

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～

Development of motor training system for upper extremity using Tonic Vibration Reflex

○ 柴田芳幸(産技高専) 加藤智久(芝浦工大) 安田勝一(芝浦工大) 山本紳一郎(芝浦工大)

Yoshiyuki SHIBATA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Tomohisa KATO, Shibaura Institute of Technology
Katsuichi YASUDA, Shibaura Institute of Technology
Shin-ichiro YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology

Abstract: Tonic Vibration Reflex (TVR) is evoked by a vibration stimulus to the human skeletal muscles. For example elbow joint was flexed when vibration stimulus was applied to the biceps brachii. Simultaneously, if elbow joint was extended by an actuator or manually extended by therapist, biceps brachii behaves efferent contraction. We thought that the efferent contraction caused to TVR might be useful for muscle training. The purpose of this study was to develop a new muscle training method and training system for upper extremity using TVR.

Key Words: Muscle training, Rehabilitation, Tonic Vibration Reflex, Upper extremity

1. 研究背景

筋力訓練というと、ダンベルなどのおもりを用いて鍛えたい筋に負荷をかける方法が一般的である。しかし、宇宙空間のような無重力状態ではおもりを用いた訓練ができないため、志波ら⁽¹⁾は宇宙飛行士の筋力維持を目的に、電気刺激を利用した筋力訓練手法を構築した。これは膝の屈伸運動のような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うものである。電気刺激は目的に応じてふたつの種類に分けられる⁽²⁾。ひとつが機能的電気刺激(FES: Functional Electrical Stimulation)であり、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システムを用いれば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でも、FESと歩行補助器具を合わせて用いることで歩行動作を再現できるのではないかと考えられている⁽³⁾。ふたつめに、筋萎縮の予防など、治療目的に用いられる治療的電気刺激(TES: Therapeutic Electrical Stimulation)がある。基本的なシステム構成はFESと同じである。TESは、FESを利用する前段階における筋力維持、筋力強化訓練に加え、脳卒中片麻痺による不全麻痺者の痙性や随意性の改善にも効果がある。このように電気刺激は臨床でも多く利用されているのだが、電気刺激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。志波らの考案した訓練方法も、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)と外力による関節の駆動を併用することにより、神経-筋力増強訓練が行えるのではないかと考えた。

2. 研究目的

本研究の目的は、TVRを利用した筋力訓練がどれほど効果があるか検証し、最終的に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筋の

機能回復訓練に役立つようなリハビリテーション手法および、訓練装置を開発することである。本研究では、まず健常者と腕神経損傷者の上腕二頭筋においてTVRが誘発されるか確認実験を行った。

3. TVR 誘発実験

3-1 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⁽⁴⁾。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にはTVRが得られないと思われる。ただし、TVRが得られるよう症例、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る。

3-2 TVR 誘発実験

Fig.1に振動刺激のシステム概略図を示す。被検者は健常成人1名(Sub.1, 47歳男性)と右腕神経叢麻痺者1名(Sub.2, 32歳男性, 受傷後12年経過)とした。両被検者とも椅子に座り、右腕をポータブルスプリングバランサーに吊るして脱力し、腕にかかる重力方向の力を取り除いた。振動子(Vp4, アクレーラボ)は、被検者の上腕二頭筋に包帯を巻いて取り付け、音響用アンプ(SRA-50, Roland)を介し、

先行研究⁽⁴⁾を参考に 100[Hz]で振動させた。筋電図電極 (biometrics) は振動子に接触しないようにして、上腕二頭筋 (BB) の筋腹近くに張り付けた。予備的に上腕三頭筋 (TB)、腕橈骨筋 (BR) の筋電図も取得した。筋電図のサンプリングレートは 1000[Hz]で行った。振動子の動作と EMG の記録は Matlab/Simulink の xPCTarget を用いた。振動刺激は、ステップ波形と矩形波に従って、2V のとき振動するようにした。

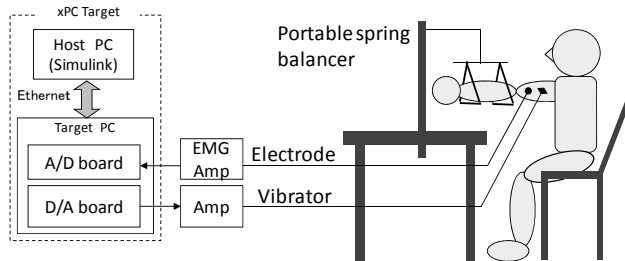


Fig.1 Experimental system

4. 結果と考察

Fig.2 に健常者、Fig.3 に腕神経叢麻痺者の上腕二頭筋に振動刺激を与えたときの筋電図の結果を示す。健常者の上腕二頭筋へ振動刺激を与えたところ、刺激の入力タイミングの通りに筋電図が誘発された。被検者は肘関節が屈曲するように感じたとして述べており、目視においても肘の屈曲が確認できたことから、先行研究⁽⁴⁾の通り TVR が誘発されたものだと考えられる。

次に腕神経叢麻痺者の結果では、Fig.3 の最上段に示す波形より筋活動が生じているようにも見えるが、振動子をあてていない腕橈骨筋や上腕三頭筋でも波形が表れており、振動をノイズとして計測してしまった可能性の方が高い。被検者自身も肘関節の屈曲を感じておらず、目視にて肘関節の屈曲は確認できなかった。

5. 問題および課題

本研究では、TVR が実際に生じるか確認実験を行った。健常者においては TVR の誘発がみられたが、振動刺激の強度と反射応答の関係はあきらかではない。今後は振動刺激の強度と反射の時間応答、強度の関係について基礎実験を行う必要がある。続いて、TVR を利用した訓練課題の内容を検討しなければならない。

6. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24700605 の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 志波直人ら, 宇宙環境で有効な骨格筋維持装置開発の研究-ハイブリッドトレーニング法による Wearable device の開発研究-, リハ医学46(12), pp758-763, 2009.
- (2) 市江雅芳, 機能的電気刺激, 信州医学雑誌, 49(6), pp325-334, 2001.
- (3) S. Hesse et al, Electromechanical gait training with functional electrical stimulation: case studies in spinal cord injury, Spinal Cord, 42, pp346-352, 2004.
- (4) 七辺一三, 緊張性振動反射の臨床的検討, 千葉医学会誌 48, pp141-147, 1972.

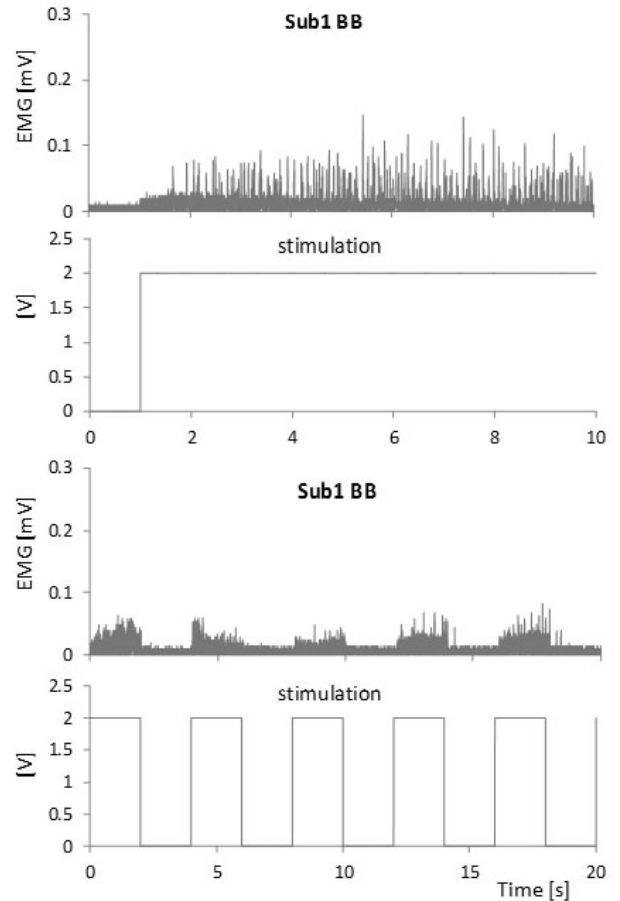


Fig.2 EMG data for Sub.1 (healthy)

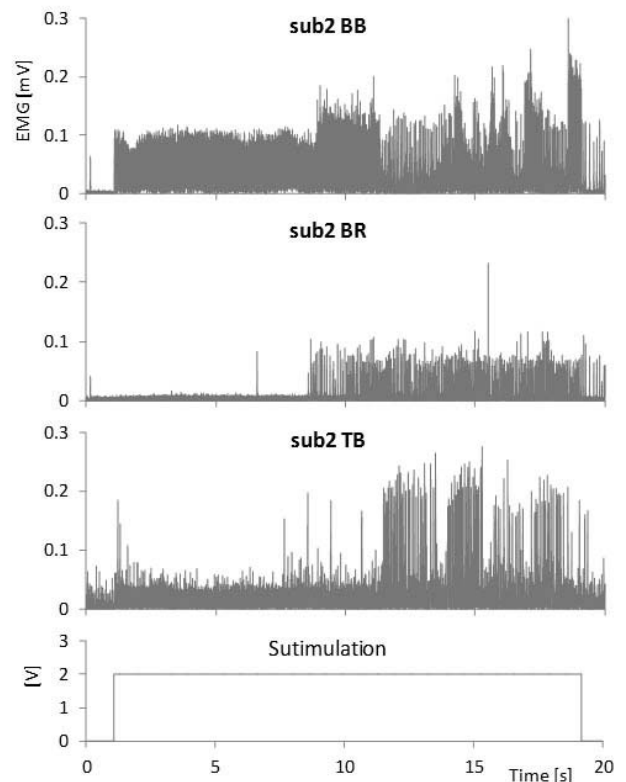


Fig.3 EMG data for Sub.2 (disabled)