

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：52605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700605

研究課題名(和文) 緊張性振動反射と空気圧人工筋による拮抗運動を利用した上肢運動訓練装置の開発

研究課題名(英文) Development of upper limb training system using antagonistic pneumatic McKibben actuators and tonic vibration reflex.

研究代表者

柴田 芳幸 (Shibata, Yoshiyuki)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・助教

研究者番号：50614319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、緊張性振動反射(Tonic Vibration Reflex: TVR)を利用した新しい筋力トレーニング手法の開発を目的とする。TVRは、ヒトの骨格筋への振動刺激により誘発されると言われており、まず本研究では実際にTVRが誘発されるか実験を行った。はじめに、上肢のリーチング動作中に、上腕三頭筋へ振動刺激を与えることでTVRが誘発されて、上肢の軌道が阻害されることを確認した。続いて、スリングに上肢を吊るし、安静の状態の上腕二頭筋および三頭筋に振動刺激を与えたときの筋電図を計測した。筋電図は安静時より振動刺激時の方が誘発されていたが、肘関節の駆動は確認できなかった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop new method for muscle training using Tonic Vibration Reflex (TVR). TVR was evoked human skeletal muscles. In this study, We experimented in whether TVR is evoked or not. First, we applied vibrated stimulation to triceps brachii during reaching task of upper limb, then trajectory of upper limb was inhibited because TVR was evoked. Next, upper limb was suspended by arm sling. We measured electromyogram of biceps and triceps brachii during vibrated stimulation. Electromyogram was evoked by vibrated stimulation, however elbow joint did not move.

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：緊張性振動反射 ニューロリハビリテーション 空気圧人工筋

1. 研究開始当初の背景

従来筋力訓練は、ダンベルなどの重りを用いて鍛えたい筋に負荷をかける方法が一般的に行われている。しかし、宇宙空間のように無重力状態では重りを用いた訓練ができないため、先行研究では機能的電気刺激 (FES: Functional Electrical Stimulation) を筋力維持に利用する手法を構築している。これは膝の屈伸運動のように、随意運動を行っているときに拮抗筋を電気刺激して筋収縮を生じさせ、この収縮力を運動抵抗として働かせて、主動筋を求心性収縮、拮抗筋を遠心性収縮させるといったものである。FES は、脊髄損傷のように脳からの指令が損傷部で寸断され末梢まで届かないようなときに、生体外からの信号によって骨格筋を収縮させるものである。FES を最も効果的に運用するためには、体内に電極を埋め込み筋に直接電気刺激を与える必要がある。この FES システムを用いることで関節を駆動させることができるようになるため、完全脊髄損傷者のように神経の促通が全くない場合に、歩行動作を再現できるのではないかと考えられている。しかしながら FES は脊髄を経由せず筋線維、つまり効果器へ直接刺激を与えるものであり、筋紡錘などの受容器を刺激しないため神経系の促通に効果はない。前述の FES を利用した訓練方法も、健常者の筋力維持には効果が期待できるが、随意運動が行えない脊髄損傷者や脳卒中片麻痺者ではどのくらい効果があるのかわからない。そこで本研究では、振動刺激による緊張性振動反射 (TVR: Tonic Vibration Reflex) に着目した。TVR は脊髄を介する反射の一種であり、経皮的に筋へ振動を与えて反射を誘発するため FES に比べて侵襲性が低い。この TVR と外力による関節の駆動を併用することにより、ニューロリハビリテーションとしての神経-筋力増強訓練が行えるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、健常者だけでなく脊髄損傷者、脳卒中片麻痺者や腕神経叢麻痺者などの不全麻痺した運動機能の回復訓練に役立つ装置を開発することである。患者によって麻痺部位や症状の程度はさまざまであるから、将来的には下肢や上肢、体幹など、訓練を行いたい場所を選択できるようなモジュラー型の訓練装具システム構築する必要がある。また、選択的に筋力増強訓練を行うためには、ヒトの筋骨格系と同等の配置をしたアクチュエータと振動子が必要である。例えば上肢の上腕部では、ひと組の拮抗二関節筋モデルとふた組の拮抗単関節筋モデルを用い、ひとつの体肢につき6個のアクチュエータと振動子をそれぞれ配置しなければならない。本研究ではまず基礎技術の構築のために、既製品の振動子によって TVR が実際に誘発されるのか、また誘発された場合どれくらいの刺激でどの程度の関節駆動力を発

揮するのか、健常者を被検者として調査する。

3. 研究の方法

(1) TVR の利用

筋には受容器として筋紡錘が存在し、筋紡錘に振動刺激を与えると筋線維が収縮することが知られている。この反応が TVR (緊張性振動反射) である。これに対し、FES は α 運動線維を通して効果器である筋線維へ刺激を与えるため、脊髄を経由しない。つまり神経中枢へ働きかける作用がないため、ニューロリハビリテーションにはならないことが考えられる。TVR に関する研究は 1960 年代から行われており、振動刺激を用いた運動訓練 (主に体重の減量目的) としては、1990 年代終わりから 2000 年代初期にかけて民生用の機器がたくさん流通したことはよく知られている。しかしながら、これらの機器は科学的根拠に基づきニューロリハビリテーションに資するような装置ではなかった。ではなぜ今さら TVR のような振動刺激を用いるかという、TVR は FES のような電気刺激に比べ電極を埋め込む必要がないため侵襲性が低く、また必要な機器類が少なく済み、制御方法も簡易である。このような工学的な利点に加え、TVR は脊髄を介す反射であるため、振動刺激が神経系の促通に効果があるのではないかと考えた。

TVR は反射であるから、神経経路に異常がある場合や物理的に完全に寸断されている場合では TVR が得られないと思われる。ただし、TVR が得られるような症例、症状の患者にとっては、本研究による訓練方法が新たなニューロリハビリテーション手法のひとつとして役立つのではないかと考えた。

(2) 上肢リーチング運動時の軌道計測実験

本実験では、実際に作業療法の現場で行われているような上肢の運動課題の実行中に TVR が誘発されるかどうかを検証する。課題は、ペグボードを用いたリーチングタスクで、肘の屈曲と同時に振動刺激を上腕三頭筋に与えたとき、リーチング動作が TVR 誘発により阻害されるかどうか、ペグの軌道を三次元動作解析装置によって計測、解析する。図 1. に実験システムの略図を示す。

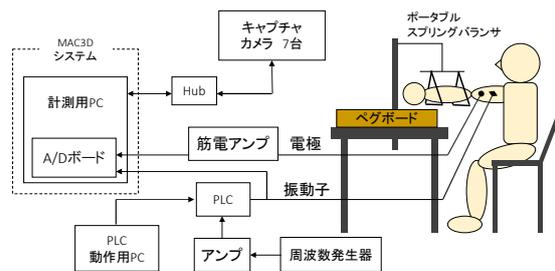


図 1. リーチング実験システム略図

被検者は健常成人男性2名で、振動子設置部位は右上肢の上腕三頭筋の筋腹付近とし、振動刺激は100[Hz]とした。実験手順を以下に示す。①椅子に座り、右上肢をポータブルスプリングバランサーに通す。②手を初期位置に置き、開始の合図と共にペグをまっすぐ上下に5往復動かす。これを5回繰り返す。③手順②のうち、腕を戻す動作(帰り)のときに上腕三頭筋へ振動刺激を入力する。つまり、TVR誘発によって肘は伸展するため、リーチング動作が阻害されるはずである。実験の様子を図2.に示す。

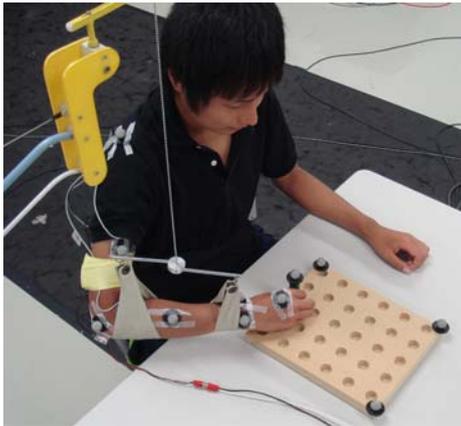


図2. 実験の様子

(3) TVR誘発時の筋電図計測実験

次に、TVR誘発時の筋電図を計測するため、右上肢をスリングに吊るし、座位で安静の状態にて振動刺激を印加したときの筋電図を計測した。被検者は健常男性1名、被検筋は上腕二頭筋、振動刺激は100[Hz]で行った。

4. 研究成果

(1) 上肢リーチング動作時の軌道計測実験結果

図3.にリーチング動作の軌道を示す。これは被検者一人分のデータで、リーチングの軌道を水平面および、矢状面で表したものである。太線が平均値で、細い線が標準偏差である。図3.より、振動刺激がありのときとなしのときで、水平面での軌道のばらつきは小さいものの、矢状面では振動刺激ありのときの軌道のばらつきが大きくなったことがうかがえる。また、水平面の軌道をみると、振動刺激なしのほうではまっすぐペグが移動しているのに対し、振動刺激ありのときには、右側へ膨らんでから下側へペグが移動したことがわかる。これは肘の伸展が影響しているのではないかと考えられる。

図4.はリーチング軌道のばらつきに関するグラフである。図3.のグラフのデータより、波形の面積をばらつきとして算出した。実験は二人の被検者について行ったが、被検者によって振動ありとなしのときの軌道のばらつき具合が逆転した。また、どちらの被検者ともx軸(左右方向)の軌道のばらつきよりも、z軸(上下方向)の軌道のばらつきがそ

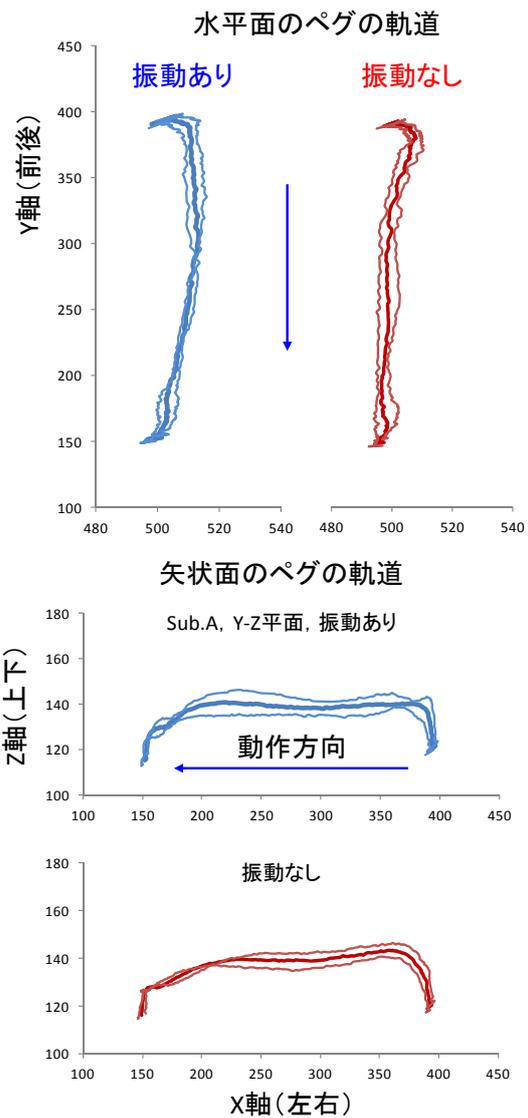


図3. 上肢リーチング動作時の軌道

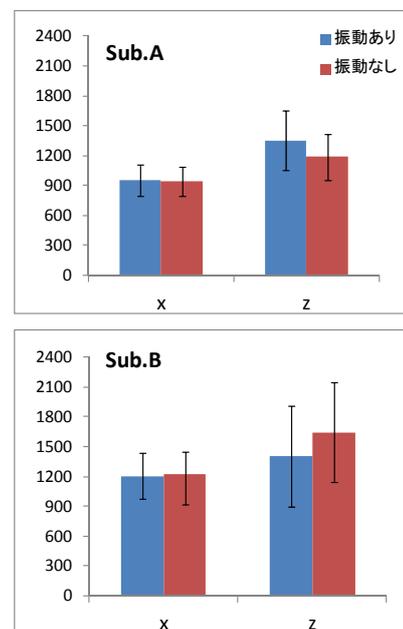


図4. 軌道のばらつき

もそも大きいことがわかった。これは、ポータブルスプリングバランサを使用したため、ちょっとした上下の動きに、ポータブルスプリングバランサのバネの力が過敏に反応してしまったためであると考えられる。

(2) TVR 誘発時の筋電図計測実験結果

座位にて安静の状態、振動刺激を上腕二頭筋へ与えていないときと刺激を与えたときの筋電図を図 5. に示す。計測はどちらも 20 秒間行い、振動刺激はこの間常に与え続けている。この結果より、振動刺激なしのとき筋電図はほぼ一定の値であるのに対し、振動刺激を与えたときはわずかながら筋電図が発揮されることがわかった。また、時間が経つごとに筋電図の発揮量が増えている。しかしながら、振動刺激を与えたとき、被検者の肘関節の屈曲を確認することはできなかった。

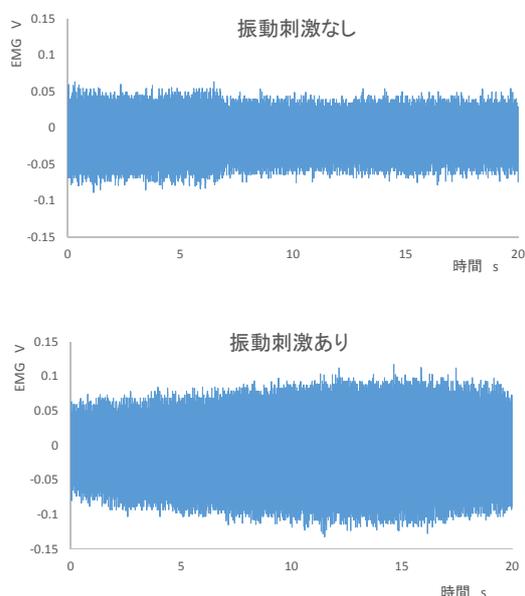


図 5. 筋電図計測結果

(3) まとめと今後の展望

本研究では、TVR を利用した筋力訓練装置の開発のための基礎研究として、TVR の誘発に焦点をあてて実験を行った。上肢リーチング動作時の軌道計測実験より、振動刺激印加による TVR 誘発によって、随意運動中の上肢の動きを阻害する程度の力を発揮することが観測できた。しかしながら筋電図計測実験より、TVR の誘発だけでは安静の状態の肘関節を屈曲させるほどの筋収縮が起きないことがわかった。また、本実験では被検者数が少なく、被検者数を増やして計測を行い、これらの結果が本当に正しいのかどうか検証する必要がある。そのためにも、現在煩雑である実験計測環境を整備し、いつでも確実に実験が行えるような実験環境にしなければならない。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

① 柴田 芳幸ら, 上肢運動訓練装置の開発～TVR を利用したリハビリテーション手法の開発～, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, GS3-4-8, 2012 年 11 月 4 日, 名古屋大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 芳幸 (SHIBATA, Yoshiyuki)
東京都立産業技術高等専門学校・助教
研究者番号: 50614319

(2) 研究協力者

山本 紳一郎 (YAMAMOTO, Shin-ichiro)
芝浦工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30327762