

全身振動刺激が高齢者の歩行に与える影響についての運動学及び運動力学的分析

千代丸 正志, 大川 孝浩, 飯田 開, 上田 泰久

文京学院大学 保健医療技術学部 理学療法学科

要旨

全身振動刺激は、高齢者にとって安全に行うことが実施可能であり、歩行能力改善に効果があるトレーニングとされる。しかし歩行改善を定量的に明らかにした報告はない。そこで本研究の目的を全身振動刺激が高齢者の歩行に与える影響を運動学、運動力学的に分析し定量的に明らかにすることとした。対象は健康高齢男性15名とした。三次元動作分析装置を用いて分析を行った。全身振動刺激後において、歩行速度は有意に増加した。また歩行周期中の関節運動を考慮した結果、足関節背屈筋群、股関節屈曲筋群の遠心性収縮による筋出力が増加したことが明らかになった。全身振動刺激は、高齢者の下肢筋群の筋出力増加、特に低下することが多いとされる遠心性収縮による筋出力増加に効果があることが示唆された。

キーワード

全身振動刺激, 高齢者, 歩行分析

1. 序論

全身振動 (Whole-body vibration: 以下WBV) 刺激トレーニングは、高速の微細振動プレート上で行うトレーニングである¹⁾。WBV刺激トレーニングにより微細振動が与えられた筋は感覚受容器による緊張性の筋収縮を引き起こし、緊張性振動反射による収縮筋の持続的収縮と拮抗筋の筋活動の抑制が生じるとされる²⁾。このWBV刺激トレーニングの特徴は、プレート上で姿勢を保つことでトレーニング効果が得られることにある³⁾。そのためWBV刺激トレーニングは、ウエイトマシンを使用するレジスタンストレーニングと比べ、安全性が高いとされ、移動能力やバランス能力に不安を抱える高齢者や患者の身体機能を向上させる新しい運動プログラムとして検討されている⁴⁾。WBV刺激トレーニングの効果として、筋力と瞬発的筋力を示す筋パワー⁵⁾や姿勢制御の改善⁶⁾だけでなく高齢女性の骨密度増加⁷⁾、高齢者の移動能力やバランス能力の向上⁸⁾が報告されている。その中でも移動能力、特に歩行は日常生活活動を円滑に行うために欠かせない重要な基本動作であり、移動能力を保つことは高齢者や患者にとって非常に重要である。しかし歩行能力の改善が報告されているものの、WBV刺激トレーニングが歩行に与える影響について、運動学、運動力学的に検討した詳細な報告はない。この歩行の変化を理学療法士が詳細に理解することは、転倒リスクが高い対象者に安

全な理学療法プログラムを立案するうえで重要な指針となる可能性がある。そこで本研究の目的は、WBV刺激トレーニングが高齢者の歩行に与える影響を運動学、運動力学的に分析することとした。

2. 方法

2.1 対象

対象は高齢健康男性15名 (平均年齢 77.0 ± 5.7 歳, 身長 1.64 ± 0.05 m, 体重 60.1 ± 6.0 kg) とした。過去1年間に整形外科疾患と中枢神経疾患の治療歴のないものを対象とした。被験者の募集は、P市シルバー人材センターに協力を依頼した。本研究への参加の同意が得られた者を被験者とした。なお被験者には本研究の目的と研究参加による潜在的な危険、研究不参加の場合でも不利益を被ることはないこと、研究参加の同意は計測開始後においても撤回可能であることを文書と口頭で説明した。研究参加の同意が得られた者に対して計測を実施した。本研究は文京学院大学倫理審査委員会の承認を得た (承認番号 2017-0016)。

2.2 計測方法とデータ処理

2.2.1 計測機器

計測は文京学院大学運動学実習室で行った。計測機器は三次元動作解析システム VICON NEXUS (VICON MO-

TION SYSTEM社製)と床反力計6枚(AMTI社製)を用いた。VICON NEXUSで得られる位置データと床反力計で得られる床反力値は同期させた。得られたデータは、VICON NEXUS付属の解析ソフトPlug in Gaitによって処理を行った。計測はサンプリング周波数100Hzで行った。

2.2.2 マーカ貼付

位置座標データを計測するために身体に14mmの赤外線反射マーカを貼付した。マーカの貼付位置はPlug in Gait full body modelに基づき、身体39か所(左右前頭部、左右後頭部、第7頸椎棘突起、第10胸椎棘突起、胸骨丙、剣状突起、左右肩峰、左右上腕外側部、左右上腕骨外側上顆、左右前腕外側、左右尺骨茎状突起、左右橈骨茎状突起、左右第2中手骨頭、左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、左右大腿外側部、左右膝関節裂隙外側、左右下腿外側、左右足関節外果、左右踵骨隆起、左右第2中足骨頭、右肩甲骨)とした。

2.2.3 計測手順

WBV刺激が高齢者の歩行に与える影響を検討するために、WBV刺激前後の歩行を計測した。運動課題は計測室内の歩行とした。計測室前壁に被験者の視線の高さに視標を貼付し、歩行中は指標を見るように指示した。歩行速度については指示せず、「普段歩いているように歩いてください」と指示した。先に通常歩行を計測し、その後WBV刺激後に歩行(以下WBV歩行)を計測した。また本研究では一歩行周期を計測期間とし、右踵接地で始まる歩行周期に着目して計測を行い、特に右下肢の立脚期を中心に分析を行なった。床反力データを使用するために右下肢が床反力計上に接地する必要があるが、被験者には特別な指示はせず、計測者が被験者の歩行開始位置を調整し計測を行った。計測は各課題3回ずつ行った。課題達成の可否はVICON NEXUSの画面上で確認を行い、最初に課題を達成した試行を解析データとして採用した。WBV刺激にはPERSONAL Power Plate (POWER PLATE international社製)を使用した。被験者に対してPERSONAL Power Plate上に軽度膝屈曲位で立位を保つように指示し、35Hzの振動刺激を30秒間3回行った。振動刺激間には60秒間の休息を設けた。周波数刺激は高いほど筋活動が増加するとした伊藤ら⁹⁾の研究を参考に決定し、刺激時間及び回数については、藤谷ら¹⁰⁾の研究を参考に決定した。

2.2.4 データ処理と計測項目

VICON NEXUSと床反力計によって計測されたデータは、

VICON NEXUS付属の解析ソフトPlug in Gaitによって処理した。計測項目は、床反力、身体重心位置、足関節角度、膝関節角度、股関節角度、足関節モーメント、膝関節モーメント、股関節モーメントとした。得られた床反力鉛直方向成分値から右初期接地から始まる一歩行周期を決定した。得られた位置座標データから時間距離因子として、歩幅、歩隔、歩行速度を求めた。歩幅は右初期接地時の踵骨貼付マーカの前後方向位置と左初期接地の踵骨貼付マーカの前後方向位置の距離を求めた。歩隔は右初期接地時の踵骨貼付マーカの左右方向位置と左踵骨貼付マーカの左右方向位置の距離を求めた。歩行速度は、右初期接地で始まる一歩行周期間の身体重心位置の前後方向距離を求め、要した時間で除して求めた。歩幅、歩隔、歩行速度を求めた後に、得られた床反力鉛直成分の結果から、右下肢の初期接地と同側の下肢の初期接地を一歩行周期とし、一歩行周期に要する時間を100%として正規化した。その後Perry¹¹⁾が示す歩行周期の時間割合に基づき、得られた一歩行周期データを分類した。初期接地(Initial Contact: 以下IC)、荷重応答期(loading response: 以下LR)、立脚中期(Mid Stance: 以下MSt)、立脚終期(Terminal Stance: 以下TSt)、前遊脚期(Pre-Swing: 以下PSw)、遊脚初期(Initial Swing: 以下ISw)、遊脚終期(Terminal Swing: 以下TSw)として歩行周期を分類した。分析は右立脚相について矢状面上の分析を中心に行なった。100%時間正規化を行ったデータに対して、各歩行周期における関節運動の特徴を考慮し、以下の計測項目のピーク値を求めた。床反力は、後方成分(IC~LR)と前方成分(TSt~PSw)を求めた。右下肢関節角度は、ICの股関節屈曲角度、LRの足関節底屈角度、LR~MStの膝関節屈曲角度、TSt~PSwの足関節背屈角度と股関節伸屈角度を求めた。右下肢関節モーメントはLRの足関節背屈モーメントと股関節伸展モーメント、LR~MStの膝関節伸展モーメント、TSt~PSwの足関節底屈モーメントと股関節屈曲モーメントを求めた。

2.3 統計処理

得られた結果は、WBV刺激前後の高齢者の歩行の違いを検討するためにウィルコクソンの符号付順位和検定を行い、有意水準は5%とした。

3. 結果

通常歩行とWBV歩行の比較の結果を以下に述べる。

3.1 時間距離因子

歩幅、歩隔と歩行速度の結果を表1に示す。WBV歩行の歩幅 ($p<0.05$) と歩行速度 ($p<0.05$) が有意に増加した。歩隔は有意な差を示さなかった。

3.2 身体重心鉛直方向位置

身体重心鉛直方向位置の立脚期の最高値と最低値の結果を表2に示す。いずれも有意な差を示さなかった。

3.3 床反力

右下肢接地時の床反力の結果を表3に示す。TSt~PSwにおける床反力前方成分は有意に増加した ($p<0.05$)。IC

~LRにおける床反力後方成分は有意な差を示さなかった。

3.4 下肢関節角度

右下肢関節角度の結果を表4に示す。WBV歩行のLR~MStにおける膝関節屈曲角度 ($p<0.05$) とTSt~PSwにおける股関節伸展角度 ($p<0.05$) が有意に増加した。その他の項目は有意な差を示さなかった。

3.5 下肢関節モーメント

右下肢関節モーメントの結果を表5に示す。WBV歩行のIC~LRにおける足関節背屈モーメント ($p<0.05$)、LR~MStにおける膝伸展モーメント ($p<0.05$)、TStにおけ

表1 歩幅、歩隔、歩行速度の結果

	通常歩行	WBV歩行	危険率
歩幅 (mm)	531.0 ± 48.5	550.9 ± 59.2	*
歩隔 (mm)	128.4 ± 40.0	135.9 ± 30.2	n.s.
歩行速度 (m/s)	0.98 ± 0.1	1.03 ± 0.1	*

*: $p<0.05$

表2 COG鉛直方向位置の結果

	歩行周期	通常歩行	WBV歩行	危険率
最高値 (mm)	MSt	911.5 ± 33.4	912.3 ± 34.1	n.s.
最低値 (mm)	TSt	885.2 ± 32.8	885.6 ± 33.8	n.s.

*: $p<0.05$

表3 右立脚における床反力ピーク値の結果

	歩行周期	通常歩行	WBV歩行	危険率
後方向成分 (N)	IC~LR	-85.0 ± 31.0	-89.9 ± 32.5	n.s.
前方向成分 (N)	MSt~PSw	82.7 ± 22.6	90.2 ± 22.8	*

*: $p<0.05$

表4 角度ピーク値の結果

角度 (°)	歩行周期	通常歩行	WBV歩行	危険率
股関節屈曲角度	IC	25.1 ± 4.3	25.3 ± 4.6	n.s.
足関節底屈角度	LR	0.36 ± 3.6	-0.91 ± 4.0	n.s.
膝関節屈曲角度	LR~MSt	16.6 ± 5.0	18.2 ± 6.1	*
足関節背屈角度	TSt~PSw	18.8 ± 3.6	18.6 ± 4.1	n.s.
股関節伸展角度	TSt~PSw	-12.1 ± 4.4	-13.0 ± 5.3	*

*: $p<0.05$

表5 右下肢関節モーメントピーク値の結果

関節モーメント (Nmm)	歩行周期	通常歩行	WBV歩行	危険率
足関節背屈	LR	-105.9 ± 56.6	-125.5 ± 57.7	*
膝関節伸展	LR~MSt	454.3 ± 246.3	539.7 ± 284.4	*
股関節伸展	LR	657.6 ± 158.6	681.9 ± 155.0	n.s.
足関節底屈	TSt~PSw	1359.3 ± 175.3	1391.9 ± 193.7	n.s.
股関節屈曲	TSt~PSw	-725.5 ± 247.6	-773.4 ± 278.6	*

*: $p<0.05$

る股関節伸展モーメント ($p<0.05$) は有意に増加した。その他の項目は有意な差を示さなかった。

4. 考察

本研究の結果、WBV刺激により歩行速度は増加し、LRの足関節背屈モーメント、膝関節伸展モーメント、膝関節屈曲角度は増加した。LRでは、接地後の衝撃を吸収するとともに踵骨を中心とした立脚側下肢全体の前方への回転が生じる。その際、足関節背屈筋群の遠心性収縮¹²⁾によって滑らかに足底が接地することが可能になる。この踵骨を中心とした下肢全体の前方への回転は膝関節を床反力作用線の前方に位置させ、膝関節伸展筋群が収縮することが可能となる。それにより接地後の衝撃に対し屈曲しようとする膝関節を伸展筋群の遠心性収縮によって制御することが出来る。本研究の結果、歩行速度は増加したが、WBV刺激トレーニングによって足関節背屈筋群と膝関節伸展筋群の遠心性収縮による筋出力が増加したため、歩行速度増加による接地時の衝撃の増加を吸収したと考える。そのため床反力後方成分の結果に差を生じなかったと推察される。またTSstでは股関節伸展角度、股関節屈曲モーメントが有意に増加した。TSstでは、通常体幹を足部がつくる支持面上から前方へ移動させ¹³⁾、対側下肢を前方に接地する。その際、接地した下肢の股関節は屈曲角度を増加させるが、その屈曲角度増加を股関節屈曲筋群の遠心性収縮によって制御する必要がある。股関節屈曲筋群の遠心性収縮による筋出力の増加は、歩幅を増加させ、強く蹴り出すことを可能にしたため、床反力後方成分は有意に増加したと考える。

このように下肢関節角度と下肢関節モーメントの結果を考慮すると、いずれも遠心性収縮の筋出力が増加した傾向にあった。高齢者の歩行の特徴として、立脚後期の股関節伸展角度が減少するとした報告¹⁴⁾や立脚相の前半に必要なとされる膝伸展筋群の遠心性収縮による筋出力が減少するといった報告¹⁵⁾がある。このように高齢者は歩行時の遠心性収縮による筋出力が低下するとした報告は多くなされている。本研究の結果から、WBV刺激トレーニングが筋の遠心性収縮による筋出力増加に特異的に作用すると判断することはできない。しかしWBV刺激トレーニングは、歩行において加齢の影響により低下する下肢筋群の遠心性収縮による筋出力に対する有効なトレーニング法となると考える。

高齢者に対して、比較的安全であるWBV刺激は、筋力や瞬発的筋力を示す筋パワーだけでなく、歩行時の筋出力、特に遠心性収縮による筋出力に効果があることは示唆され

る。しかし本研究の結果はWBV刺激の即時効果について検討したものであり、より長期間の介入によるWBV刺激トレーニングの効果の検討が必要であると考えられる。

5. 結語

高齢者に対するWBV刺激トレーニングは、歩行中の下肢筋群の遠心性収縮による筋出力を改善することが示唆され、高齢者の歩行能力改善に有効である可能性がある。

引用文献

- 1) 田中喜代次, 大久保善郎, 辻大士. 加速度トレーニングの基礎理論と基礎的研究. 臨床スポーツ医学. 2013; 30.6: 507-514.
- 2) 栗生田博子, 大森豪, 山崎健・他. 全身振動刺激装置を用いたトレーニングが筋力と筋量に及ぼす影響. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2010; 18(2): 349-354.
- 3) 大藏倫博, 辻大士. 一般高齢者に向けた加速度トレーニングの有効性. 臨床スポーツ医学. 2013; 30.6: 559-564.
- 4) 相羽達弥, 大須賀洋祐, 大久保善郎・他. 全身振動刺激を用いた運動プログラムが高齢者の身体機能および筋力に及ぼす効果. 健康支援. 2017; 19(2): 137-146.
- 5) Meer G, Zeinstra E, Tempelaars J, *et al.* アクセラレーショントレーニングハンドブック. 東京: ナップ, 2011. p.23-45.
- 6) Verschueren SM, Swinnen SP, Desloovere K, *et al.* : Effects of tendon vibration on the spatiotemporal characteristics of human location. *Exp Brain Res.* 2002. 143: 231-239.
- 7) Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, *et al.* : Effect of 6month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *Journal of bone and mineral research.* 2004; 19.3: 352-359.
- 8) Bruyence O, Wuidart MA, Palma ED. *et al.* : Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil.* Feb 2005; 86(2):303-307
- 9) 伊藤康弘, 山田英司, 森田伸・他: Whole Body Vibration Trainingにおける足幅と振動周波数の違いが下肢筋活動に与える影響. 国立大学法人リハビリテーションコン・メディカル学術大会誌 30 (2009): 33-35.
- 10) 藤谷亮, 石井雄大, 高橋直宏・他. Whole Body Vibration

- トレーニングが歩行能力に与える影響. 理学療法科学.
2016. 31(1); 19-23.
- 11) Perry J, Burnfield JM.: Gait analysis: normal and pathological function. 2nd, USA, Slack Incorporated (2010).
- 12) 山本澄子, 田中惣治. Gait Solution の知識. MB Med Reha. 2018; 24-28.
- 13) Neumann: 観察による歩行分析. 医学書院. 2005. p.71-72.
- 14) 芳賀信彦. 歩行分析の手法と中高年の歩行. 医学のあゆみ. 2011; 236(5):477-481.
- 15) 岡田英孝. 高齢者の歩行とランニング. 体育の科学. 2000; 50(1): 6-12.

Biomechanical Analysis of the Effect of the Whole Body Vibration Training on Gait of the Elderly

Masashi Chiyomaru, Takahiro Ohkawa, Kai Iida, Yasuhisa Ueda

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science Technology, Bunkyo Gakuin University

Abstract

Whole Body Vibration training has an effect on the improved gait ability of the elderly person. The study that clarified walk improvement quantitatively does not exist. The purpose of this study was to investigate the influence that Whole Body Vibration training gives the gait of aged subjects, taking particular note of the angular and the moment of joints of the lower extremities. 15 aged normal healthy male subjects participated in this study. The movement in walking was analyzed about the difference in walking before and after Whole Body Vibration training, measured by 3D motion capture system. It was found that subjects showed the walking speeds and the eccentric contractions strength of the dorsi flexors and the hip flexors significantly increased. That the walking cycle was considered, it was indicated that Whole Body Vibration training had the effect on the eccentric contraction strength of the elderly person.

Key words —— Whole Body Vibration Elderly person Gait Analysis

Bunkyo Journal of Health Science Technology vol.13: 7-12