験方法

刺激パラメータについて高周波は、20kHzの正弦波、刺激強度は±23mA以内で被験者が手動で調節する。主刺激はバースト幅2ms、繰り返し周期20ms、バースト内周波数は500Hzとする。

電極の配置はFig.9に示す。この配置により浅部は小指伸筋と総指伸筋、深部では、長母指伸筋と短母指伸筋を刺激する。

記録方法は簡易実験であるので目視による確認とする。

実験の流れは、まず主刺激のみの刺激で刺激強度を変えての動きを確認する。

次に、主刺激の刺激強度を背屈が手首および指の背屈が分かる程度まで上げ、その後、高周波は刺激強度を実験車が任意に変えながら刺激し、その時の様子を確認する。

5.3 結果

結果としては、高周波の刺激強度を上げた際、わずかに指のみの脱力が確認できた。

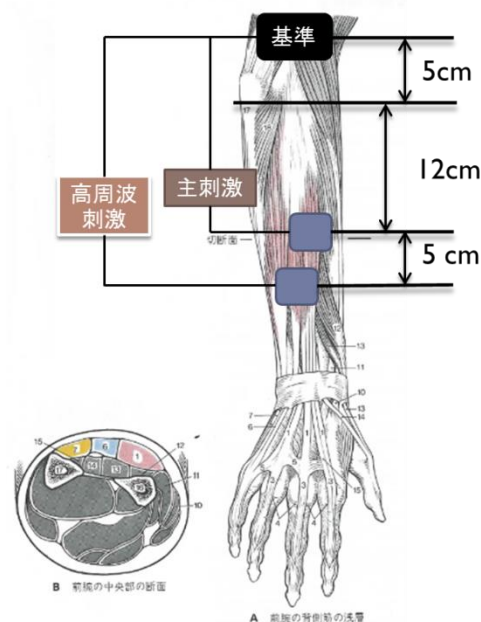


Fig.9 電極配置

6. 考察

増強効果は3電極と4電極両方で発生し、可逆性であることさらに、3電極のみ神経ブロックが起きたため、4電極と3電極では高周波刺激の効果が異なることが推測された。

簡易実験では、浅部の筋の閾値が高周波により上昇したことが考えられ、皮膚電極による電気刺激の選択性が上がった可能性が示唆できる。

6. 結論

本研究で試みた3電極による2対の電気刺激間による相互作用には、主刺激の増強効果とブロッキング効果が確認され、また、ブロッキングについては皮膚電極による電気刺激の選択性の向上につながる可能性も示唆された。

しかし、3電極による電気刺激間の相互作用の仕組みについては不明な点が多く、特に、相互作用させた時のモデル解析については進んでいない。他にも、高周波の正弦波以外での波形や電気刺激の選択性の限界なども検証する必要がある。

7. 参考文献

- [1]Laveeta Joseph、
RobertJ.Butera:High Frequency
Stimulation Selectively Blocks
Different Types of Fibers in Frog Sciatic
Nerve、IEEE Trans Neural Syst
Rehabil Eng. 2011 October ; 19(5): 550–
557
- [2] Kristian Hennings、Lars Arendt
-Nielsen、Ole K. Andersen:Orderly
activation of human motor neurons
using electrical ramp prepulse、Clinical
Neurophysiology 116 (2005) 597–604
- [3]藤枝涼:神経の選択的刺激に関する研
究、福島大学大学院修士論文(2014)
- [4]文光堂、越智淳三 訳:解剖学アトラス