

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24700517

研究課題名(和文) 全身振動刺激が筋循環・代謝機能へ与える影響の解明

研究課題名(英文) Effect of whole body vibration stimulation on muscle function and metabolism

研究代表者

藤田 俊文 (FUJITA, TOSHIFUMI)

弘前大学・保健学研究科・講師

研究者番号：60431441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、全身振動刺激時の筋電図学的分析および筋酸素化動態測定から筋機能・代謝について検証することである。脳卒中患者を対象として、WBV実施中の筋活動の周波数解析を実施し高周波成分が優位に検出された。また、健常成人を対象に、組織酸素化動態測定を実施し、WBV実施中の各筋の酸素化動態に相違がみられた。以上より、WBVにより速筋線維の筋活動が優位に賦活化されることが示唆され、さらに筋酸素化動態測定は筋代謝を推測できることが提示できた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the muscle function and metabolism during the whole body vibration(WBV) stimulation by analysis of myoelectric signals and measurement of muscle tissue oxygenation. A high-frequency component by frequency analysis was detected from muscle activities during WBV in stroke patients. Muscle tissue oxygenation of each muscle during WBV was observed difficult in healthy adults. As a result of this study, WBV was suggested to activate muscle activity of fast twitch fiber. In addition, the measurement of tissue oxygenation was able to detect muscle metabolism.

研究分野：総合領域、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：全身振動刺激 筋機能 筋電図 周波数解析 筋循環動態 筋代謝 脳卒中 リハビリテーション

### 1. 研究開始当初の背景

各種疾病や傷害などによる安静（例えば脳卒中発症後や各種術後など）により、廃用症候群、特に廃用性筋萎縮が進行することは周知の事実であり、リハビリテーションにおける重要なポイントである。そのため現在では、医学的な管理の下、早期からリハビリテーション介入が推奨されている。しかしながら、脳血管疾患のように発症後の内科的な管理が必須な場合は活動制限による筋萎縮を引き起し、出来る限り早期からリハビリテーションを開始しても筋萎縮を防止し得ていないとされている（近藤ら 1997）。さらに筋線維の縮小や神経単位の減少は筋出力に重大な影響を与え、加えて近年では、上位中枢からの指令が障害されることで、麻痺側はもちろんのこと錐体交叉している非麻痺側の脊髄前角運動ニューロンの興奮性低下も筋出力低下の一因であると言われている。これらの影響により、起き上がりや立ち上がり、歩行といった日常生活動作（以下、ADL）の遂行が困難になると予測される。そのため、出来る限り早期より筋萎縮の予防や筋出力向上など筋・神経機能改善が必須の課題といえる。

これまで我々の研究では脳卒中患者の筋機能について探索し、身体組成（特に筋量）、筋力、さらには瞬発的な能力の評価である筋パワーという視点から、身体機能や運動能力との関連性について明らかにしてきた（Fujitaら 2011）。その結果、筋パワーと 5 回反復起立動作所要時間において関連性が高いことを明らかにし、脳卒中患者の筋組成として速筋線維である type 線維の優位な萎縮や機能低下が影響しているものと推測された。このような背景から、いかにして効果的かつ効率的に瞬発的な筋機能を改善・向上できるかを検討し、近年注目されている「全身振動刺激」の脳卒中リハビリテーションへの応用を探索してきた。

高速で振動するプラットフォーム上に立ち、全身に対して機械的な振動刺激を付加すること（全身振動刺激）で、筋力や筋量、骨塩量、バランス能力などの改善を図ることが可能であり（Torvinenら 2003, Cheungら 2007）、積極的に身体を動かさずとも身体機能向上が可能であることが示唆されてきている。振動刺激により「緊張性振動反射」を引き起こし、高頻度に筋収縮を促通するといわれているが、近年の報告では否定的な意見もみられており、より詳細な検討が必要となっている。また、骨格筋への振動刺激により脊髄内介在ニューロンを活性化し、シナプス前抑制による筋緊張抑制効果を示すともいわれている。このように振動刺激は「促通的效果」と「抑制的效果」の両方を兼ね備えた効果が期待できるデバイスである。実際に、脳卒中患者を対象とした報告では、即時効果や長期介入効果（van Nesら 2006, 2007）、また筋緊張抑制効果（Miyaraら 2014）などが報告されている。

しかしながら、目的とする効果を得るためには姿勢や振動周波数の設定が重要であり、その点については統一した見解はみられない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、全身振動刺激時の筋機能へ与える影響について、特に筋電図学的分析および筋循環・代謝機能の特徴から検証することである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 脳卒中患者への全身振動刺激の効果の検証

脳卒中患者に対する全身振動刺激の効果については、長期間の介入効果として筋力の向上や歩行能力の向上、また即時効果として筋緊張の抑制に効果的であると示唆されている。一方で介入効果は低いとの報告もあり、一定したエビデンスは得られていないのが現状である。そこで我々は、基礎研究として脳卒中患者への全身振動刺激時の筋電図学的特徴について調査し、筋機能へ与える影響について検討した。歩行が監視または自立レベルの回復期脳卒中患者 5 名（すべて男性）を対象とし、下肢片麻痺機能は Brunstrom stage ~ , 深部感覚は軽度鈍麻 ~ 正常レベルと比較的麻痺は軽い症例であった。全身振動刺激装置 G-Flex を用いて、足部を 20cm 開脚、膝関節軽度屈曲位（約 40°）を維持したスクワット肢位とし、出来る限り両足部への荷重が均等となるように配慮した姿勢で実施した。運動負荷プロトコルは、WBV 実施時間 1 分（30Hz）× 2 セットとした。筋電図測定は、両下肢の内側広筋、前頸骨筋、腓腹筋内側を被験筋とした。筋電計は表面筋電計バイオモニター ME6000（MEGA 社製）を用いて計測し、サンプリング周波数は 1000Hz とした。得られた値については、生データの特徴を把握しアーチファクトと思われる周波数を確認後、バンドストップフィルタおよび 10-400Hz のバンドパスフィルタを実施した。その上で 1 分のデータを 10 秒毎に 6 分割しそれぞれのセクションで平均 EMG および平均周波数を算出し、筋活動と周波数特性について調査した。

さらに介入前後に、瞬発的なパフォーマンステストとして 5 回反復起立動作所要時間を測定し、全身振動刺激の即時効果を検証した。

#### (2) 全身振動刺激時の筋循環動態の特徴の検証

身体活動には筋収縮が伴い、筋収縮にはエネルギーが必要となる。エネルギー産生には酸素が必須であり、特にミトコンドリア系での有酸素エネルギー供給過程は重要な役割を占める。運動強度や時間に応じて、ATP・CP 系、解糖系、有酸素系によりエネルギー供給されており、またエネルギー代謝と筋循環動態は密接な関係がある。そのため全身振

動刺激時の筋循環動態について知ることは、代謝機能を推測する上で重要な因子となってくる。そこで我々は健常成人を対象として、全身振動刺激が筋循環動態に与える影響を探索した。

全身振動刺激による運動負荷プロトコルは、安静座位5分、全身振動刺激3分(振動周波数30Hz)、終了後安静座位5分とした。筋循環動態測定には近赤外線組織酸素化モニタ PocketNIRS Duo(株式会社ダイナセンス社製)を用いて、右内側広筋、右腓腹筋内側を測定した。全身振動刺激時の筋循環動態について経時的变化の特徴を調査した。

#### 4. 研究成果

(1) 脳卒中患者への全身振動刺激の効果の検証結果について(図1)

全身振動刺激中の筋電図学的分析結果として、筋活動では全体的に開始10秒で高値を示しその後30秒にかけて低下する傾向があり、また、非麻痺側において前脛骨筋以外後半の30~60秒にかけて値が上昇する傾

向がみられた。麻痺側において内側広筋以外は全体的に非麻痺側よりも筋活動が低く徐々に低下傾向がみられた。周波数解析(図2)では、前脛骨筋において麻痺側・非麻痺側とも高周波成分(80Hz以上)が観察され、また内側広筋では45~80Hzの周波数成分が観察されるといった特徴を示した。腓腹筋では、開始10秒で高周波数成分がみられ、その後、低下する傾向を示した。介入前後の5回反復起立動作所要時間は、介入前平均10.4±4.5秒、介入後平均8.9±3.3秒と有意な時間短縮がみられた。

先行研究において、脳卒中患者を対象とした全身振動刺激時の筋活動の特徴を示したものは少なく、特に周波数特性に注目した報告はほとんど見当たらない。筋活動では、内側広筋以外で非麻痺側より麻痺側で筋活動が低い傾向を示したが、これは麻痺の程度や廃用性筋萎縮によるものと推察された。加えて、スクワット肢位保持において出来る限り両下肢均等荷重を配慮したが非麻痺側下肢優位の姿勢となってしまうこと、また麻痺側

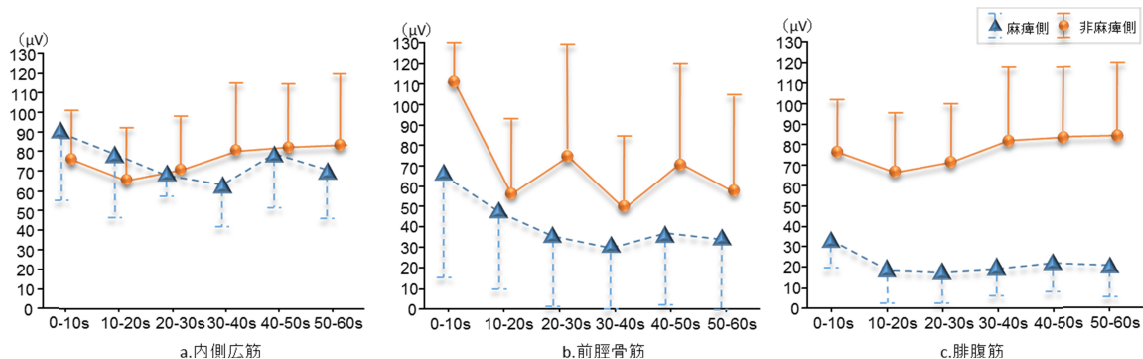


図1 全身振動刺激時の平均EMGの経時的变化

- a. 内側広筋: 麻痺側で経時的に低下がみられ、非麻痺側は逆に経時的に増加がみられる。  
 b. 前脛骨筋: 開始直後で筋活動が高く、その後は徐々に低下傾向だがばらつき大きい。  
 c. 腓腹筋: 麻痺側の筋活動は非麻痺側よりも明らかに低い。非麻痺側は徐々に筋活動が増加するが、麻痺側は減少傾向となる。

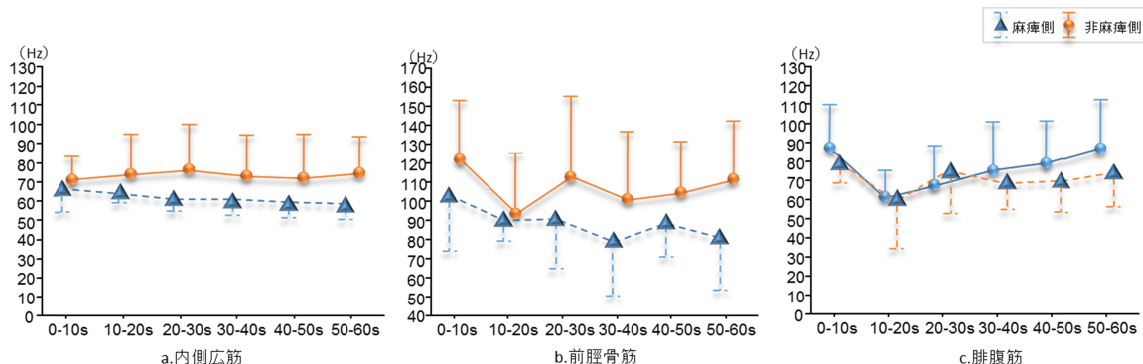


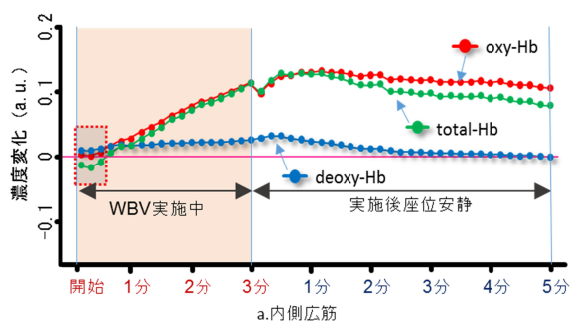
図2 全身振動刺激時の平均周波数の経時的变化

- a. 内側広筋: 非麻痺側よりも麻痺側でやや周波数が低く、両側とも実施中は60Hz~80Hz程度で大きな変動はみられない。  
 b. 前脛骨筋: 麻痺側・非麻痺側とも80Hz以上で推移しているが、ばらつき大きい。  
 c. 腓腹筋: 開始10秒程度で高周波数成分(80Hz程度)がみられる。その後、非麻痺側はいったん低下してから再度増加傾向あり。

下肢筋は持続的な筋収縮が容易ではないことが考えられた。これは特に、麻痺側内側広筋以外の筋活動において、時間とともに低下傾向を示していることから推察される。周波数特性からみれば、麻痺側・非麻痺側下肢筋において全体的に低周波数成分(45Hz以下)での活動が少なく、全身振動刺激による運動中は速筋線維が優位に活動していることが示唆された。介入前後の比較として、5回反復起立動作所要時間測定を実施したが、このテストは我々の先行研究結果において筋パワーと相関係数が高いことが明らかになっている。つまり全身振動刺激は、即時効果として筋パワーの向上が期待できる介入と捉えることができる。加えて、全身振動刺激を実施した対象者のほとんどが、実施後の歩行で麻痺側下肢が振り出しやすい、足が軽くなったとの感想が聞かれていたことから下肢筋全体の賦活化が図れているものと推測される。この点については、誘発筋電図検査などにより脊髄レベルでの変化を捉えることも重要であろう。

なお、我々の先行研究において健常成人8名を対象として、同様に全身振動刺激時の筋電図学的分析を行っている。その結果では、周波数特性として内側広筋は平均周波数が60Hz程度、腓腹筋は100Hz程度で推移していた。一般的に、周波数解析の結果より45Hz以下は遅筋線維、45~80Hzでは中間筋線維、80Hz以上では速筋線維が有意に活動しているとされている。健常成人と脳卒中患者の結果を比較してみると、内側広筋は同程度の周波数特性を示しているのに対し、腓腹筋では脳卒中患者で麻痺側・非麻痺側とも速筋線維の活動が減少していると捉えることができる。つまり脳卒中患者の筋萎縮の特徴として、速筋線維優位の萎縮(Hachisukaら1997)がみられていることが原因と推測される。

## (2) 全身振動刺激時の筋循環動態の特徴の



検証結果について(図3)

内側広筋では運動直後から60秒程度まで安静時よりもトータルヘモグロビンが若干低下し、その後運動終了3分まで上昇を続ける傾向がみられた。また腓腹筋内側では実施後から終了後までトータルヘモグロビンが安静時よりも低い状態となる傾向がみられた。介入終了後の安静座位において筋循環は安静時よりも高値で5分間経過していた。

筋循環動態の特徴より、運動開始30秒程度で循環動態の低下が見られやすく、有酸素的な代謝よりもATP・CP系、解糖系といった無酸素的な代謝が優位となる運動強度であることが示唆された。また内側広筋の筋組成の特性上、遅筋線維の割合が多いという点を考慮すると、開始後ある一定の時間を過ぎた時点から有酸素的なエネルギー供給の割合が大きいたことが示唆された。また、運動終了後はトータルヘモグロビン、酸素化ヘモグロビンが安静時よりも高値で推移していることから、末梢血管の拡張に伴う血流増加が観察され、有酸素性のエネルギー産生が増加している状態と捉えることができた。このように、全身振動刺激時の筋循環動態変動を観察することで、各筋の筋線維typeの特徴を踏まえたエネルギー代謝状況を推測することができる。

## (3) 本研究成果のまとめ

全身振動刺激時の筋電図学的特性を提示できたこと、特に速筋線維への高頻度刺激による瞬発的な運動能力向上に有効である可能性が示唆されたことは意義深いと考える。加えて、筋循環動態の観察によりそれぞれの筋特性を踏まえた代謝状況の推測が可能であることも興味深い結果であった。しかしながら、先にも述べたように、脳卒中患者を対象とした全身振動刺激の効果についてはある一定の効果は望めるものの十分なエビデンスは確立されていない。そのような意味で

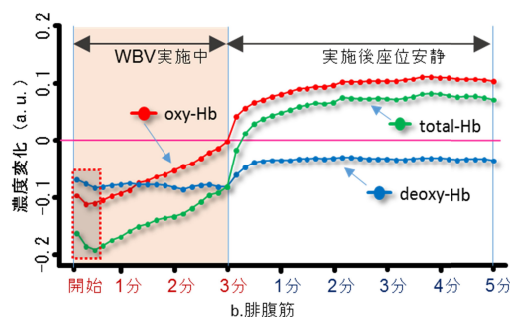


図3 全身振動刺激時の筋循環動態の経時的変化

- a.内側広筋: 全身振動刺激開始直後はtotal-Hbで開始20-30秒程度まで低下し、その後total-Hb,oxy-Hbとも運動終了まで上昇する。終了後は安静時よりも高値で推移する。  
 b.腓腹筋: 全身振動刺激開始直後は各種Hbで開始30秒まで低下し、その後はtotal-Hb, oxy-Hbで運動終了まで上昇する。終了後はtotal-Hb,oxy-Hbは安静時よりも高値で推移する。

も、今後は神経生理学的研究などの基礎研究から大規模な臨床介入研究へつなげ、より効果的かつ効果的な脳卒中リハビリテーションの確立を目指すべく研究を進めていきたい。

なし

(3)連携研究者  
なし

#### 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) 藤田俊文,岩田学:脳卒中患者の運動負荷時の循環動態変動の特徴 - 併存疾患の重複に着目して -, 理学療法科学, 30(5),719-724,2015.(査読あり)

(2) 藤田俊文,岩田学:全身振動刺激が筋機能・循環動態へ与える影響の解明, B10 Clinica, 30(12),106-111,2015.(査読なし)

[学会発表](計5件)

(1) 藤田俊文,岩田学:カシスアントシアニン摂取が運動後の酸化ストレスに及ぼす影響, 第51回日本理学療法学会大会,平成28年5月27日~29日,札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

(2) 藤田俊文,佐藤翔,中村学人,葛西文寿,岩田学:脳卒中患者における全身振動刺激(whole body vibration)実施時の筋活動の特徴. 第50回日本理学療法学会大会,平成27年6月5日~7日,東京国際フォーラム(東京都千代田区)

(3) 藤田俊文:全身振動刺激(whole body vibration)実施時の筋循環動態および筋活動の特徴. 第49回日本理学療法学会大会,平成26年5月30日~6月1日,パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

(4) 藤田俊文,岩田学:全身振動刺激を用いた運動時の運動強度の特徴 - 心拍数および自覚的運動強度からの検討 -. 第47回日本理学療法学会大会,平成24年5月25日~27日,神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

(5) 藤田俊文,岩田学:脳卒中患者の歩行自立度と筋機能および運動能力の特徴. 第47回日本理学療法学会大会,平成24年5月25日~27日,神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

藤田 俊文(FUJITA TOSHIFUMI)

弘前大学・大学院保健学研究科・講師

研究者番号:60431441

(2)研究分担者