

全身振動 (Whole Body Vibration) 刺激が 高齢者の立位姿勢制御に与える影響

千代丸 正志, 大川 孝浩, 西村 沙紀子, 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

全身振動刺激トレーニングは、動作課題難易度も低く、アスリート対象のトレーニングだけでなく高齢者のバランス能力向上にも効果があるとされる。しかし全身振動刺激が高齢者の立位時の関節角度や下肢関節モーメントに与える影響は明らかにされていない。そこで本研究の目的を全身振動刺激が高齢者の立位姿勢制御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。対象は健常高齢男性18名とし、三次元動作分析装置を用いて全身振動刺激前後の立位姿勢の違いについて分析を行った。全身振動刺激後において、足関節を中心とした立位姿勢制御を行い、体幹の角度変化にも影響を与えていることが明らかになった。

キーワード

全身振動刺激, 立位姿勢制御, 高齢者

1. 序論

近年、スポーツ領域や医療介護の領域において全身振動 (Whole Body Vibration: 以下WBV) 刺激トレーニングが取り入れられている。WBV刺激トレーニングは、振動する機器上で様々な肢位をとり、振動刺激を利用したトレーニングを行うものである¹⁾。

WBV刺激トレーニングによる効果は、神経筋系のパフォーマンスの向上²⁾、柔軟性の向上³⁾、さらに高齢者の骨密度の増加⁴⁾、高齢者のバランス能力や移動能力の向上⁵⁾など多くの諸家により報告されている。このようにWBV刺激トレーニングはアスリート対象のトレーニングやコンディショニングだけでなく、高齢者の介護予防や医療機関のリハビリテーションなど様々な分野において実践的な取り組みが行われている⁶⁾。高齢者にとってWBV刺激トレーニングは、高重量の負荷を課したり、難易度の高い動作を選択したりすることなくトレーニング効果が得られ、より安全性の高いトレーニングを可能にする⁷⁾。

高齢者は加齢の影響により姿勢制御に関わる様々な機能が低下する。その結果として生じやすい転倒が寝たきりを招きやすいため、高齢者にとって転倒予防の重要性は高い⁸⁾。若年男性を対象とした研究では、WBV刺激後に立位姿勢時の足圧中心位置 (Center Of Pressure: 以下COP) 単位軌跡長が有意に減少したとの報告⁹⁾はある。このように

立位姿勢制御に対するWBV刺激の効果はCOP動揺の減少から示されている。しかしその身体動揺の変化を詳細に運動学的・運動力学的に分析したものは少なく、さらに高齢者を対象としたものは筆者の知る限り行われていない。立位姿勢の変化をより詳細に、理学療法士が理学療法評価の際に注目することが多い下肢関節、体幹角度に着目した分析が必要と考える。関節角度変化や下肢関節モーメント変化、COP変化を明らかにすることは、理学療法士が高齢者の姿勢制御にアプローチする際のプログラムの一助となると考えた。

そこで本研究の目的を、全身振動刺激が高齢者の立位姿勢制御に与える影響について運動学的・運動力学的に明らかにすることとした。

2. 方法

2.1 対象

対象は健常高齢男性18名 (平均年齢 70.3 ± 2.7 歳, 身長 158.9 ± 6.3 cm, 体重 59.7 ± 9.4 歳) とした。被験者募集は、ふじみ野市シルバー人材センターに協力を依頼し、本研究に対して参加の同意を得た者を対象とした。除外基準は過去1年間に脳神経疾患及び整形外科疾患の治療歴を有する者とした。被験者に対して本研究の目的、内容を文

書及び口頭で説明し、文書にて研究参加の同意を得た後に計測を実施した。なお本研究は文京学院大学倫理審査委員会（承認番号 2017-0016）の承認を受け実施した。

2.2 計測方法とデータ処理

2.2.1 計測機器

計測機器は三次元動作分析システム VICON NEXUS (VICON MOTION SYSTEM 社製) と床反力計 2 枚 (AMTI 社製) を使用した。赤外線カメラによって得られるマーカ位置座標データと床反力計によって得られるデータは同期した。計測におけるサンプリング周波数は 100Hz とした。

2.2.2 マーカ貼付

計測には 14mm の赤外線反射マーカを使用した。マーカの貼付場所は、Plug in Gait full body model に基づき決定した。左右前頭部、左右後頭部、左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、第七頸椎棘突起、第十胸椎棘突起、左右肩峰、胸骨柄、剣状突起、左右外側膝関節裂隙、左右大腿外側面、左右下腿外側面、左右足関節外果、左右踵骨隆起、左右第二中足骨頭背面、左右上腕、左右上腕骨外側上顆、左右前腕、左右橈骨茎状突起、左右尺骨茎状突起、左右第二中手骨頭背側面、右肩甲骨下角の 39 箇所貼付した。

2.2.3 計測手順

計測は、振動刺激後の立位姿勢の変化を分析するために、WBV 振動刺激前後の静止立位を計測した。動作課題は、2 枚の床反力計に被験者の左右の足底を乗せ、上肢を下垂させた自然立位とした。被験者に対しては、「通常立っているように、楽な姿勢で立ってください。計測室前壁に設置した指標を見てください。」と指示した。計測回数は 2 試行とした。1 試行目の足圧中心位置の動揺は 2 試行日以降と異なる傾向を示すとした報告¹⁰⁾や、重心動揺検査開始後 10 秒間は足圧中心位置の軌跡は不安定とした報告¹¹⁾を参考に、2 試行目のデータを計測データとした。また計測時間を 40 秒間とし、開始後 10 秒間を除いた 30 秒間を計測データとした。

WBV 刺激は、PERSONAL Power Plate (POWER PLATE international 社製) を使用した。被験者に振動刺激装置上で軽度膝屈曲位にて前方を向くように指示し、35Hz の振動刺激を 30 秒間 3 回実施した。また疲労の影響を考慮して、振動刺激間には 60 秒間の休憩を設けた。

2.2.4 データ処理および解析項目

三次元動作分析システム VICON NEXUS と床反力計によって得られたデータは、付属する解析ソフト Plug in gait によって処理した。解析項目については、角度は下肢関節角度として、股関節屈伸角度 (屈曲 (+)), 膝関節屈伸角度 (屈曲 (+)), 足関節底背屈角度 (背屈 (+)) を求めた。また胸郭と骨盤の絶対空間上の前額軸回りの角度を求め、胸郭前後傾角度 (後傾 (+)), 骨盤前後傾角度 (前傾 (+)) とし、骨盤と胸郭の相対角度を胸郭骨盤相対角度 (伸展 (+)) とした。下肢関節モーメントは、股関節屈伸モーメント (伸展 (+)), 膝関節屈伸モーメント (伸展 (+)), 足関節底背屈モーメント (底屈 (+)) とした。それぞれ計測データ 30 秒間の平均値を求めた。COP については、各被験者の左右足関節マーカの前後方向位置の平均値を原点とし、COP 前後方向位置を求め、30 秒間の平均値と実効値を求めた。

2.3 統計処理

得られた結果に対して、WBV 刺激前後の立位姿勢の違いを検討するためにウィルコクソンの符号付順位検定を行った。有意水準は 5% とした。

3. 結果

3.1 下肢関節角度

右下肢の関節角度の結果を表 1 に示す。WBV 刺激前後の比較の結果、足関節底背屈角度は有意に背屈角度が増加し ($p < 0.01$)、膝関節屈伸角度は有意に屈曲角度が増加した ($p < 0.01$)。股関節屈伸角度は有意な差を示さなかった。

表 1 下肢関節角度の結果

	WBV前 立位	WBV後 立位	危険率
足関節角度 (°)	7.8 ± 3.8	9.5 ± 3.8	**
膝関節角度 (°)	-2.0 ± 6.1	0.7 ± 6.7	**
股関節角度 (°)	0.3 ± 0.3	0.4 ± 0.3	n.s.
		**: $p < 0.01$	*: $p < 0.05$

3.2 下肢関節モーメント

右下肢の関節モーメントの結果を表2に示す。WBV刺激前後の比較の結果、足関節底背屈モーメントは有意に底屈モーメントが増加した ($p<0.05$)。膝関節屈伸モーメントと股関節屈伸モーメントは有意な差を示さなかった。

表2 下肢関節モーメントの結果

	WBV前 立位	WBV後 立位	危険率
足関節モーメント (Nmm)	307.6 ± 83.3	344.3 ± 102.2	*
膝関節モーメント (Nmm)	-81.7 ± 89.0	-64.9 ± 106.4	n.s.
股関節モーメント (Nmm)	-186.6 ± 87.8	-128.9 ± 103.7	n.s.
		**: $p<0.01$	*: $p<0.05$

3.3 胸郭角度, 胸郭骨盤相対角度, 骨盤角度

胸郭前後傾角度, 胸郭骨盤屈伸相対角度, 骨盤角度の結果を表3に示す。WBV刺激前後の比較の結果, 胸郭前後傾角度は有意に後傾角度が増加し ($p<0.05$)。胸郭骨盤屈伸相対角度は有意に伸展角度が増加した ($p<0.05$)。骨盤前後傾角度は有意な差を示さなかった。

表3 胸郭角度, 胸郭骨盤相対角度, 骨盤角度の結果

	WBV前 立位	WBV後 立位	危険率
胸郭角度 (°)	3.1 ± 5.9	4.8 ± 6.6	*
胸郭骨盤相対角度 (°)	8.6 ± 5.6	10.2 ± 6.0	*
骨盤角度 (°)	6.3 ± 5.0	6.0 ± 4.3	n.s.
		**: $p<0.01$	*: $p<0.05$

3.4 COP 前後方向位置平均値, COP 前後方向位置実効値

COP前後方向位置平均値とCOP前後方向位置実効値の結果を表4に示す。COP前後方向位置平均値は有意に前方へ位置し ($p<0.01$)。COP前後方向位置実効値は有意に減少した ($p<0.05$)。

表4 COP 前後方向位置平均値, COP 前後方向位置実効値の結果

	WBV前 立位	WBV後 立位	危険率
COP前後方向位置平均値 (mm)	70.3 ± 10.5	80.8 ± 11.3	**
COP前後方向位置実効値 (mm)	5.0 ± 2.2	4.2 ± 1.5	*
		**: $p<0.01$	*: $p<0.05$

4. 考察

本研究の結果, WBV刺激により, COP前後方向位置は前方へ移動し, 実効値は減少した。これはWBV刺激により前方へ荷重し, 身体動揺が減少したことを示す。静止立位時のCOP前後方向位置は, 足関節底屈モーメントと関係が強く, 足関節底屈モーメントも有意に増加した結果となった。足関節底屈筋に対するWBV刺激の効果として, 振動刺激に対する緊張性振動反射が生じたと推察される。振動が筋紡錘に作用し, 伸張反射が生じ, 持続的な支持基底面の振動が緊張性振動反射となる¹²⁾。底屈筋の筋活動が増加したためにCOP前後方向位置が前方へ移動するとともに足関節底屈モーメントが増大したと考える。

矢状面上の立位姿勢制御において, 支持基底面の前後方向の外乱が少ない場合に足関節方略を用いるとされる¹³⁾。本研究の結果においても足関節底屈モーメントの増加だけ

でなく, 足関節背屈角度も増加した。結果として足関節を軸とした身体全体の前方回転が生じたと考える。そのため膝関節は有意に屈曲角度を増加させ, 前方に偏移した体幹は, 胸郭を後傾し胸郭骨盤相対角度は伸展した立ち直り様の対応をとったと考える。高齢者に多い円背姿勢は, 胸郭前傾と胸郭骨盤相対角度の屈曲を示す。本研究では体幹筋の筋活動を計測したものではないが, 胸郭後傾と胸郭骨盤相対角度の伸展は, 体幹前面筋の筋活動を発揮しやすい肢位であると考えられる。また支持面の外乱が大きいときに用いる股関節方略は, 若年者に比べ支持面の外乱が小さいときにも高齢者は採用する傾向にある¹³⁾とされる。足関節を中心とした立位時の身体全体の角度変化に比較して, 股関節を中心とした角度変化の場合, より体幹部の形状変化が伴うと考えられる。その結果, 身体動揺は足関節を中心とした立位時の角度変化に比較して身体全体の動揺は増加することが推察される。本研究の結果, WBV刺激によ

り足関節を中心とした立位姿勢制御に変化したために、身体動揺は減少したと考える。

高齢者に対するWBV刺激は立位姿勢制御に影響を与えることが明らかになった。その影響は足関節の角度変化やモーメント変化だけではなく、体幹の角度変化にも及ぼすことが明らかになった。高齢者にとって動作課題の難易度が低いWBVトレーニングは、立位姿勢制御に影響を与え、より身体動揺の少ない安定した立位姿勢を獲得するアプローチの一つとなることが示唆された。しかし本研究では、WBVトレーニングが与える即時効果について検討したものの、長期的な効果については不明である。今後の課題として、WBVトレーニングの長期的な効果についても検証したいと考える。

5. 結語

高齢者に対するWBV刺激トレーニングは立位姿勢制御に影響を与え、より安定した立位姿勢獲得の可能性があることが示された。

6. 引用文献

- 1) 東原綾子, 櫻井敬晋, 井上夏香・他. Whole Body Vibrationが筋活動に及ぼす影響—筋電図学的検討—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2009;17(1): 76-83
- 2) Bosco C, Cardinale M, Tarpela O, et al. The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biology of sport* 1998;15(3): 157-164.
- 3) Van Den Tillaar R. Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings?. *Journal of strength and conditioning research* 2006;20(1):192.
- 4) Verschueren S.M, Roelants M, Delecluse C, et al. Effect of 6 - month 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.
- 5) Bruyence O, M.A. Wuidart, E,Di Palma, 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
- 6) 田中喜代次, 大久保善郎, 辻大士・他. 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

- 7) 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
- 8) 奈良勲, 内山靖編集. 姿勢調節障害の理学療法第2版. 東京:医歯薬出版, 2012. p382.
- 9) 天野大, 黒田早苗, 神田秀之・他. 全身振動(Whole Body Vibration)下トレーニングの健常人動的バランスに対する即時効果. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2011;19(2):290-295
- 10) 出村慎一, 山次俊介, 野田政弘・他. 静止立位姿勢における足圧中心動揺の評価変数の検討. *Equilibrium Research* 2001; 60(1): 44-55
- 11) 五島桂子. 重心動揺検査の検討 検査条件について. *Equilibrium Research* 1988; 47(2): 174-186
- 12) Guus van der Meer, Edzard Zeinstra, Jelte Tempelaars, et al. アクセラレーショントレーニングハンドブック 科学, 原理, 効果 東京:ナッパ, 2011. p15-16
- 13) 奈良勲, 内山靖編集. 姿勢調節障害の理学療法第2版. 東京:医歯薬出版, 2012. p210

Effect of Whole Body Vibration Training for Movement Strategy in Standing of the Elderly

Masashi Chiyomaru, Takahiro Ohkawa, Sakiko Nishimura, Yasuhisa Ueda

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

Abstract

Whole Body Vibration training has an effect on not only the training of the athlete but also the balance ability of the elderly person. The purpose of this study was to investigate the influence that Whole Body Vibration training gives the movement strategy of aged subjects in static standing, taking particular note of the angular variation of trunk segment and joints of the lower extremities. Eighteen aged normal healthy male subjects participated in this study.

The movement in standing was analyzed about the difference in static standing before and after Whole Body Vibration training, measured by 3D motion capture system. It was found that subjects showed the ankle strategy in standing after the training. They also showed the movements of the pelvis and the thorax.

Key words —— Whole Body Vibration training, Movement strategy in static standing, Elderly person

Bunkyo Journal of Health Science Technology vol.12: 1-5