

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

相羽 達弥^{*1}、大須賀洋祐^{*2}、大久保善郎^{*3*4}、
鄭 松伊^{*5}、金 泰浩^{*1}、田中喜代次^{*6}

Effect of an exercise program using whole-body vibration stimulus on physical function and muscle strength in older adults

Tatsuya AIBA^{*1}, Yosuke OSUKA^{*2}, Yoshiro OKUBO^{*3*4},
Songee Jung^{*5}, Taeho KIM^{*1}, Kiyoji TANAKA^{*6}

Abstract

Whole-body vibration (WBV) is an advanced exercise method for improving bone and muscle strength. The purpose of this study was to examine the effects of an exercise program using WBV on physical function and muscle strength in older adults. Forty-five older adults were divided into three experimental groups; WBV group (n=16), walking group (n=15), and control group (n=14). The WBV group performed static and dynamic exercises on a vibration platform and strength training 2 days/week for 8 weeks. The walking group performed moderate walking and strength training 1 day/week for 8 weeks. The control group was asked to maintain their usual lifestyle until the completion of the study at which time they could participate in the same program as the WBV group. The senior fitness tests (up-and-go, chair stand, arm curl, chair sit-and-reach, back scratch, and 6-minute walk), hand-grip strength, and lower extremity multi-joint muscle strength (servo-control dynamometer) were assessed at pre- and post-intervention. At the post-intervention, the up-and-go, chair stand, arm curl and 6-minute walk improved significantly in both the WBV and walking groups, whereas the chair sit-and-reach improved significantly only in the walking group. The control group significantly improved only in the up-and-go. There were significant group-time interactions ($P < 0.05$) on the back scratch test, chair stand test, and hand-grip strength: the back scratch test improved the most in the WBV group (Cohen's $d = 0.17$) but the chair stand test improved the most in the walking group (Cohen's $d = 0.79$) followed by the WBV group (Cohen's $d = 0.54$). Hand-grip strength maintained in the WBV group but decreased in the walking group and control group. These results suggest that incorporating WBV stimulus in an exercise program for older adults has a greater effect on upper-limb function compared to a walking-based program. However, WBV training and walking programs have similar effects on lower-limb muscle strength, flexibility, agility, balance, and endurance. WBV training can be a useful intervention to improve upper-limb function or for frail older adults who cannot participate in a walking program.

Keywords : whole-body vibration, walking, physical function, muscle strength, older adults

^{*1}筑波大学大学院人間総合科学研究科 Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan
茨城県つくば市天王台1-1-1 総合研究棟D-616 電話番号 029-853-5600 (8365), 090-1814-2849

^{*2}東京都健康長寿医療センター研究所 Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology, Tokyo, Japan

^{*3}日本学術振興会 Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan

^{*4}Neuroscience Research Australia, New South Wales, Australia

^{*5}国立長寿医療研究センター National Center for Geriatrics and Gerontology, Aichi, Japan

^{*6}筑波大学体育系 Faculty of Health & Sport Science, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

I. はじめに

適切な運動実践は、身体機能を向上させ、慢性疾患のリスク抑制に有効であり^{1,2)}、生活機能維持する上でも極めて重要である³⁾。高齢期の生活機能を維持するには、持久性、筋力、柔軟性およびバランス能力の4種類を強化する複合型運動プログラムの実践が推奨されており、具体的には装置を用いたレジスタンストレーニングや中等度のウォーキング、ストレッチングなどの運動種目があげられる⁴⁾。装置を利用するレジスタンストレーニングは、筋力や筋パワーを増加させる効果的な運動方法である^{5,6)}が、安全性や利便性を考慮すると、地域の高齢者に適応するのは難しい場合もある^{7,8)}。一方で、ウォーキングは時間、場所の融通性が高く、もっとも一般的に行われる運動の種目の一つである^{9,10)}。しかし、移動能力制限やバランス機能障害を有する虚弱高齢者では、屋外でのウォーキングは転倒リスクを高める危険性があり¹¹⁾、ウォーキングの導入前に、安全な環境で筋力およびバランス能力の訓練をおこなうことが重要である^{12,13)}。

近年、全身振動 (whole-body vibration: WBV) 刺激を用いたWBVトレーニングの利用が進んでいる。WBVトレーニングはWBV装置によって微細な振動を与えるプラットフォーム上で自重負荷を用いた運動をおこない、振動による筋線維の微細な伸縮、血流増加、痛覚の鈍化によりトレーニング効果を高めることができると考えられている¹⁴⁾。また、WBVトレーニングは、ウォーキングや従来の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較して、安全性が高いため、膝関節痛を有する中高年女性や移動能力、心肺能力に不安を抱える高齢者の身体機能を向上させる新たな運動プログラムとして検討されている¹⁵⁾。高齢者におけるWBVトレーニングは、一般的な運動と比較しても大腿骨頸部、脛骨および腰椎の骨密度を有意に増加させることが報告されている¹⁶⁾。一方で、WBVトレーニングのバランス能力や筋機能、動作パフォーマンスへの効果に関しては無介入対照群に対する優位性は示されているが、一般的な運動と比較した優位性の検討は十分とは言い難い^{17,18)}。WBV刺激を用いた運動プログラムの身体機能や筋力への効果が、地域における最も一般的なウォーキングを主とした運動プログラムと比較して同等または優れていることが明らかになれば、転倒リスクが高いためにウォーキングが難しい高齢者に対する運動プログラムとしての提案が可能であり、地域の健康づくりにおいて意義がある。

本研究では、WBVを主運動とする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影響について、

ウォーキングを主とした運動プログラムとの比較により検討することを目的とした。

II. 方法

A. 対象者

対象者は、2014年に筑波大学にて開催した運動教室に参加した65～79歳の地域在住の高齢者である。募集は、高齢夫婦を対象とした研究³⁾と同時におこない、1) 要介護・要支援認定を受けていない、2) 医師から運動を制限されていない、3) 普段ほとんど運動をしていない、の3条件を満たす参加者50名を対象者とした。対象者は、運動教室に本人の意思で参加した。

全ての対象者に、研究および運動教室、運動教室開催前、終了後におこなう研究目的、基本情報、形態測定、身体機能および筋力測定などの測定項目、測定データの取り扱いについて説明した。また、データ分析の際にはIDにより匿名化し個人を特定できないよう配慮すること、研究に伴う不利益が生じた場合、一度同意した場合でも随時撤回でき、その場合でも対象者本人に不利益がないことを口頭および文書にて伝え、自筆署名による承諾を得た。

対象者の募集から調査完了までのフローチャートを図1に示した。対象は高齢夫婦を対象とした研究³⁾において、対象者が参加可能な日程に配慮し、クラス分けされた単独参加者の3クラスのうち2クラスを、それぞれ“WBVトレーニングを主運動としたWBVトレーニング群(WBV群)18名”、“ウォーキングを主運動としたウォーキング群(W群)16名”とした。また、夫婦参加者のうち、夫婦の一方が週2日以上運動習慣がある、教室開催日との都合が合わないとの理由で高齢夫婦研究³⁾に参加できなかった応募者の中から、運動習慣が少なく(週2日以下)、普段通りの生活を8週間維持することに同意した16名を対照群(C群)とした。なお、C群には、8週間後に運動プログラムを提供した。

本研究は、筑波大学に帰属する倫理委員会の承認を受けた(承認日2012年3月29日 承認番号体23-33号)。

B. 介入内容

WBV群には準備運動、WBVトレーニング、レジスタンストレーニング、整理運動のプログラムからなる1回90分、週2回、8週間の運動教室を提供した。WBVトレーニングには、垂直振動型のWBVマシン、PowerPlate Pro5(プロティア・ジャパン社、東京)を用いた(図2)。対象者は、振動プラットフォームに身体各部を接触させた状態で、静的・動的な自重負荷運動を20分程度おこない、2週間ごとに自重負荷運動の

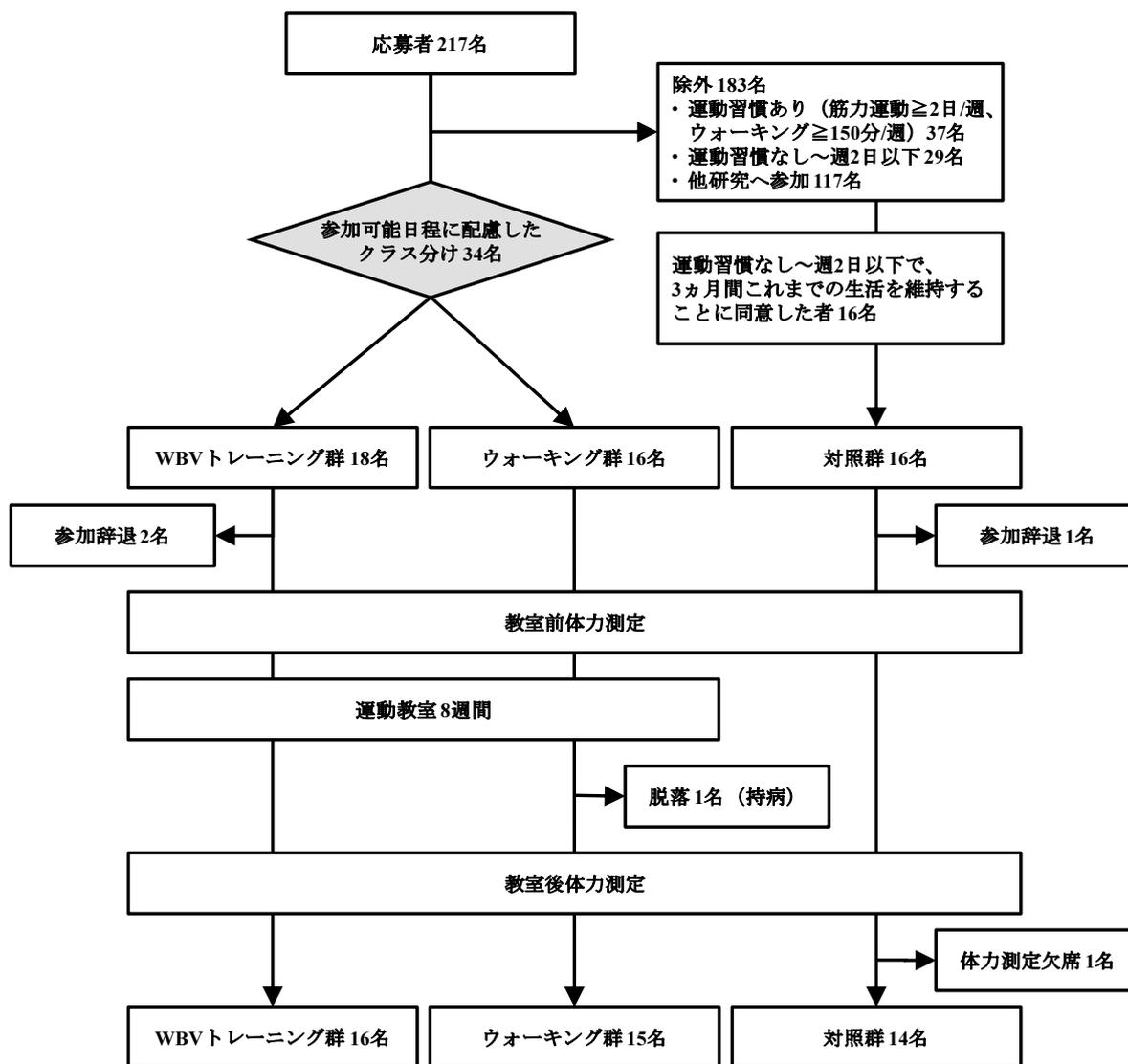


図1 研究フローチャート

運動強度を漸増した。WBVを用いたトレーニングには、シングルレッグカーフレイズ、ステップ、ニーアップ、シットアップ、ニーレイズ、ダイナミックランジなどの下肢機能向上を目的とした運動種目を提供した（表1）。振動周波数は30Hz、振幅は2mm、負荷時間は1動作あたり30秒とした。安全性を確保するため、連続して振動刺激を与えないよう次の動作までの間、およそ1分の休息を設けるよう配慮した。レジスタンストレーニングは、スクワット、ニーアップ、トゥーレイズ、カーフレイズ、レッグサイドレイズ、シットアップなど10分程度の自重負荷による運動を提供した。

W群には、1回90分、週1回、8週間の運動教室を開催し、WBV群と全く同様に準備運動、レジスタンストレーニング、整理運動に加え、ウォーキングを提

供した。ウォーキングは屋外にて行われ、歩行速度約9分/km～約10.5分/kmと漸増させ、時間は40分程度とした。レジスタンストレーニングの種目や回数は、WBV群と同様である。

なお、運動教室の開催回数は、主運動の正味時間を同じにするためWBV群は計16回、W群は計8回とした。また、WBV群、W群はウォーキングや運動教室でおこなったレジスタンストレーニングを自宅で実践することを推奨し、実践した場合には、記録を残すよう指示した。

C群には普段通りの生活を送るよう依頼し、本研究終了後にWBV群と同様の運動プログラムを8週間提供した。



図2 全身振動刺激を用いたトレーニングの様子（スクワット）

C. 測定項目および測定方法

運動教室前後に基本情報を聴取し、形態指標、身体機能および筋力を測定した。基本情報は性、年齢、服薬状況、疾患や関節痛の有無とした。形態指標は、身長計、YG-200（ヤガミ社、愛知）を用いて0.1 cm単位で身長を、体組成計、DC-190（TANITA社、東京）を用いて0.1 kg単位で体重とbody mass index: BMI (kg/m²)をそれぞれ測定した。

身体機能は、senior fitness tests¹⁹⁾を用いて、全群を同時期に訓練を受けた検者が測定した。Senior fitness testsには、敏捷性・動的バランス、下肢筋力、上肢筋力、上肢・下肢柔軟性、持久性を評価する以下の6項目が含まれる。また、senior fitness testに加え、訓練を受けた検者が握力、多関節複合動作による最大下肢伸展筋力、無負荷最大速度を測定した。

アップ&ゴー：背もたれのついた椅子から2.44m先にコーンを設置した。対象者には、足裏全体が床に接地した状態で座り、両手を大腿部前面に置くよう指示した。スタートの合図で立ち上がり、可能な限り早く歩き、コーンを回って折り返し、再び座るよう求め、時間を計測した。

30秒椅子立ち上がり：両腕を胸の前で交差し、背中を伸ばした状態で背もたれのついた椅子に浅く座るよう指示し、スタートの合図とともに、椅子から立ち上がり、完全に直立する姿勢をとり、再び座る動作を可能な限り

表1 全身振動刺激によるトレーニングの運動種目

期間	運動区分	運動種目	周波数 (Hz)	曝露時間 (秒/種目)
1 週	ウォーミングアップ	片脚乗せ、ハムストリングストレッチ、シングルレッグバランス	30	30
	主運動	スクワット、カーフレイズ、ステップ		
	クーリングダウン	カーフリラクゼーション、バックリラクゼーション	40	45
導入期 2 → 3 週	ウォーミングアップ	ハムストリングストレッチ、クワドストレッチ、カーフストレッチ、シングルレッグバランス、シングルレッグルーマニアンデッドリフト	30	30
	主運動	スクワット、カーフレイズ、ステップ、ワイドスタンススクワット、シットアップ		
	クーリングダウン	カーフリラクゼーション、ヒップストレッチ、バックリラクゼーション	40	45
安定期 4 → 5 週	ウォーミングアップ	ハムストリングストレッチ、クワドストレッチ、カーフストレッチ、シングルレッグバランス、シングルレッグルーマニアンデッドリフト	30	30
	主運動	スクワット、シングルレッグカーフレイズ、ステップ、シットアップ、ランジ		
	クーリングダウン	カーフリラクゼーション、ヒップストレッチ、バックリラクゼーション	40	45
漸増期 6 → 8 週	ウォーミングアップ	ハムストリングストレッチ、クワドストレッチ、カーフストレッチ、シングルレッグバランス、シングルレッグルーマニアンデッドリフト	30	30
	主運動	ディープスクワット、ワイドスタンススクワット、シングルレッグカーフレイズ、ステップ、ニーアップ、シットアップ、ニーレイズ、ダイナミックランジ		
	クーリングダウン	カーフリラクゼーション、ヒップストレッチ、バックリラクゼーション	40	45

早く動作し、それを30秒間繰り返すよう求め、反復回数を計測した。

連続上腕屈伸：重さ2 kgのダンベルを利き手に持ち、椅子に浅く座るよう指示した。スタートの合図とともに、両腕を下垂した状態からダンベルを握っている利き腕の肘を可能な限り早く屈曲・伸展するよう求め、反復回数を計測した。

椅座位体前屈：背もたれのついた椅子に浅く座り、利き脚を伸展するよう指示した。両手の指先が揃うように重ね、足首を90度に固定し、足の指先に向かって上体をゆっくりと倒し、前屈するように求めた。最大前屈時に利き足の指先と両手の指先の距離を計測した。

バックスクラッチ：直立姿勢で、利き手を後方斜め上から非利き手を後方斜め下から後背部に回すよう求め、両手の中指間の垂直距離を計測した。

6分間歩行：1周50mのコースを設置し、可能な限り速く6分間歩き続けるよう求め、歩行距離を測定した。

握力：スメドレー式握力計、T.K.K5401（竹井機器工業社、新潟）を手に持ち、両腕を体側で自然に下げ、リラックスした姿勢をとり、持ち手は身体に触れないように、かつ大きく動かさないよう指示した。次に、呼吸しながら握力計を可能な限り強く握るよう求め、左右交互に2回ずつ計測し、左右それぞれ良い値の平均値を記録とした。

最大下肢伸展筋力および無負荷最大速度：先行研究²⁰⁾の方法を参考にし、制御式膝・股関節ダイナモメータを用いた多関節複合動作による下肢筋力測定機器、パワーメーター（メディモワールド社、福井）を利用した。パワーメーターに座り、両脚にて膝・股関節の伸展動作であるレッグプレス（膝関節90度屈曲位から膝関節軽度屈曲位）を3つの速度（0.1m/秒、0.5m/秒、0.8m/秒）にてそれぞれ3回ずつ最大努力で設定速度の等速性下肢伸展運動をおこなった。可動範囲において80%地点の筋力と実速度から速度-力関係の近似直線を作成し、速度軸との切片の値を最大下肢伸展筋力、筋力軸とのとの接点を無負荷最大速度として推定した。

D. 統計解析

各項目の結果は、平均値±標準偏差で示した。運動教室前における対象者の基本情報、形態、身体機能、筋力測定結果に対する3群間の比較には、カイ2乗検定および一元配置分散分析を用いた。運動教室前後の変化は、対応のあるt検定を用い、効果量Cohen's *d*を算出した。また、体力に及ぼす時間経過（運動教室前後）と各介入方法（WBV群、W群、C群）の交互作用を検討するため、二元配置分散分析を用いた。効果量の算出を除

き、すべての統計解析はIBM SPSS Statistics 21を用い、統計的有意水準は5%とした。

III. 結果

運動教室への出席率および自宅における運動実践率

運動教室に継続参加した出席率は、WBV群94.5±7.9%、W群85.0±15.1%であった。対応のないt検定をおこなったところWBV群がW群よりも有意に高かった ($P=0.039$)。

教室開始日から教室終了日までの期間における運動実践状況（自宅と教室内の運動実践を含む）については、ウォーキングの平均実践日数がWBV群で1.5±0.4日/週、W群で2.0±0.5日/週、レジスタンストレーニングの平均実践日数が、WBV群で5.5±0.3日/週、W群で5.9±0.3日/週であった。それぞれ対応のないt検定をおこなったところ両群間に有意な差はみられなかった ($P>0.05$)。

身体機能および筋力測定

表2に教室前における各群の基本情報、形態、身体機能および筋力測定値を示した。これらの調査項目においてWBV群、W群、C群の間に有意な群間差はみられなかった。

表3には、教室前後の各群の身体機能および筋力測定値を示した。運動教室後、WBV群のアップ&ゴー ($P=0.015$)、30秒椅子立ち上がり ($P=0.042$)、連続上腕屈伸 ($P=0.038$)、6分間歩行 ($P=0.013$)、W群のアップ&ゴー ($P=0.001$)、30秒椅子立ち上がり ($P=0.002$)、連続上腕屈伸 ($P=0.009$)、椅座位体前屈 ($P=0.017$)、6分間歩行 ($P<0.001$) において、有意な改善がみられた。一方、C群のアップ&ゴー ($P=0.042$) においても、教室後に有意な改善がみられた。最大下肢伸展筋力と無負荷最大速度はいずれの群も有意な改善がみられなかった。

効果量は表3に示すようにWBV群でCohen's *d* = -0.39~0.54、W群でCohen's *d* = -0.60~0.79、C群でCohen's *d* = -0.19~0.36であった。

二元配置分散分析の結果、30秒椅子立ち上がり ($P=0.046$)、バックスクラッチ ($P=0.036$)、握力 ($P=0.017$) において有意な交互作用がみられた。30秒椅子立ち上がりでは、WBV群とW群の改善がみられ、バックスクラッチではWBV群において他の群よりも大きな改善がみられ、握力ではWBV群は維持し、W群、C群では低下した。その他の測定項目では、有意な交互作用はみられなかった。

表2 基本情報、形態および運動教室前の身体機能・筋力測定結果

	WBV 群、n=16	W 群、n=15	C 群、n=14	P 値
年齢、歳	70.7 ± 4.9	71.9 ± 5.2	71.6 ± 4.3	0.753
身長、cm	156.1 ± 8.1	155.6 ± 10.4	158.0 ± 8.4	0.758
体重、kg	57.7 ± 12.2	57.2 ± 11.4	54.8 ± 11.8	0.780
BMI、kg/m ²	23.6 ± 4.0	23.5 ± 2.9	21.7 ± 3.0	0.260
男女比、男/女	6/10	5/10	7/7	0.637
服用している、n (%)	7 (44%)	4 (29%)	7 (50%)	0.409
疾患を有している、n (%)	11 (69%)	10 (67%)	9 (64%)	0.967
関節痛を有している、n (%)	6 (38%)	7 (47%)	6 (50%)	0.647
アップ&ゴー、秒	5.5 ± 0.7	5.7 ± 0.7	5.7 ± 0.6	0.709
30秒椅子立ち上がり、回	13.3 ± 2.0	14.3 ± 2.5	14.4 ± 3.2	0.403
連続上腕屈伸、回	19.1 ± 3.2	20.9 ± 6.2	19.4 ± 4.7	0.550
椅座位体前屈、cm	10.4 ± 9.9	3.4 ± 8.3	2.5 ± 17.4	0.167
バックスクラッチ、cm	-10.3 ± 10.9	-10.8 ± 12.0	-7.1 ± 9.0	0.629
6分間歩行、m	519.8 ± 56.1	550.1 ± 74.3	545.5 ± 39.3	0.311
握力、kg	28.9 ± 8.4	26.7 ± 7.2	28.1 ± 8.6	0.762
最大下肢伸展筋力、N	1234.8 ± 367.5	1215.7 ± 461.7	1064.5 ± 415.6	0.505
無負荷最大速度、m/秒	1.15 ± 0.16	1.16 ± 0.11	1.18 ± 0.18	0.806

平均±標準偏差、WBV 群: 全身振動トレーニング群、W 群: ウォーキング群、C 群: 対照群、BMI: body mass index

表3 運動教室前後の身体機能・筋力測定結果

	WBV 群			W 群			C 群			交互作用 P			
	n	教室前	教室後	Cohen's d	n	教室前	教室後	Cohen's d	n		教室前	教室後	Cohen's d
BMI、kg/m ²	16	23.6 ± 4.0	23.7 ± 4.2	0.02	15	23.5 ± 2.9	23.4 ± 3.0	-0.03	14	21.7 ± 3.0	21.5 ± 3.0	-0.06	0.056
アップ&ゴー、秒	16	5.5 ± 0.7	5.2 ± 0.8*	-0.39	15	5.7 ± 0.7	5.2 ± 0.9**	-0.60	14	5.7 ± 0.6	5.6 ± 0.6*	-0.16	0.097
30秒椅子立ち上がり、回	16	13.3 ± 2.0	14.4 ± 1.9*	0.54	15	14.3 ± 2.5	16.5 ± 2.9**	0.79	14	14.4 ± 3.2	14.4 ± 3.2	0.00	0.046
連続上腕屈伸、回	16	19.1 ± 3.2	20.9 ± 4.2*	0.47	15	20.9 ± 6.2	23.3 ± 6.4**	0.37	14	19.4 ± 4.7	21.4 ± 5.9*	0.36	0.907
椅座位体前屈、cm	16	10.4 ± 9.9	13.1 ± 8.2	0.29	15	3.4 ± 8.3	6.2 ± 8.9*	0.31	14	2.5 ± 17.4	3.9 ± 19.1	0.07	0.603
バックスクラッチ、cm	15	-10.3 ± 10.9	-8.3 ± 12.4	0.17	15	-10.8 ± 12.0	-9.5 ± 12.4	0.06	13	-7.1 ± 9.0	-9.0 ± 9.9	-0.19	0.036
6分間歩行、m	16	519.8 ± 56.1	542.3 ± 58.8*	0.38	15	550.1 ± 74.3	582.1 ± 83.6**	0.39	14	545.5 ± 39.3	553.8 ± 46.4	0.19	0.128
握力、kg	15	29.4 ± 8.4	29.8 ± 7.7	0.05	14	26.7 ± 7.2	25.3 ± 7.3**	-0.18	14	28.1 ± 8.6	26.6 ± 7.7*	-0.18	0.017
最大下肢伸展筋力、N	16	1234.8 ± 367.5	1319.2 ± 409.6	0.21	14	1233.6 ± 473.7	1218.6 ± 504.6	-0.03	12	1062.2 ± 434.0	1046.1 ± 431.0	-0.04	0.174
無負荷最大速度、m/秒	16	1.15 ± 0.04	1.13 ± 0.03	-0.11	14	1.16 ± 0.11	1.13 ± 0.12	-0.26	12	1.18 ± 0.19	1.15 ± 0.17	-0.17	0.943

平均±標準偏差、WBV 群: 全身振動トレーニング群、W 群: ウォーキング群、C 群: 対照群、* P<0.05、** P<0.01

IV. 考察

本研究では、8週間の運動教室を開催し、WBV 群、W 群、C 群の教室前後の身体機能および筋力の測定項目を用いた3群間の比較をおこなった。その結果、30秒椅子立ち上がり、バックスクラッチ、握力において有意な交互作用がみられ、特に、WBV 刺激を用いた運動プログラムにおいて、上肢柔軟性は他の群よりも改善し、握力は他の群よりも維持することが示唆された。また、下肢筋機能を示す30秒椅子立ち上がり、持久性を示す6分間歩行、上肢筋力を示す連続上腕屈伸において

もWBV 刺激を用いた運動プログラムによる教室前後の改善がみられ、ウォーキングを主とする運動プログラムともほぼ同様の効果であった。アップ&ゴーは、C 群でも有意な改善を示しており測定慣れの影響を排除できないが、WBV 群の効果量 (Cohen's d = -0.39) はC 群 (Cohen's d = -0.16) に比較して小さく、敏捷性・動的バランスに対しても両運動プログラムの効果が示唆されているものと考えられる。下肢柔軟性を示す椅座位体前屈では、統計的な有意水準に達しなかったがWBV 群で改善の傾向がみられ (P=0.055)、W 群と同等の効果量

であったことから、同様の効果を有する可能性があると考えている。最大下肢伸展筋力、無負荷最大速度は統計的な有意水準に達しなかったため、多関節複合動作の下肢筋力に対する効果は明らかにならなかった。高齢者におけるWBV刺激を用いた運動プログラムは、上肢柔軟性への特異的な効果を有し、他群に比べ握力は維持効果を示す一方、敏捷性・動的バランス、下肢筋力、上肢筋力、持久性、下肢柔軟性への効果に関しては、ウォーキングを主とした運動プログラムと同等であることが示唆された。

WBV刺激による上肢柔軟性や握力への効果については先行研究でも報告されている。Bautmans et al.は、静的な自重負荷トレーニングに加えWBV装置を使用した群と非使用群に分け、高齢者の身体機能の比較をおこなった。その結果、WBV使用群のみでバックスクラッチに改善傾向がみられ、握力では両群に変化がみられなかったことを報告している²¹⁾。WBV刺激による柔軟性改善には、痛覚閾値上昇による筋伸長範囲の拡大、ゴルジ腱器官の賦活による筋収縮抑制²¹⁾、筋温度の上昇、軟部組織の弾性向上^{22,23)}が寄与しているものと考えられる。ゴルジ腱器官は筋緊張に反応して賦活され反射的に筋を弛緩させるため、筋の適度な予備緊張状態で全身振動刺激を受けることで賦活されると考えられる²⁴⁾。本研究においてはWBVトレーニングによる直接的な肩関節のストレッチングや上肢のレジスタンストレーニングは含めず、スクワット等の下肢を中心としたトレーニングを提供した。その際、筋収縮により関節等を固定することで、振動減衰を抑制し、振動が上肢にも効率的に伝達され、上肢柔軟性の改善に繋がった可能性がある^{25,26)}。一方、握力は、先行研究²¹⁾と同様にWBV群で維持したのに対して、W群とC群では著しく低下した。W群とC群において著しい握力低下(2ヵ月間で約-1.5kg)がみられたのは予想外の結果であり、検者や計測器による測定誤差の可能性も否めないが、両群では握力に関連する運動内容が一切含まれていないことも一因として考えられる。一方で、WBV群では姿勢を保持するために装置のグリップを把持し、姿勢を保持する動作が10種目に含まれていた。そのため、振動刺激を伴う上肢の筋収縮により、握力と上肢筋機能において他の群よりも高い効果が得られたと考えている。また、脳卒中患者への作業療法前に、体幹や上肢にWBV刺激を与えることで、筋緊張および上肢機能に改善がみられたという報告もある²⁷⁾。そのため、脳卒中片麻痺患者のリハビリテーションなど上肢機能、特に上肢柔軟性、握力の改善を目的とする際に、WBV刺激を取り入れた運動プログラムが有効であるかもしれない。

複数の姿勢保持や動的な運動を取り入れたWBVトレーニングや、WBVトレーニングに簡単な運動を併用したトレーニングによる身体機能に関する研究では、下肢筋力、上肢筋力、下肢柔軟性、敏捷性、歩行速度、持久性が有意に改善し、下肢柔軟性、敏捷性で対照群よりも有意に高い効果がみられたことを報告している¹⁵⁾。また、5回椅子立ち上がり時間、5m通常歩行時間、アップ&ゴー、長座位起立時間、長座位体前屈の有意な改善を示した研究、簡易身体能力バッテリースコア、歩行速度、バランス能力等の有意な改善が認められるなどの報告がなされている^{21,28-31)}。さらに本研究は、アップ&ゴー、30秒椅子立ち上がり、連続上腕屈伸、6分間歩行において効果がみられ、先行研究が報告^{21,28-31)}している上肢筋力、下肢機能、持久性の改善とも一致している。

本研究では、WBV群とW群において下肢筋機能を示す30秒椅子立ち上がり有意に改善したが、最大下肢伸展筋力では有意な改善がみられなかった。Bautmans et al.はWBV使用群も非使用群も同様に30秒椅子立ち上がり最大下肢伸展筋力への効果がみられず²¹⁾、Kessler et al.もWBVトレーニングで等尺性随意最大筋力に変化はなかったと報告しており²⁹⁾、本研究の結果と一致している。一方、Bogaerts et al.は1年間のWBVトレーニングにより筋量は3.4%、下肢最大筋力は9.8%、垂直跳びは10.9%、それぞれ改善したと報告している³²⁾。本研究では、いずれの群でも最大下肢伸展筋力と無負荷最大速度の変化がみられなかったが、多関節複合動作の下肢筋力の変化を検出には8週間という期間が十分ではなかった可能性があり²⁹⁾、今後の検討課題の一つである。

ウォーキング運動との比較から下肢筋機能の改善について検討する。Raimundo et al.³³⁾は、運動習慣のない閉経後女性に対し、20~25分間/回のWBVをおこなうWBV群と60分間/回のウォーキングをおこなうウォーキング群の2群に分け、8ヵ月間にわたり運動を実践し、4m歩行、椅子立ち上がり、垂直跳びを測定した。その結果、WBV群では、椅子立ち上がり、垂直跳び、ウォーキング群は4m歩行、椅子立ち上がりが改善し、4m歩行、椅子立ち上がりはウォーキング群、垂直跳びはWBV群に交互作用がみられたことを報告している。本研究では、この報告³³⁾とは異なり、WBV群は30秒椅子立ち上がりに加え、アップ&ゴー、6分間歩行での有意な改善がみられた。WBV装置上で膝を軽度屈曲した立位の状態を保持した先行研究³³⁾に対して、本研究は自重負荷による運動をおこなっており、振動刺激との相乗効果により30秒椅子立ち上がりだけでなく、アップ&ゴー、6分間歩行の改善にもつながったものと考えてい

る。本研究でみられた敏捷性・動的バランスへの効果は、高齢女性を中心とした対象者をバランス運動、筋力トレーニング、ウォーキング運動で構成されるトレーニング実践群と前述のトレーニングに加えてWBVトレーニングを実践した群に分け、両群の歩行能力およびバランス能力を比較した研究³⁴⁾や、WBV群とウォーキング群に分けトレーニングを実践した閉経後女性の骨密度、バランス能力を比較した研究³⁵⁾とも一致している。WBVトレーニングによる敏捷性・動的バランスへの効果には、WBV刺激に対する緊張性振動反射 (tonic vibration reflex) による不随意的かつ持続的な筋収縮³⁶⁾、成長ホルモンの分泌の結果、筋力や歩行の安定性が向上した可能性が考えられる³⁴⁾。本研究では、WBV群とW群が有意に改善したものの、アップ&ゴー、30秒椅子立ち上がりではW群の効果量が高く、敏捷性・動的バランスおよび下肢筋機能においてはウォーキング実践を主とした運動プログラムの方が有効であるかもしれない。バランス運動を複合したWBVトレーニングは、振動刺激が腓腹筋外側頭の筋活性を促進し³⁷⁾、バランス回復につながる下肢筋機能などの獲得促進へとつながるとの報告³⁰⁾もあり、WBVトレーニングにおいては、WBV刺激中により多くの動的な自重負荷運動の種目を導入するなどの検討が必要である。

下肢柔軟性を示す椅座位体前屈では、WBV群の教室前後の比較において統計的に有意な改善は認められなかったが、WBV群の効果量はW群とほぼ同じであった。W群の下肢柔軟性の改善は、準備運動、整理運動のストレッチ効果に加え、ウォーキング中の体幹ねじり、股関節、膝関節の屈伸の繰り返し運動が寄与していると思われる³⁸⁾。一方、WBV群の下肢柔軟性の改善は、WBV刺激による筋伸長範囲の拡大、筋収縮抑制²¹⁾、筋温度の上昇、軟部組織の弾性向上^{22), 23)}も寄与した可能性がある。持久性を示す6分間歩行は、WBV群とW群ともに同様な改善を示していた。WBVトレーニングは継続的な筋の収縮・弛緩が筋ポンプ作用の促進や血管弾性を向上させ¹⁴⁾、全身循環の変化³⁹⁾を生み、中等度のウォーキングと同様な代謝変化、循環器系の改善を示すとの報告があり⁴⁰⁾、本研究におけるWBV群の持久性向上にも寄与した可能性がある。尚、WBV群も週に1.5±0.4日、自主的にウォーキングを実践していたため、これが持久性向上に影響していた可能性も否定できない。WBVトレーニングとウォーキング運動を比較した研究は、下肢筋力やバランスに関するものに限られるため、柔軟性や持久性を含めた身体機能に関して検討したのは本研究が初めてである。

本研究はいくつかの限界を有している。1点目に本研

究の各群は無作為割付ではなく、運動教室の開催、測定、解析も盲検化されておらず、バイアスが含まれている可能性を否定できない。2点目に本研究への参加者は自発的に運動教室に参加しており、比較的健康で意欲が高い集団であるため、本研究の外的妥当性は必ずしも高くない。3点目は、WBVトレーニング、ウォーキングを実践した正味の時間が同じになるよう運動教室の開催回数を週2回、週1回としたが、主運動とともにおこなった準備運動、レジスタンストレーニング、整理運動については、WBV群の実践回数が多く、さらにも出席率も高いことからWBV群の効果を過大評価している可能性を排除できない点である。これらの限界については今後の更なる検討において解決すべきものである。しかし、高齢者を対象としたウォーキングなど種類の異なる一般的な運動プログラムとWBVトレーニングの比較研究はまだ数少なく、一般的な運動が実践できない虚弱高齢者や脳卒中片麻痺者などを対象とした運動プログラムの開発に、本研究結果は重要な知見になると考えている。

V. 結語

本研究では、WBVトレーニングを主運動とする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影響について、ウォーキングを主とした運動プログラムとの比較により検討した。その結果、WBVトレーニングを主運動とするプログラムは、上肢機能、特に上肢柔軟性への特異的な効果を有し、他群に比べ握力は維持効果を示す一方、敏捷性・動的バランス、下肢筋機能、下肢柔軟性、持久性への効果についてはウォーキングを主とした運動プログラムと比較して、同等と考えられた。高齢者に対する全身振動刺激を用いた運動プログラムは、ウォーキングなどの一般的な運動が実践できない高齢者、脳卒中片麻痺者のリハビリテーションなど柔軟性や上肢機能などを特異的に向上させたい場合に有効であろう。

謝辞

本研究にご協力いただいた参加者の皆様、筑波大学関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。なお、本研究の運動教室開催に必要な機材や人材は、株式会社プロテア・ジャパンおよび株式会社THFの協賛を受けた。

文献

1. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al.: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci*

- Sports Exerc, 2007;39:1423-1434.
- Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, et al.: Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 2007;116:1094-1105.
 - 大須賀洋祐, 鄭松伊, 金泰浩, 大久保善郎, 金ウンビ, 田中喜代次: 高齢夫婦向けの運動教室が運動アドヒアランスと体力に及ぼす効果. *体力科学*, 2015;64:407-418.
 - American College of Sports Medicine: Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*, 2009;41:1510-1530.
 - American College of Sports Medicine: Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 2009;41:687-708.
 - Steib S, Schoene D, Pfeifer K: Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 2010;42:902-914.
 - Yamazaki S, Ichimura S, Iwamoto J, Takeda T, Toyama Y: Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis. *J Bone Miner Metab*, 2004;22:500-508.
 - Cardinale M, Wakeling J: Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med*, 2005;39:585-589.
 - 文部科学省: 体力・スポーツに関する世論調査, 2013, http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa04/sports/1338692.htm.
 - Morris JN, Hardman AE: Walking to health. *Sports Med*, 1997;23:306-332.
 - Okubo Y, Seino S, Yabushita N, et al.: Longitudinal association between habitual walking and fall occurrences among community-dwelling older adults: analyzing the different risks of falling. *Arch Gerontol Geriatr*, 2015;60:45-51.
 - Sherrington C, Whitney JC, Lord SR, Herbert RD, Cumming RG, Close JC: Effective exercise for the prevention of falls: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 2008;56:2234-2243.
 - Wijlhuizen GJ, Chorus AM, Hopman-Rock M: The FARE: a new way to express falls risk among older persons including physical activity as a measure of exposure. *Prev Med*, 2010;50:143-147.
 - van der Meer G, Zeinstra E, Tempelaars J, Hopson S: 戸澤明子, 浅野勝己監訳, アクセラレーショントレーニングハンドブック. ナップ, 東京. 2011, 23-45.
 - Gomez-Cabello A, Gonzalez-Aguero A, Ara I, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G: Effects of a short-term whole body vibration intervention on physical fitness in elderly people. *Maturitas*, 2013;74:276-278.
 - Slatkowska L, Alibhai SM, Beyene J, Cheung AM: Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*, 2010;21:1969-1980.
 - Merriman H, Jackson K: The effects of whole-body vibration training in aging adults: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther*, 2009;32:134-145.
 - Sitja-Rabert M, Rigau D, Fort Vanmeerghaeghe A, Romero-Rodriguez D, Bonastre Subirana M, Bonfill X: Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil*, 2012;34:883-893.
 - Rikli RE, Jones CJ: Senior fitness test manual. Rikli RE, Jones CJ, editor, Human Kinetics, Champaign, 2000.
 - 相羽達弥, 大久保善郎, 大須賀洋祐 他: 多関節複合動作の下肢筋力測定: 高齢者における負担軽減プロトコルの開発. *健康支援*, 2015;17:23-30.
 - Bautmans I, Van Hees E, Lemper JC, Mets T: The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial. *BMC Geriatr*, 2005;5:17.
 - Cochrane DJ, Stannard SR, Firth EC, Rittweger J: Comparing muscle temperature during static and dynamic squatting with and without whole-body vibration. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2010;30:223-229.
 - van den Tillaar R: Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *J Strength Cond Res*, 2006;20:192-196.
 - 田中喜代次, 大久保善郎, 辻大士, 大藏倫博, 羽間鋭雄, 浅野勝己: 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;30:507-514.
 - Burke D, Hagbarth KE, Lofstedt L, Wallin BG: The responses of human muscle spindle endings to vibration during isometric contraction. *J Physiol*,

- 1976;261:695-711.
26. Yue Z, Mester J: A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. *J Biomech*, 2002;35:639-647.
 27. Boo JA, Moon SH, Lee SM, Choi JH, Park SE: Effect of whole-body vibration exercise in a sitting position prior to therapy on muscle tone and upper extremity function in stroke patients. *J Phys Ther Sci*, 2016;28:558-562.
 28. 辻大士, 尹智暎, 三ツ石泰大, 染谷典子, 小澤多賀子, 大藏倫博, 田中喜代次: 地域在住高齢者における全身振動機器を使用した静的なアクセラレーショントレーニングの有効性. *体力科学*, 2012;61:211-219.
 29. Kessler J, Radlinger L, Baur H, Rogan S: Effect of stochastic resonance whole body vibration on functional performance in the frail elderly: A pilot study. *Arch Gerontol Geriatr*, 2014;59:305-311.
 30. Ochi A, Abe T, Yamada K, Ibuki S, Tateuchi H, Ichihashi N: Effect of balance exercise in combination with whole-body vibration on muscle activity of the stepping limb during a forward fall in older women: A randomized controlled pilot study. *Arch Gerontol Geriatr*, 2015;60:244-251.
 31. Sievanen H, Karinkanta S, Moisio-Vilenius P, Ripsaluoma J: Feasibility of whole-body vibration training in nursing home residents with low physical function: a pilot study. *Aging Clin Exp Res*, 2014;26:511-517.
 32. Bogaerts A, Delecluse C, Claessens AL, Coudyzer W, Boonen S, Verschueren SM: Impact of whole-body vibration training versus fitness training on muscle strength and muscle mass in older men: a 1-year randomized controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2007;62:630-635.
 33. Raimundo AM, Gusi N, Tomas-Carus P: Fitness efficacy of vibratory exercise compared to walking in postmenopausal women. *Eur J Appl Physiol*, 2009;106:741-748.
 34. Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J: Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med*, 2007;56:28-33.
 35. Gusi N, Raimundo A, Leal A: Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*, 2006;7:92.
 36. 東原綾子, 櫻井敬晋, 井上夏香, 板垣香里, 荒木恵, 上田由紀子, 福林徹: 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;17:76-83.
 37. Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V: Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res*, 2006;20:124-129.
 38. Saulicz M, Saulicz E, Mysliwiec A, Wolny T, Linek P, Knapik , Rottermund J: Effect of a 4-week Nordic walking training on the physical fitness and self-assessment of the quality of health of women of the perimenopausal age. *Prz Menopauzalny*. 2015;14:105-111.
 39. Cochrane DJ, Sartor F, Winwood K, Stannard SR, Narici M, Rittweger J: A comparison of the acute physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008;89:815-821.
 40. Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D: Oxygen uptake during wholebody vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol*;2001;86:169-173.