

博士論文

全身振動刺激を用いた運動プログラムが  
高齢者の運動機能および身体組成へ及ぼす影響

平成 29 年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

相羽達弥

筑波大学

# 目次

第 1 章 序論.....	1
第 1 節 研究の背景	
第 2 節 研究の意義	
第 3 節 研究の目的	
第 4 節 用語の定義	
第 2 章 文献研究と研究課題の設定.....	15
第 1 節 高齢者の虚弱化モデル	
第 2 節 高齢者の運動実践	
第 3 節 全身振動（whole-body vibration : WBV）トレーニング	
第 3 章 測定項目と測定方法.....	36
第 1 節 形態	
第 2 節 運動機能テスト	
第 3 節 面接法による調査項目	
第 4 節 身体組成	
第 5 節 研究課題の設定	
第 4 章 研究課題 1 WBVトレーニングが運動機能, 下肢筋力に及ぼす影響 .....	47
第 1 節 緒言	
第 2 節 方法	
第 3 節 結果	
第 4 節 考察	

第 5 節	結論	
第 5 章	研究課題 2 WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響 .....	71
第 1 節	緒言	
第 2 節	方法	
第 3 節	結果	
第 4 節	考察	
第 5 節	結論	
第 6 章	研究課題 3 WBV トレーニングと肥瘦度の関係 .....	89
第 1 節	緒言	
第 2 節	方法	
第 3 節	結果	
第 4 節	考察	
第 5 節	結論	
第 7 章	総括 .....	106
第 1 節	研究の限界および今後の課題	
第 2 節	各研究課題の結論および総合討論	
引用文献	.....	116
謝辞	.....	141
付録	.....	143

## 第1章 序論

### 第1節 研究の背景

#### (1) 高齢者の長寿と虚弱化

2016年現在、本邦では人口に占める高齢者の割合は26%を超え（内閣府、2016）、世界でも類をみない超高齢社会に突入している。最近示された平均寿命（厚生労働省、2015）は、男性で80.79歳、女性で87.05歳であり、過去最高となっている。2060年には、男性84.19歳、女性90.93歳（内閣府、2016）となり、今後も着実に寿命が延びてゆくことが予測される。このような長寿化は、我が国の高い教育・経済水準、保健・医療水準に支えられ（厚生労働省、2000）、積極的な社会参加や健康増進活動への参加など国民全体の努力によるものである。

その一方で、加齢にともなって、種々の老年症候群（Inouye et al., 2007）が顕在化してくることから、虚弱（フレイル）高齢者の大幅な増加が予想される。地域在住高齢者における虚弱（Fried et al., 2001）の頻度は10～30%（Walston et al., 2006; Weiss, 2011）との報告や、本邦では65歳以上の地域在住高齢者全体の11.3%が虚弱であり、加齢とともにその率は増加している（Shimada et al., 2013）との報告がある。また、認知症（15.3%）、関節疾患（10.9%）、転倒・骨折（10.2%）など要介護状態となる原因には加齢とともに現れるサルコペニアやロコモティブシンドロームなどが関

連する生活機能の低下も多い（厚生労働省，2011；大淵，2009）。さらに，2001年から2013年にかけて，平均寿命は男性が78.07歳から80.21歳，女性が84.93歳から86.61歳へと延びているのに対し，平均寿命と健康寿命との差，すなわち，健康上の問題で日常生活に制限のある「不健康な期間」は，男性で8.67年から9.02年，女性で12.28年から12.40年（厚生労働省，2016a, 2016b）と若干の拡大がみられ，寿命の延長とともに「不健康な期間」の拡大も懸念される。「不健康な期間」の拡大は，quality of life（QoL）の低下，医療費，介護給付等の社会保障費の負担増加などの影響へもつながる。したがって，生活機能を失わせる虚弱への対策は喫緊の課題であり，可逆性のある時期に，早期に体力・運動能力の回復・維持が重要となっている。

### （2）高齢者の虚弱化と虚弱化予防に向けた運動実践

虚弱は，Fried et al.（2001）によって提唱された定義が広く用いられており，Figure 1-1 に示すように自立（independence）と身体機能障害（disability）の間に位置し（Whitson et al., 2007），自立した日常生活を維持するための身体機能が低下した状態であり（Brody et al., 1997），老人施設への入所，転倒，入院，死亡等の重篤な状態に陥る危険性が高いと考えられている（Fried et al., 2001；Speechley and Tinetti, 1991；Woods et al., 2005）。

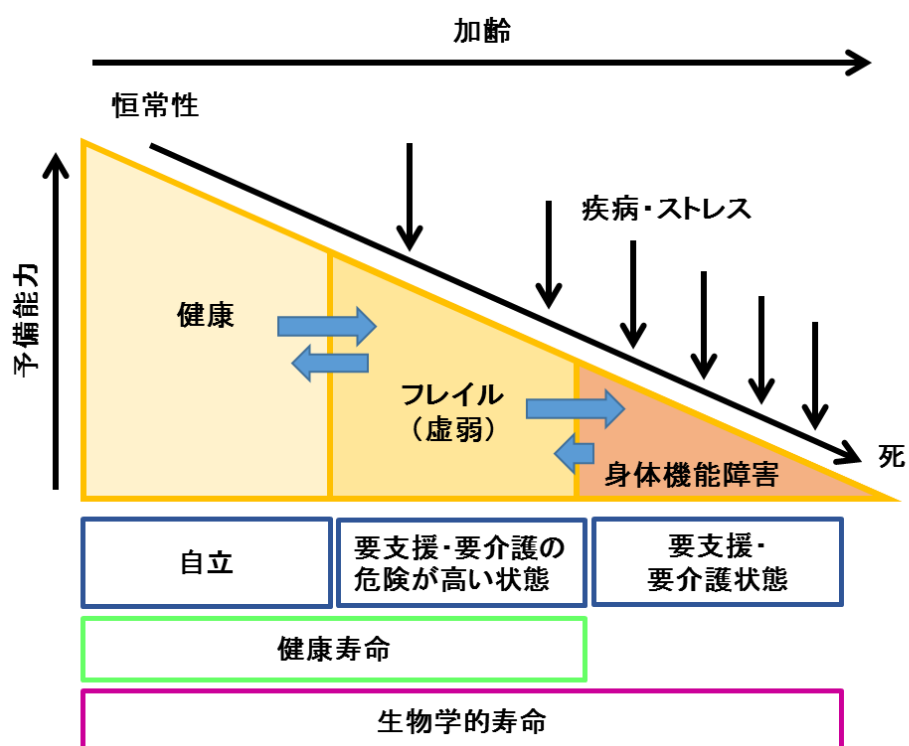


Figure 1-1. 虚弱の位置付け (葛谷 (2009), 佐竹 (2014) を著者が一部改変).

高齢者に介入する目的は、虚弱や要介護状態の発生を防ぐこと、もしくは可能な限り個人の状態や機能を維持・改善させることである (厚生労働省, 2009a; Topinkova, 2008). そのためには、虚弱、要介護状態に至る危険因子、身体的要因、心理学的要因、遺伝的要因、社会的要因など (Hoogerdujin et al., 2006; Sara and Linda, 2007) を取り除く必要があると考えられる. 特に筋力の低下や歩行障害、バランス能力低下といった運動機能の低下、骨量や筋量の減少などの身体組成、低体重・肥満傾向の高齢者と低体力や疾病合併率との有意な関連性を示す健康指標の一つである体重・肥瘦度 (body mass index: BMI) の変化は、虚弱あるいは要

介護状態を説明する上で重要である (Alarcon et al., 1999; 荒尾, 1999; 荒尾ら, 1998; Carlson et al., 1998; Coakley et al., 1998; Covinsky et al., 1997; Davis et al., 1998; Ferraro and Booth, 1999; Ferreira et al., 2013; Fortinsky et al., 1999; Galanos et al., 1994; Ingold et al., 2000; Janssen et al., 2002; Launer et al., 1994; Morley et al., 2006; Narain et al., 1988; Rudberg et al., 1996; Satish et al., 1996; Sternberg et al., 2014; St-Onge, 2005; Tokunaga et al., 1991; Woo et al., 2007; 山崎ら, 2016; Zamboni et al., 1999). また, 要介護状態となる原因は, 脳血管疾患を除けば, 高齢になるとともに現れる衰弱, 転倒・骨折, 認知症, 関節疾患など生活機能の低下が多い (大淵, 2009). このように運動機能の低下や身体組成や体重・肥瘦度の変化は, 虚弱化あるいは要介護化と密接な関係にある.

世界保健機構 (World Health Organization: WHO) をはじめ各国から身体活動に関する指針が示されている. 本邦でも厚生労働省 (2013a) が, 積極的に体を動かすことが生活機能低下のリスクを低減させ, 自立した生活をより長く送ることができるとして, 65歳以上の身体活動の基準を示し, 身体活動の促進, 運動習慣の継続を推奨し, ストレッチ, バランス運動, 筋力トレーニング, ウォーキングなどを利用した運動教室等が開催されている. しかしながら, 本邦における高齢者の運動実践率は, 依然として50%に満たない状態であり (厚生労働省, 2013a), 運動を開始したとしても, 約50%の高齢者が, 半年以内に中断するとも報告されて

いる (Morey et al., 2002). 文部科学省 (2013) の調査によると, 70 歳以上の高齢者は, 運動をおこなわない主な理由に, 年をとった (47.8%), 体が弱いこと (28.9%) を挙げている. このことを裏付けるように, 移動能力制限や関節痛をともなうような高齢者は, 継続的な運動実践率が低く, 十分な運動効果を得ることができていないとの報告がなされている (McMurdo and Johnstone, 1995). また, 転倒への恐怖心, 合併症の数, 運動に関する知識の低さ, 運動への自己効力感の低さも, 運動実践の障壁になることが指摘されている (deJong and Flanklin, 2004; Lees et al., 2005; Schutzer and Grave, 2004). 時間, 場所, 運動歴など関係なく最も融通性のある運動として推奨されているウォーキング (文部科学省, 2013; Morris and Hardman, 1997) であっても, バランス機能障害, 移動能力制限, 膝痛, 抑うつ傾向, 歩行補助具使用, 多重服薬などの転倒リスク要因を複数有するような場合には, 転倒リスクを高める危険性 (Okubo et al., 2015) や健康状態を悪化させる可能性 (山本・山崎, 1999) もあり, それらに代わるような包括的な効果が期待できる運動が必要とされている.

### **(3) 全身振動 (whole-body vibration: WBV) トレーニング**

近年, 全身振動 (whole-body vibration: WBV) 刺激を用いた WBV トレーニングは, 全身の健康状態を改善する新たな運動様式として注目されている (Park et al., 2015). WBV 装置によって微細振動が全身に伝達する



ことで筋線維の微細な伸縮や血流増加，痛覚の鈍化を生じるだけでなく，力学的に骨細胞を刺激することができると考えられ（田中ら，2013），その結果，筋力，持久力，柔軟性，バランス能力，心血管・循環系，身体組成（筋量，骨量）へ好影響を与えられている（Park et al., 2015; Tapp and Signorile, 2014）．また，ニュートンの第二法則を応用した WBV トレーニングは，受動的なトレーニングが可能となり骨・筋肉への過度のメカニカルストレスや循環器系への負担が軽減されることから，虚弱化した高齢者や移動能力制限，関節痛をともなう高齢者など何らかの理由で運動実践が困難な場合や，運動実践を煩わしいと感じ意欲が低い場合に広く安全に利用できることが期待できる．

高齢者における WBV トレーニングは，大腿骨頸部，脛骨および腰椎の骨密度，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無介入対照群に対する優位性は示すことが先行研究で報告されている（Bogaerts et al., 2007a, 2007b; Slatkovska et al., 2010）．その一方，Merriman and Jackson (2009) のレビューにおいて文献選択基準を満たし，一定のエビデンスレベルを有する論文のうち，レジスタンス運動やフィットネス運動，ウォーキングのような一般的な運動と比較した研究は 5 件と数少なく，優位性の検討は十分とは言い難い状況である．このように，様々な理由で一般的な運動の実践を煩わしく感じている高齢者に向けた情報提供が不足していると考えられる．

### 第2節 研究の意義

本研究は、運動機能、筋力への影響に加えて、近年、虚弱・要介護化の一要因として挙げられている骨量、筋量などの身体組成も含めてWBVトレーニングが及ぼす影響について多面的に検討するものである。また、一般的な運動の一つである中等度のウォーキングとの比較や、身長と体重から簡便に痩せや肥満の度合いを明示化できる肥瘦度との関係からWBVトレーニングの有効性や適応について検討をおこなうものである。

このような検討は、生活機能を失わせる虚弱化への対策と虚弱から要介護状態への予防に向け、健康な高齢者のみならず、移動能力制限、関節痛、低栄養を有する虚弱前段階の高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲が低い高齢者など何らかの理由で運動実践が困難な高齢者に向けて、一般的なトレーニングに代わる運動プログラムや一般的なトレーニング実践に向けた補助運動として健康支援策を導き出す基礎資料となることが期待できる。

### 第3節 研究の目的

本博士論文は、健康な高齢者、移動能力制限、関節痛をともなう虚弱前段階の高齢者や運動意欲の低い高齢者など、何らかの理由で運動実践が困難な高齢者に向けた運動プログラムや健康支援策を導き出す基礎資料を提案するものであり、研究の目的は、地域在住高齢者を対象としたWBV トレーニングを主とした運動プログラムによる、1) 運動機能、多関節複合動作による下肢筋力、2) 筋量、骨量の身体組成に及ぼす影響について中等度のウォーキングを主とした運動プログラムとの比較をおこない、WBV トレーニングを主とした運動プログラムの有効性を明らかにすることである。さらに、1) および2) の検討結果に加え、低体重や痩せ傾向の高齢者は虚弱との関連が強いことを踏まえ、3) WBV トレーニング効果と肥瘦度との関係について検討し、低体重や痩せ傾向の高齢者（低BMI者）に対するWBV トレーニングの適応可能性を明らかとすることとした。これらの課題に関する先行研究を踏まえ、研究目的の達成に必要な3つの研究課題を設定した。

研究課題 1. WBV トレーニングが運動機能、下肢筋力に及ぼす影響

研究課題 2. WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

研究課題 3. WBV トレーニングと肥瘦度の関係

### 第4節 用語の定義

本研究を遂行する際に使用する主要用語の定義を以下に示す。

#### (1) 高齢者

WHO (1985) は、65～74 歳を前期高齢者、75 歳以上を後期高齢者と定義し、多くの先進諸国では、前期高齢者と後期高齢者を合わせて 65 歳以上を高齢者と定義している。Suzman and Rilty (1985) は、45～64 歳を middle-aged adult, 65～74 歳を young-old, 75～84 歳を old, 85～99 歳を old-old, そして 100 歳以上を oldest-old とし、65 歳以上に「old」という言葉を用いている。本邦では、厚生労働省が人口の年齢構造を説明する際に、65 歳以上を高齢人口としている。したがって、本研究においても 65 歳以上の者を高齢者として記述する。

#### (2) 虚弱

虚弱は「高齢期に様々な要因が関与して生じ、身体が多領域にわたる生理的予備力の低下によってストレスに対する脆弱性が増加し、重篤な健康問題（施設入所，転倒，入院，死亡）を起こしやすい状態」と Fried et al. (2001) によって提唱され、広く利用されている。

虚弱の指標は、様々な尺度、評価方法が提唱され、移動能力、筋力、認知機能、栄養状態、バランス、持久力など能力に注目して評価するこ

とがある。本邦では介護予防という観点から、基本チェックリスト（厚生労働省，2009b）が利用されている。これは、高齢者の生活機能に関する評価をおこなうために開発された質問紙であり、「IADL（instrumental activities of daily living）」5項目、「運動器の機能向上」5項目、「栄養改善」2項目、「口腔機能の向上」3項目、「閉じこもり予防・支援」2項目、「認知症予防・支援」3項目、「うつ予防・支援」5項目、計25項目から構成されている。この基本チェックリストのうち、「運動器の機能向上」の5項目中3項目以上に該当するものの、要支援・要介護認定には該当しないような状態を虚弱とした。

### （3）移動能力制限

高齢者における移動能力の制限（Guralnik et al., 1993）は、加齢にともなう障害段階の初期兆候として認識され（Fried et al., 2001）、「ある場所から他の場所まで自立して安全に移動する能力（移動能力）が制限された状態」（Woollacott and Shumway-Cook, 2002）のことと定義する。

### （4）運動機能

本研究では、筋力、歩行、椅子からの立ち上がり、バランス能力など、「日常生活課題を遂行するために必要な身体的能力」を運動機能と定義し、その能力を評価するテストを運動機能テストとする。これまでの高

齢者の運動機能に関するさまざまな研究や定義、「自立して活力ある豊かな生活を営むために必要とされる能力」(金ら, 1993), 「機能的に自立して日常生活を支障なく過ごすための身体的な動作能力」(種田ら, 1996), 「高齢者が自立した日常生活を送ることができるだけでなく, 余暇活動にも積極的に参加できる身体的能力」(梅田ら, 2002)などを踏まえたものである。

### (5) 筋力

筋力とは, Knuttgen and Kraemer (1987) が, 「1つの筋または筋群が, 特定の運動速度と特定の運動パターンで発揮できる最大の力」と定義されている。本研究では, 人が随意最大努力で発揮することができる最大筋力を「筋力」と定義し, 等尺性筋力を評価する。サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータによる複合関節動作によって得られた力-速度曲線から算出した最大下肢伸展筋力(相羽ら, 2015)を筋力の評価とした。

### (6) 身体組成

身体組成は, 脂肪量 (fat mass), 除脂肪除骨塩量 (fat- and bone-free lean mass), 骨密度 (bone mineral density: BMD) からなる3組成モデルとして定義した。身体組成のうち, 骨量 (bone mass) とは, 「骨の量」を意味する言葉であり, 定量化は二重エネルギーX線吸収法 (dual-energy X-ray

absorptiometry: DEXA) を用い、骨に照射した X 線の吸収量を重量に換算することで表している。そこで、本博士論文では、「放射線を用いて定量化された骨の量」を骨塩量 (bone mineral content: BMC)、骨塩量を骨の投影面積で除した値を骨密度と定義した。また、骨量は「BMD と BMC を特に区別しない一般的な言葉としての骨の量」と定義した。

DEXA による全身測定では、BMD と BMC の定量化に加え、脂肪量、除脂肪除骨塩量に関する情報を得ることができる。除脂肪除骨塩量は筋量、水分量や内臓組織量などの総和と考えられるが、CT 画像から計算された筋量との相関が極めて高い (Wang et al., 1996) ことから、本博士論文では、除脂肪除骨塩量を「筋量を反映する指標」とし、除脂肪量と定義した。

### (7) 全身振動 (whole-body vibration: WBV) トレーニング

全身振動トレーニングは、全身振動 (WBV) 装置プラットフォームの高速微細振動によって発生する重力加速度を利用して、プラットフォーム上で運動をおこなうトレーニングである (Merriman and Jackson, 2009; van den Tillaar, 2006)。WBV トレーニングに利用される WBV 装置には、回転振動式 (rotational vibration: RV) 装置と垂直振動式 (vertical vibration: VV) の二つに大別される (Merriman and Jackson, 2009)。RV 式装置はプラットフォームの中央の軸を中心に、シーソーのようにプラットフォー

ムが振動し、脚を左右に上下させながら負荷を加えている。VV式装置は、垂直軸（上下）、前額面（左右）、矢状面（前後）へ三次元的に振動を発生させ負荷を加えている（Figure 1-2）。両装置にそれぞれ利点、欠点の特徴がある一方、それぞれの振動のタイプによって与えることができる重力加速度は等しく（Delecluse et al., 2003）、振動のタイプの違いによるトレーニング効果の差異を判断するだけのデータが不足しており、明らかになっていない（Merriman et al., 2011）。しかしながら、VV式装置はランジ、ステップアップ、シングルレッグスタンスなどのトレーニング姿勢を安定的に保持することが容易であり、トレーニング姿勢の制約を受けず、プラットフォームの高速微細振動によって発生する重力加速度を受けながら、様々な種類の運動をおこなうことが可能であることから（Merriman and Jackson, 2009）、本博士論文において対象としている高齢者に適していると考えられる。以上のことから、本博士論文では、「VV式装置プラットフォームの高速微細振動によって発生する重力加速度を利用して、プラットフォーム上で運動をおこなうトレーニング」をWBVトレーニングとして扱うこととした。



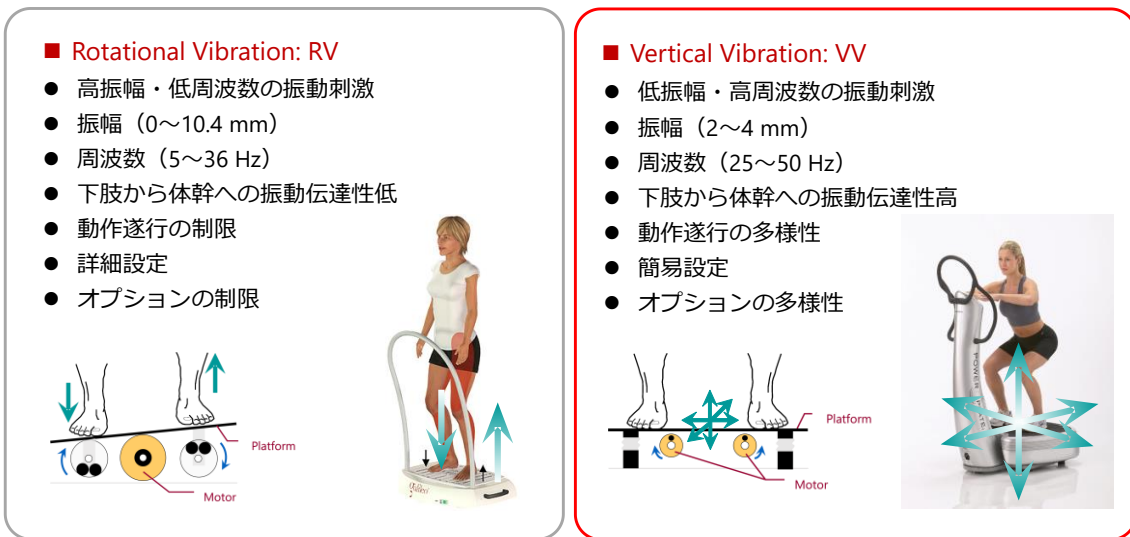


Figure 1-2. WBV トレーニング装置 (相羽ら (2011), Novotec Medical (n.d.), Performance Health Systems (n.d.) をもとに著者が作図).

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

### 第1節 高齢者の虚弱化モデル

老年症候群とは、「高齢者特有に現れ、必ずしも疾病に限らないが、QoLを低下させる状態」を指す（鈴木，2003；鳥羽，2004）。自然老化（加齢）を背景に、その特徴は、1) 明確な疾病ではないこと、2) 症状が致命的でないこと、3) 日常生活への支障が初期には小さいこと、があげられている（鈴木，2003）。また、Inouye et al.（2007）によると、老年症候群のほとんどは加齢、認知機能障害、機能障害、移動能力制限の4つの共通の危険要因によって惹起されるものであると述べている。特に、移動能力制限はその後の生活空間（原田ら，2010；Parker et al., 2001）を狭めるため、加齢にともなう障害発生過程の初期兆候としても位置づけられている（Fried et al., 2000）。

これらが老年症候群の危険要因となり、老年症候群は虚弱状態を引き起こす。虚弱は、加齢にともなう様々な機能変化や予備能力低下によって疾病や身体不活動、口腔機能低下、低栄養など外的なストレスに対する脆弱性が増大した状態である。つまり、虚弱には、身体的要因、精神・心理的要因、社会的要因が相互に関連し、それぞれが連鎖的に負のスパイラルを形成して、他の老年症候群や共通危険要因をさらに惹起する。実際に、Fried et al.（2001）は、Cardiovascular Health Studyにおいて65歳以上の高齢男女5,317名を7年間追跡した結果、虚弱高齢者は健常高齢

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

者と比較して、転倒発生率や移動能力の悪化率がおよそ2倍に高まるなど、健康障害（入院・転倒・生活障害の発生）や死亡率が有意に虚弱高齢者に多いことを示している。このように、高齢者の虚弱化は一方向に進展していくのではなく、より重篤な状態が更なる危険要因を惹起し、相互に関連し、連鎖的な進展を繰り返していくと考えられる。そして、最終的には生活機能障害、死亡、転倒、入院、老人施設への入所などの重篤な健康問題が引き起こされる。しかしながら、虚弱には適切な対処により再び健康な状態に戻りうるという可逆性という面もあり、早期介入による重篤な健康問題の先送りは十分に可能である（清野，2013）。

虚弱発症メカニズムについては、加齢が主たる推進因子であるが、各種疾病、免疫異常、神経内分泌異常などもその発症・進展に複合的に関与する。また、栄養の重要性も指摘されており、低タンパク質の食事、ビタミンDの摂取不足などが虚弱の進行と関連することが知られている（Figure 2-1）。高齢者の虚弱化を表す概念やモデルの代表的なものは、Nagi（1965, 1976）が提唱した *disablement model* である。これによると、まず、生活習慣や不活動が疾患と相互に関連して機能障害（*impairment*）を引き起こす。機能障害とは、筋力や全身持久性体力、柔軟性などの身体のシステムレベルの異常をきたしている状態で、歩行や階段昇降、椅子からの立ち上がりなどの身体的能力の制限（機能制限：*functional limitation*）につながり、最終的に、整容や買い物、家事などの日常生活

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

における役割を含む活動に支障をきたすようになる（身体機能障害：disability）。

Fried et al. (2001) は虚弱を「疾患における症候群と同様、病態の過程に生じる症状や兆候の集積」ととらえ、説明している。加齢にともない、タンパク質・DNA・膜脂質の酸化障害の悪循環が生じ、ミトコンドリア機能障害やそれに続く酸化ストレスの増加などに起因したエネルギー産生を損ない、DNA 損傷をはじめとするさまざまな遺伝子発現に影響を受ける。これは、内分泌系や免疫系へ影響し、筋量減少（サルコペニア）や栄養状態の悪化などの生理機能に障害を引き起こす（根本, 2013）。その結果、筋力低下、体重減少、身体活動の低下、歩行速度の低下、疲れなどの症状として現れるようになる。これら5つの症状のうち、3つ以上に該当する場合に虚弱、1つまたは2つに該当する場合に前虚弱（プレ・フレイル）、まったく該当しない場合は健常（ノン・フレイル）と診断することを Fried et al. (2001) は提唱している。この中で、身体的虚弱の重要な寄与因子とされるサルコペニアは、「筋量と筋力の進行性かつ全身性の減少に特徴づけられる症候群で、身体的機能障害、QoL 低下、筋力低下の誘因であり、死のリスクをともなうもの」と提唱され、さまざまな疾患、栄養不良、体重減少、身体組成の変化などによりもたらされる虚弱サイクルの中心的な様態として位置付けられている。筋力低下は筋機能の低下、歩行速度の低下、身体活動の低下などを引き起こし、総エネ

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

ルギー消費量を低下させ、その結果、転倒やバランス障害に関連し、生活機能障害や身体機能障害を誘発し、要介護状態に至る (Xue et al., 2008). 最近では、サルコペニアだけでなく、運動機能に焦点をあて、立ったり、歩いたりといった移動能力に注目し、日本整形外科学会が2007年に提唱したロコモティブシンドローム (ロコモ チャレンジ! 推進協議会, n.d.) は、「運動器の障害のために移動能力の低下を来した状態」であり、進行すると虚弱、要介護状態に陥る危険が高いとされている (Figure 2-1).

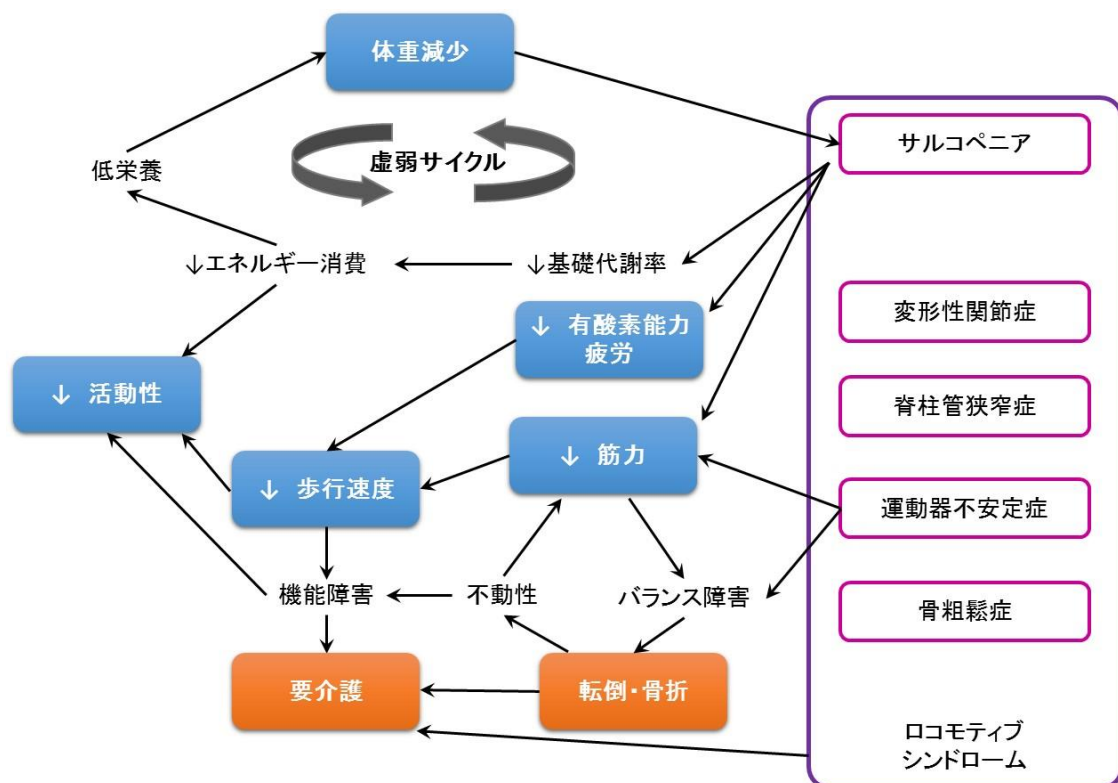


Figure 2-1. 虚弱サイクルとロコモティブシンドローム (原田 (2012), Xue et al. (2008) を著者が一部改変).

### 第2節 高齢者の運動実践

身体活動の増加や高い身体活動の継続・維持は、各種疾患発症や死亡に至るリスク、加齢にともなう運動器不安定症や骨粗鬆症、関節症などのロコモティブシンドロームや認知機能低下などのリスクを下げ、特に高齢者では、虚弱化を予防し、自立した生活をより長く送ることができると言われている（厚生労働省, 2013a; Pate et al., 1995; Province et al., 1995).

一方で、身体活動不足は、死亡との関連が高く（Ikeda et al., 2012; WHO, 2010）、高齢者にとっては、自立度の低下や虚弱を引き起こす危険な因子（Sofi et al., 2011; Stuck et al., 1999）であり、身体活動の重要性は高い（厚生労働省, 2013a).

身体活動は世界的に推奨されており、WHO（2010）では「Global recommendations on physical activity for health」、2010年に開催された The 3rd International Congress of Physical Activity and Public Health では「Toronto Charter for Physical Activity 2010」、国際的な医学誌である Lancet（2012）では身体活動号が発表され、身体活動不足が世界的に問題であることやその対策が示されている。具体的には、WHO（2010）やアメリカスポーツ医学会（American College of Sports Medicine, 2009b）は、無作為化試験やメタアナリシスの結果に基づき、週あたり 150 分、30 分／回の中強度のウォーキングや週 2 回の筋力トレーニング、週 3 回の

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

バランストレーニング，そして柔軟性運動を実践することを推奨している。

本邦では、「ライフステージに応じた」健康づくりを重視した「健康づくりのための身体活動基準 2013」及び「健康づくりのための身体活動指針(アクティブガイド)」を2013年に策定し(厚生労働省, 2013a, 2013b), 高齢者の健康に関する目標設定を踏まえて, 新たに高齢者に関する身体活動の基準などを示している。実際に, 高齢者に向けてウォーキングなどの有酸素運動, レジスタンストレーニングなどの筋力トレーニング, ストレッチやバランスに対する運動が提供され, 筋力, 筋量の増加, 全身持久性, バランス能力, 機能的能力の改善など Table 2-1 のような有効性が報告されている。

その一方で, 運動実践が転倒リスクを高める危険性や健康状態を悪化させる可能性があるとの報告もある (Okubo et al., 2015; 山本・山崎, 1999)。大久保ら (2011) は, 簡便性, 継続性, 普及度に優れるウォーキングであっても, 転倒リスク保有数の多い高リスク高齢者はそうでない者に比較して転倒が4倍以上も有意に増加し, 高リスク高齢者におけるウォーキング実践は転倒助長作用を有すると述べている。また, 高齢女性の膝の疼痛は, 膝痛を有していない高齢女性に比べて体力低下, 筋力低下, 抑うつ傾向, 不動化などの健康悪化リスクを高めるとの報告もあ

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

り (Lamb et al, 2000), 高リスク高齢者を安全な身体活動の増進に導く支援方法の開発の必要性が訴えられている。

運動実践, 継続性についても課題がある。本邦における高齢者の運動実践率は, 依然として 50% に満たない状態であり (厚生労働省, 2013a), 運動を開始したとしても, 約 50% の高齢者が, 半年以内に中断すると報告されている (Morey et al., 2002)。また, Marcus et al. (2006) は, 健康増進プロジェクトの参加者に対する意識調査において, 回答者のおよそ 3 分の 1 は運動することに全く興味が無く, 関心はあるけれどもやっていない人を含めると, 半数近くが運動に対する関心が低いと述べている。文部科学省 (2013) の調査においても, 運動をおこなわない主な理由として, 70 歳以上の高齢者は, 年をとった (47.8%), 体が弱いこと (28.9%) など体力への不安を挙げている。さらに, 転倒への恐怖心, 合併症の数, 運動に関する知識の低さ, 運動への自己効力感の低さが指摘されている (deJong and Flanklin, 2004; Lees et al., 2005; Schutzer and Grave, 2004)。このように高齢者, 特に虚弱高齢者は, 好んで能動的に運動を実践するとは考え難く, 運動への導きをできるきっかけ作りとなる運動プログラムの用意と合目的な選択が重要である (竹島ら, 2015)。



## 第2章 文献研究と研究課題の設定

Table 2-1. 運動介入による転倒率, 運動機能, 心肺機能への効果 (Cadore et al. (2013) を著者が一部改変).

<i>Authors</i>	<i>N, age</i>	<i>Intervention</i>	<i>Primary results</i>
Fiatarone et al., 1994	100, 87	RT vs. RT + SUP: 3 x/wk, 10 wk	↑ Strength outcomes ( 26% – 215% ); ↑ gait speed ( 9% – 15% ).
Wolf et al., 1996	200, 70	BT composed by Tai-Chi exercises, 2 /wk, 15 wk.	↓ Rate of falls ( 47% ).
Lord et al., 2003	551, 79	MCEP: RT + ET + BT, 2 /wk, 48 wk	↓ Rate of falls ( 22% ).
Hauer et al., 2001	57, 82	MCEP: RT + BT, 3 /wk, 12 wk	↑ Strength ( 75% ); ↓ rate of falls ( 25% ).
Kenny et al., 2010	99, 76	Yoga + chair aerobics with and with no DHEASUP, 2 /wk, 24 wk	↑ TUGtest ( 4% ); ↑ strength only in the SUP group.
Binder et al., 2002	115, 83	MCEP: ET + RT + BT + COOT, 3 /wk, 36 wk.	↑ Strength outcomes; ↑ balance; ↑ VO <sub>2</sub> max; ↑ physical performance score.
King et al., 2002	155, 77	MCEP: ET + RT + BT + FT, 1-3/wk, 48 wk.	↑ Balance ( 35% ).
Latham et al., 2003	243, 79	Home-based RT, 3 /wk, 10 wk.	No changes in strength, falls, balance and gait speed.
Barnett et al., 2003	163, 75	MCEP: BAL + TAI + ET + BWRT, 1 yr, 37 supervised sessions.	No changes in strength, reaction time and walking speed. ↑ Balance ( 6% – 15% ); ↓ Rate falls: EG vs. CG ( 36% ).
Ehsani et al., 2003	46, 82	MCEP: ET + RT, 3 /wk, 24 wk.	↑ VO <sub>2</sub> max;
Wolf et al., 2003	286, 81	BT composed by Tai-Chi exercises, 2 /wk, 48 wk vs. active control with low level RT + ET, with no BT.	No difference between groups in the incidence of falls.
Sullivan et al., 2007	29, 79	RT: high vs. low intensity, with or with no megestrol acetate SUP, 12 wk.	↑ Strength ( 23% ) only in the RT at high intensity.
Hagedorn and Holm, 2010	27, 81	MCEP: RT + BT with and with no visual computer feedback 2 /wk, 12 wk,	↑ Strength ( 19% ); ↑ Overall balance scores ( 80% ); ↑ 6-min walk test ( 8% ).
Lustosa et al., 2011	48, 72	BWRT: 3 x/wk, 10 wk,	↑ Gait speed ( 10% ); ↑ strength outcomes ( 6% ).
Serra-Rexach et al., 2011	40, 92	RT, 3 /wk, 10 wk.	↑ Strength ( 10.6 kg); ↓ falls ( 1.2 fewer).
Freiberger et al., 2012	197, 76	3 MCEP: ST + BT vs. ET + ST + BT vs. ST + BT + falls risk education. 2 /wk, 16 wk.	↑ Gait speed in ST + BT and ET + ST + BT. No changes in the number of falls
Kim et al., 2012	115, 79	MCEP vs. MCEP+ SUP: 2 x/wk, 12 wk. MCEP= BT + ET + BWRT.	↑ Strength ( 6% ); ↑ gait speed ( 12% – 17% ).
Clemson et al, 2012	317, 83	MCEP: RT + BT, 3 /wk, 12 wk	↓ Rate of falls ( 31% ); ↑ balance
Henessey et al., 2001	31, 71	RT vs. RT + GH SUP: 3 /wk, 10 wk	↑ Strength ( *50% ).
Taylor et al., 2012	684, 74	BT composed by TAI, 1/ wk vs. 2 /wk, 20 wk.	↓ Rate of falls ( 58% ).

RT, Resistance training; ET, endurance training, BT, balance training; BWRT, body weight resistance training; MCEP, multicomponent exercise program; TAI, Tai-Chi exercises; FT, flexibility training; COOT, coordination training; SUP, supplementation; GH, growth hormone; DHEA, dehydroepiandrosterone; wk, weeks; ↑, increase; ↓, reduction.

### 第3節 全身振動 (whole-body vibration : WBV) トレーニング

#### (1) WBV トレーニングの歴史

現在の WBV トレーニングは、1960年の Biermann の円形振動やリズムカル神経筋刺激の方法に関する研究を基礎としていると言われ、宇宙飛行士が宇宙飛行中の微小重力環境における体力、筋力、骨密度低下の抑制、素早い回復のために旧ソ連で使用され、研究がおこなわれたとも言われている (van der Meer et al., 2011). その後、Nazarov and Spivak(1985) がスポーツ選手に応用し、骨強度、柔軟性や筋力が改善したことを報告した。1990年代に入り、WBV トレーニングの効果に関する研究は欧米を中心に広くおこなわれ、筋力や柔軟性の向上、骨密度の維持など運動器系、さらには循環器系やエネルギー代謝への効果 (Bosco et al., 1998a, 1998b, 1999a, 1999b, 2000; Issurin and Tenenbaum, 1999; Kerschman-Schindl et al., 2001; Rittweger et al., 2000, 2002) が報告されている新しいトレーニングである。

WBV トレーニングは、オランダのオリンピック選手のコーチであった van de Meer が、バーベルなどの重い負荷をかけることを必要とせず、身体の反射神経筋を活性するという考えを提唱したことによって広く知られるようになった。これは、ニュートンの第二法則 ( $F=ma$ ) を応用したものであり、質量 ( $m$ ) 増加ではなく、加速度 ( $a$ ) の増加させることで、力 ( $F$ ) を増加させることを可能とする考えである。したがって、加速度

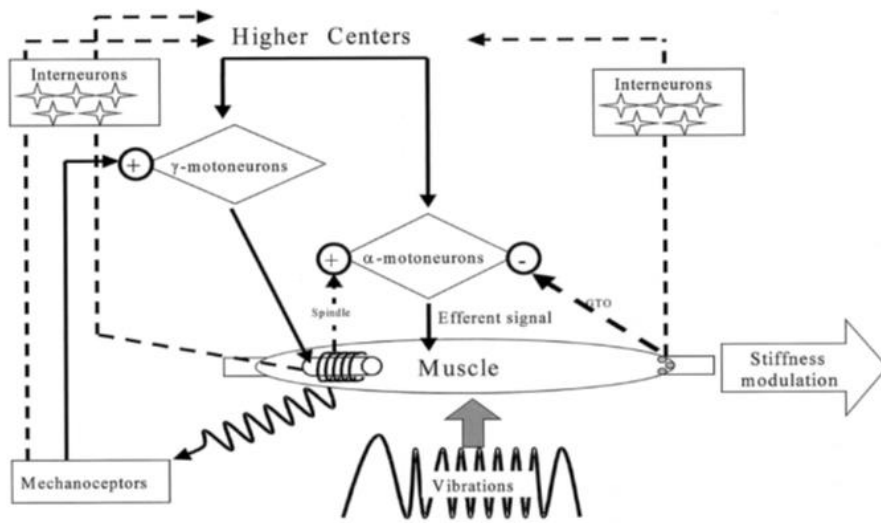
が2倍、3倍になれば、力もそれに比例することになり、バーベルを持ち上げることなく身体へ負荷を与えることができ、静的に自体重を委ねることで、受動的にトレーニングとしての効果が期待できる。また、WBVトレーニングは動作の複雑さがなく、楽しく取り組むことができる高齢者の運動様式としてコンプライアンスが高いことから (Bogaerts et al., 2007a, 2007b; Hannan et al., 2004), 女性高齢者を中心に幅広く取り入れられ始めている。さらに、WBVトレーニングは、ウォーキングやマシンによるトレーニングに抵抗があったりする高齢者に対し、バーベルなどの負荷を持ち上げることなく、身体パフォーマンス、筋力等を安全かつ効果的に引き出すトレーニング方法であると考えられる。

### (2) WBV トレーニングの原理

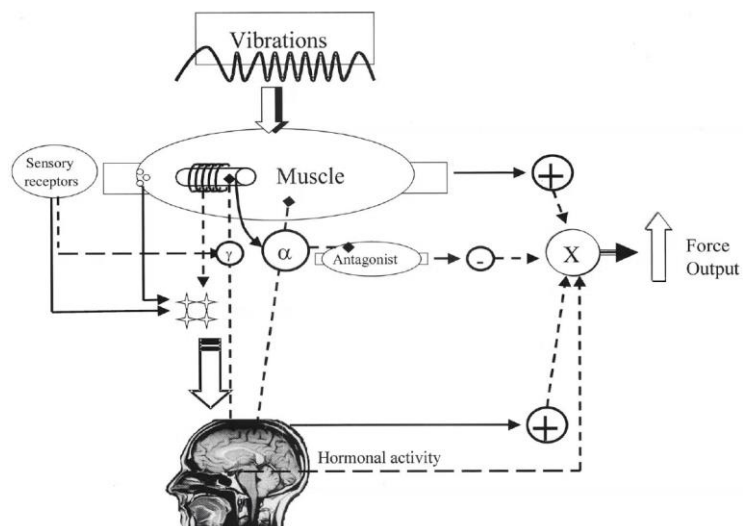
WBV トレーニングの主な原理については二つの点が挙げられる (辻ら, 2012)。第一に、プラットフォームの高速微細振動によって発生する重力加速度が、通常重力加速度 ( $\approx 1 \text{ g}$ ) を上回る重力場を作り出すことにある (van der Meer et al., 2011)。前述したように、トレーニング時に発揮される力は、加速度 ( $a$ ) に質量 ( $m$ ) を乗じて決定される。すなわち、バーベルなどを用いることなく質量 ( $m$ ) は一定とし、加速度 ( $a$ ) の増加により、力 ( $F$ ) を増加させるというものである。例えば、70 kg の人に70 kg の負荷を加えた場合、発揮される力がおよそ1,400 Nであるのに

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

対し、重りなどの負荷を加えずに最大で  $50.0 \text{ m/s}^2$  ( $\approx 5.1 \text{ g}$ ) の重力加速度が生じた WBV 装置を用いた場合、およそ  $3,500 \text{ N}$ 、約 2.5 倍もの力を得ることができることとなる。第二に、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 (東原ら, 2009) が得られることであり、WBV トレーニング中の筋電図反応が従来の運動よりも有意に高い値が得られたことが報告されている (Cardinale and Lim, 2003)。Figure 2-2 (a) に示すように、緊張性振動反射のメカニズムは、振動プラットフォーム上で運動をおこなうと、緊張のわずかな伸長変化という形で筋紡錘が刺激され、その信号は、Ia 求心性線維が興奮し、中枢を介して、 $\alpha$  運動ニューロンの反応となり、筋は収縮し、拮抗筋は弛緩するものである (Hagbarth and Eklund, 1965)。また、緊張性振動反射とともに、脳下垂体からの成長ホルモンの分泌による影響 (Figure 2-2 (b))、振動によるメカニカルストレスに対する応答、固有受容器、疼痛閾値、血管拡張反応等により、筋力、バランス、柔軟性、筋量、骨密度、心血管・循環器機能等に対する効果 (Figure 2-3) が発揮されると考えられている (Bosco et al., 1999b, 2000; Cardinale and Bosco, 2003; Cardinale et al., 2010; Park et al., 2015; Rehn et al., 2007; Rittweger, 2010; Slatkovska et al., 2010; van der Meer et al., 2011)。



(a) 緊張性振動反射



(b) WBV刺激によるホルモン応答

Figure 2-2. WBV トレーニングの作用機序 (Cardinale and Bosco, 2003).

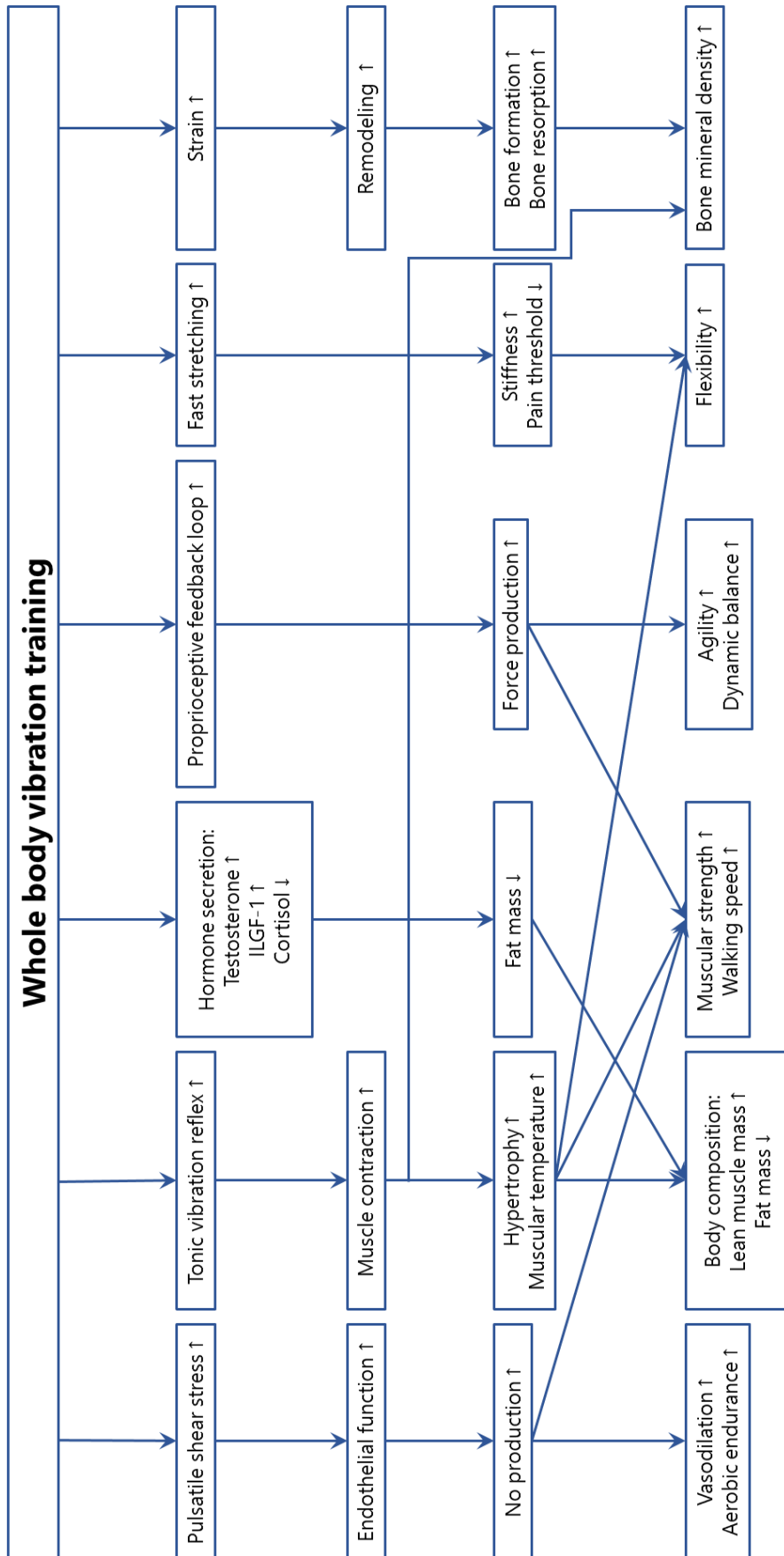


Figure 2-3. WBVトレーニングによる運動機能，身体組成への作用機序（Park et al. (2015) を著者が改変）。

### (3) WBV トレーニングの条件設定（プロトコル）

WBV トレーニングの運動負荷は、振動周波数と振動振幅の振動条件によって決まる重力加速度に加え、曝露時間および振動中の姿勢により決定する。WBV 装置は、前述したように RV 式と VV 式に大別される。それぞれの装置の一般的な振動条件は、RV 式では、低周波数（5～30 Hz）、高振幅（0～10 mm）であり、VV 式では、高周波数（25～50 Hz）、低振幅（2～4 mm）を用いるが、RV 式、VV 式とそれぞれ振動のタイプは異なっても等しい重力加速度を得ることができる（Delecluse et al., 2003）。振動によって生じる重力加速度は、振動振幅 2 mm、振動周波数 30 Hz の振動条件で VV 式装置を利用した場合、2.2～2.8 g の重力加速度が得られると言われている（Bemben et al., 2010）。

振動周波数については、1990 年代の振動トレーニング研究初期に、高振幅・低周波の振動が頭部や臓器との共鳴による不快感をもたらすことが報告され、低振幅（< 5 mm）・高周波数（> 20 Hz）域の設定が一般的に用いられるようになった（Bovenzi et al., 1991; Issurin et al., 1994; Mester et al., 1999）。また、50 Hz を超える高周波数では、体重の 5 倍以上の負荷が加わり高齢者には負担となるとも言われている（Tsuji et al. 2014）。一方、WBV トレーニングの効果を引き出す最適周波数に関して、筋力と筋パワーが最大化される周波数は 30～50 Hz との報告（Lamont et al., 2010; Luo et al., 2005）や効果的な範囲は 20～40 Hz であり、高齢者には 40 Hz

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

周辺が最適との報告 (Wei et al., 2016), さらには, 30 Hz もしくは 50 Hz が有効であり, 35 Hz および 45 Hz では効果がみられなかったとの報告 (Bedient et al., 2009) もあるが, 安全面を含めると, 30~40 Hz が有力であると考えられる.

振幅については, 振幅が大きくなることに比例して重力加速度は大きくなり, 筋活動を活性化させるが (Hazell et al., 2007; Marin et al., 2009; Torvinen et al., 2002a, 200b), 高振幅・低周波数の振動条件下において不快感を訴える報告 (Bovenzi et al., 1991; Issurin et al., 1994; Mester et al., 1999) がなされており, 5 mm を下回ることが望ましい. 5 mm 以下の振幅の比較では, Marin et al. (2009) は 2 mm よりも 4 mm の振幅が筋力に有効と報告している.

運動動作 1 回あたりの曝露時間について Da Silva-Grigoletto et al. (2011) によれば, 30 秒, 60 秒, 90 秒の振動曝露後のジャンプ力を比較したところ, 30 秒, 60 秒において有意に改善すると報告している. より長時間曝露が有効であると示す報告 (Stewart et al., 2009; Wei et al., 2016) もあるが, 長時間の曝露は疲労を示すことが指摘され (Rittweger et al., 2000), 動作 1 回あたりの曝露時間は 30~60 秒が適していると考えられる.

振動中の姿勢については, 静的運動, 動的運動などさまざまな動作があり, 一定の見解は得られていないものの, 振動刺激中の運動による筋活性は相乗的に作用し (Abercromby et al., 2007; McBride et al., 2010;



Roelants et al., 2006), 膝屈曲角度によって下肢の各部位の筋活動が変化することが述べられている (Cochrane 2011; Ritzmann et al., 2013).

Abercromby et al. (2007) は, 安全性の観点から, 膝屈曲角度によって頭部への振動の伝達率が異なることからハーフスクワット (膝屈曲角度 20~30度) を維持することが望ましいことを報告している.

WBV トレーニングは, 個々の対象者によってその応答が様々であり, 個々の状態に合わせ, 効果と安全性のバランスがとれたプロトコルを設定することが肝要である (Di Gimiani et al., 2009).

### (4) WBV トレーニングの効果

WBV トレーニングの効果は Table 2-2 に示すようにいくつかの先行研究でも報告されている. 高齢者の運動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 (Gomez-Cabello et al., 2013a). 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 (Bautmans et al., 2005; Kessler et al., 2014; Ochi et al., 2015; Sievanen et al., 2014; 辻ら, 2012).

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

Roelants et al. (2004a) は、89名の閉経後女性をWBVトレーニング群、レジスタンストレーニング群、コントロール群の3群に分け、24週間の介入を施行し、膝筋力、パフォーマンスの評価をおこなっている。WBVトレーニング群、レジスタンストレーニング群は介入前に比べて、介入中期および介入後の膝筋力、垂直跳び高さは有意に増加し、また、WBVトレーニング群の筋の運動速度が介入によって改善していること示している。Rehn et al. (2007) はそのレビューで、日常的にトレーニングをおこなっていない人や中高年女性における長期間のWBVトレーニングが下肢筋力に良い影響を及ぼすと述べている。

上記のような運動機能への効果のメカニズムは先行研究で考察されている。筋力、筋パワーは、本節(2)項でも記述したように、WBV刺激によって生まれる重力加速度負荷と緊張性振動反射による不随意かつ持続的な筋収縮、インスリン様成長ホルモン(IGF-1)やテストステロンの分泌促進(Bosco et al., 1999a, 2000; Cardinale et al., 2010; Kvorning et al., 2006)、さらには、固有受容器のフィードバックループ(Delecluse et al., 2003)の関連が報告されている。また、敏捷性やバランス能力については、WBV刺激が固有受容器を刺激し(Fontana et al., 2005)、脊椎反射を促進させると言われている(Kipp et al., 2011)。また、主運動によって生じるであろう重心動揺を事前に最小限に抑えるために姿勢を調整する先行随伴性姿勢調節(Massion, 1992)、つまり、身体バランスの予期せぬ外

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

乱に対して転倒を回避する能力が向上することが関連していると考えられる。柔軟性については、WBV刺激により腱や結合組織を機械的に伸長させること (Kubo et al., 2001, Morse et al., 2008), 筋肉エネルギー代謝による筋温の上昇 (Cochrane et al., 2008a), さらには、1965年に Melzack and Wall が提唱したゲートコントロール理論による痛み伝達の抑制によるものと考察される。歩行速度や持久性については、WBV刺激による筋力、筋パワーの増加に加え、振動によって血管に対し機械的なせん断力が発生し、血管内皮機能を亢進 (NO産生) したこと (Park et al., 2015) や WBV トレーニングによる継続的な筋の収縮・弛緩が筋ポンプ作用の促進や血管弾性を向上させた結果、血管拡張や血流促進の効果となり、有酸素能力が向上したものによると考えられる。

身体組成の筋量については、週3回、1年間の WBV トレーニングにより高齢男性の大腿筋量が増加した報告 (Bogaerts et al., 2007b) や、週3回、8か月間の WBV トレーニングによって閉経後高齢女性の全身脂肪率の低下、全身除脂肪量の増加、さらに、上肢除脂肪量、体幹除脂肪量の局所的な増加を報告した研究 (Fjeldstad et al., 2009) がみられる。そのほかの先行研究でも長期の WBV トレーニングによる閉経後高齢女性の全身脂肪率の低下、腹部脂肪量の減少 (von Stengel et al., 2012) や全身脂肪量の減少 (Vershueren et al., 2004) を報告している。筋力、筋パワー増加

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

のメカニズムと同様に，緊張性振動反射による不随意かつ持続的な筋収縮，ホルモン分泌によるものである．

一方，骨密度については，骨強度の低下が著しい閉経後の女性を対象に6～12か月間の長期介入研究がいくつかおこなわれている．Russo et al.

(2003)は，WBV群の脛骨の骨密度はコントロール群に比べ，その骨損失が有意に抑制されることを示している．プラセボ群に比べ，WBV群の大腿骨頸部，大腿骨転子，脊椎，橈骨の骨損失が抑制され，体重65 kg以下，コンプライアンス率86%の対象者で抑制の効果が特に高い結果をRubin et al. (2004)が報告している．さらに，Verscheueren et al. (2004)

はWBVトレーニング群，レジスタンストレーニング群，コントロール群を対象とした3群比較をおこない，WBVトレーニング群の股関節部の骨密度は増加し，そのほかの2群では骨損失を認め，Gusi et al. (2006)は大腿骨頸部，大腿骨転子の骨密度はWBV群で増加し，ウォーキング群で低下していることを報告している (Gusi et al., 2006)．このように閉経後

女性では骨損失の抑制の結果が確認され，動物実験でも効果が報告されている．先行研究は，成熟マウスに対して重力加速度0.3 gの振動負荷を15分／日，8週間にわたって曝露したところ，骨髓体積，海綿骨体積が，対照マウスに比べ10～13%増加し，破骨細胞による骨吸収の抑制の関連を示している (Xie et al., 2006, 2008)．これら骨密度に及ぼす効果の作用機序は骨へのひずみによるリモデリング促進，重力加速度負荷による骨

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

細胞への刺激により，骨形成および骨吸収が生じ適応したものであると考えられる (Rehn et al., 2007; Rittweger, 2010; Schiessl et al., 1998; Schonau et al., 2002).

WBV トレーニングによる運動機能および身体組成に対し好影響が期待されるが，WBV トレーニング実践中に，かゆみ，めまい，不快感，浮腫などの訴えが生じたとの報告もあり (Broadbent et al., 2008; Crewther et al., 2004; Cronin et al., 2004; Hazell et al., 2007; Kerschhan-Schandel et al., 2001; Rittweger et al., 2000; Roelants et al., 2004b; Russo et al., 2003)，膝関節屈曲などの姿勢保持 (Abercromby et al., 2007) や曝露時間への注意が必要である。正しく実践される WBV トレーニングは短時間，低負荷で効果を得ることができ，コンプライアンスが高く (Bogaerts et al., 2007b)，脱落例や重大事故の報告も少ないトレーニング方法 (Cochrane et al., 2010) であり，移動能力制限，関節痛，低栄養を有する虚弱前段階の高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲が低い高齢者など何らかの理由で運動実践が困難な高齢者の利用が期待できる。

Table 2-2. 高齢者を対象とした V 型装置による WBV トレーニング研究 (Merriman and Jackson (2009) から著者が一部抜粋)

Study	Subject & age	Duration	Parameters	Study design	Main outcome measure	Results
Bautmans et al., 2005	Nursing home residents (n = 24, (men=9, women=15) ) Mean Age = 77	6 weeks	30-40Hz 3 session/wk Each session = 30-60 sec for 2-7 total min with 30-60 sec rest breaks	Control--progressive lower limb ex + motor sound audio tape of WBV while standing on inactive WBV unit Intervention--WBV = progressive lower limb ex	Timed Up and Go (TUG) POMA Dominant hand grip strength Back scratch Chair sit-and-reach Isokinetic bilateral leg extension	Significant improvement with WBV group with both Timetti (balance & total sections) and TUG No significant changes with hand grip strength, back scratch, chair sit-and-reach and isokinetic bilateral leg extension
Bogaerts et al., 2007	Community-dwelling men older than 60 years (n=97) Mean Age +68	1 years	35-40Hz 3 sessions/wk Each session 40 min	Control--no lifestyle change Fitness (FIT)--1.5 hr of ex, 3x/wk WBV Intervention--WBV = ex; note that ex was a maximum of 40 min during WBV intervention Fitness (FIT)--1.5 hr of ex, 3x/wk	Isometric knee extension Explosive strength using counter movement jump (CMJ) Muscle mass of R upper thigh	Significant increase with isometric knee extension in FIT and WBV groups Significant increase with explosive strength in the FIT and WBV groups Significant increase with muscle mass in FIT and WBV groups Note that the training effects were similar between the FIT and WBV groups for all 3 outcome measures
Roelants et al., 2004	Community-dwelling postmenopausal women (n = 89) Mean Age = 64	24 weeks	35-40 Hz 3 sessions/wk each session = 30-60 sec for 3-30 min total with 5-60 sec rest breaks; WBV times progressed during study	Control--no ex or no WBV Resistance group (RES)--progressive total body ex WBV Intervention--WBV = progressive total body ex	Knee extensor strength-- isometric & dynamic Knee extensor speed of movement Explosive strength using counter movement jump (CMJ)	Significant increases with isometric and dynamic knee extensor strength as well as explosive strength in both RES and WBV groups Significant increase in knee extensor speed of movement at lower resistance levels in only the WBV group Most of the gains in knee extensor strength & speed of movement and in CMJ explosive strength observed at 24 weeks were realized after just 12 weeks of training
Verschuere et al., 2004	Community-dwelling postmenopausal women (n = 70) Mean Age = 64	24 weeks	35-40 Hz 3 sessions/wk each session = up to 30 min WBV including warmup and cool down; WBV times progressed during study	Control--no ex Resistance group (RES)--progressive lower extremity ex for 1 hour WBV Intervention--WBV = progressive lower extremity ex	Bone mineral density (BMD) of hip, lumbar spine and total body Lean body mass, fat mass, % fat Isometric & dynamic knee extension strength Bone markers--osteocalcin (formation) & C-telopeptide (resorption)	Significant net benefit with hip BMD in WBV group only; no significant change in total body and lumbar spine with any group Significant decreases in fat mass with both RES and WBV groups Significant increases with isometric and dynamic knee extensor strength in both RES and WBV groups No significant changes with bone markers

## 第3章 測定項目と測定方法

### 第1節 形態

形態指標として、身長計、YG-200(ヤガミ社, 愛知)を用いて0.1cm単位で身長を、体重は、研究課題1では体組成計、DC-190(TANITA社, 東京)を用いて測定し、研究課題2および研究課題3では二重エネルギーX線吸収法(dual-energy X-ray absorptiometry: DEXA)により測定した。そして、本研究において算出したbody mass index: BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )は、WHOにおける肥瘦の基準として使用され、我が国の国民栄養調査の肥瘦の基準に使用されているQuetelet指数を用い、求めた体重(kg)を身長(m)の2乗で除すものとした。

## 第2節 運動機能テスト

本博士論文では、運動機能は、Figure 3-1に示すように敏捷性・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6項目（アップ&ゴー、30秒椅子立ち上がり、連続上腕屈伸、椅座位体前屈、バックスクラッチ、6分間歩行）が含まれる senior fitness tests (Rikli et al., 2000) に加え、相羽ら（2015）の多関節複合動作による最大下肢伸展筋力を測定した。測定の際には、問診によって当日の体調を確認するとともに、体力測定に精通し、定期的に研修を受けている測定スタッフが安全性に十分に留意した。また、測定で補助や支えを必要とした場合はその旨を記録した。各測定項目は下記に示すとおりである。

### (1) アップ&ゴー（敏捷性・動的バランス）

背もたれのついた椅子から 2.44 m 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。

### (2) 30 秒椅子立ち上がり（下肢筋力）

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。

#### **(3) 連続上腕屈伸（上肢筋力）**

重さ2kg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、30秒間におこなった反復回数を計測した。

#### **(4) 椅座位体前屈（下肢柔軟性）**

背もたれのない椅子に浅く座り、利き脚を伸展するよう教示した。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。

#### **(5) バックスクラッチ（上肢柔軟性）**

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) 6分間歩行（全身持久性）

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。

#### (7) 多関節複合動作による最大下肢伸展筋力

多関節複合動作による下肢筋力測定は、高齢者の測定中の負担軽減プロトコルとして検討された（相羽ら, 2015）。98~4,905 N（10~500 kg）の筋力検出、0.0~1.3 m/s の速度検出が可能で、10 m/s の時間分解能で制御されるサーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いた筋力測定機器、パワーメータ（メディモワールド社、福井）を利用した。相羽ら（2015）および Yamauchi et al.（2007）の方法を参考にし、Figure 3-2 に示すように、対象者は座面と背もたれのなす角度を120度に設定された椅子に体幹、脚部などの固定をしない状態で座り、左右脚ならびに両脚にてそれぞれ膝・股関節の伸展動作であるレッグプレスをおこなった。レッグプレス動作の開始点は、膝関節90°屈曲位とし、動作終了点は、膝関節が完全伸展位とならない軽度屈曲位とした。測定は、3つの設定速度（0.1 m/s, 0.5 m/s, 0.8 m/s）においてそれぞれ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う。筋力および下肢伸展運動中の実速度は、サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータを用いた筋力測定機器の電磁トルクモータから検出、記録された。測定は、0.5 m/s, 0.8 m/s, 0.1 m/s の順

### 第3章 測定項目と測定方法

におこない、各測定間で30秒間の休息を設けている。対象者に最大努力を発揮させるために、測定中は対象者に対して声かけをおこない、両手は座面に設置されたグリップを把持させた。すべての測定は、測定を熟知した同一の検者が担当した。

評価項目は、膝関節90度屈曲位から膝関節軽度屈曲位までの可動範囲において筋力が安定する80%地点の筋力と実速度とした（相羽ら, 2015; Yamauchi et al., 2007）。各設定速度において測定した実速度および筋力をプロットし、速度-力関係の近似直線を作成した。速度軸との切片(0 m/s)の値を最大等尺性膝・股関節伸展筋力、すなわち多関節複合動作による最大下肢伸展筋力 (maximum isometric lower-extremity extension force of multi-joint) として推定した（相羽ら, 2015）。

### 第3章 測定項目と測定方法

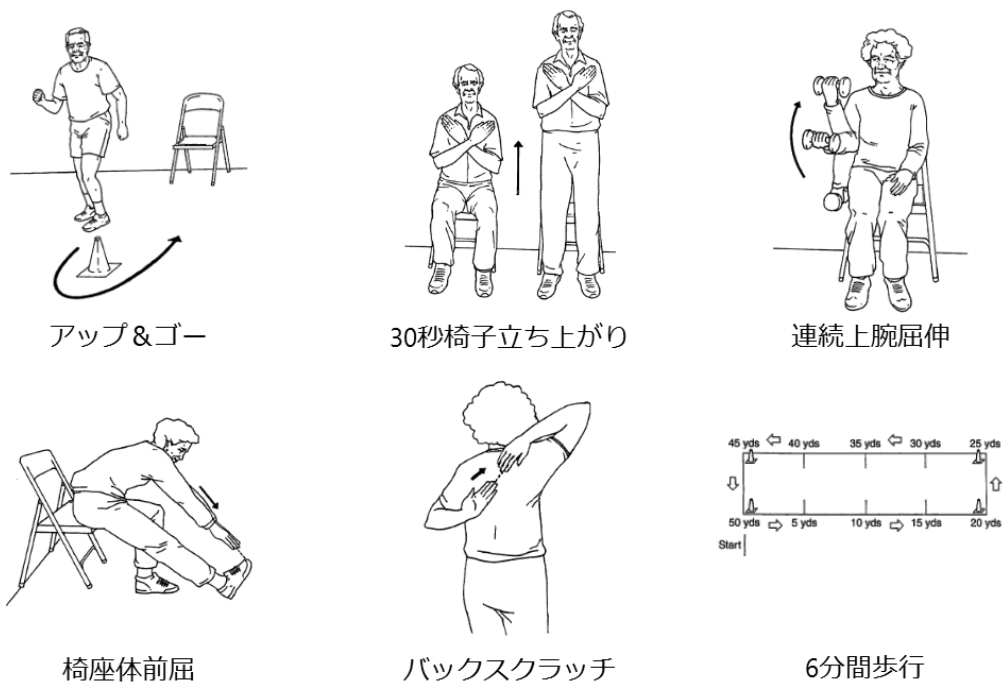


Figure 3-1. 運動機能テスト (Rikli et al., 2000).



Figure 3-2. サーボ制御式膝・股関節ダイナモメータ筋力測定器 (相羽ら, 2015).

### 第3節 面接法による調査項目

性、年齢、服薬数、過去1年間の既往歴、関節痛、運動習慣に関する基本情報および健康関連情報を個別に聴取した。服薬数は、医師から処方された医療用医薬品とし、薬局等で購入した一般用医薬品や医薬部外品、サプリメントは除外した。既往歴として心疾患（不整脈、心不全、虚血性心疾患）、高血圧、糖尿病、呼吸器疾患、高脂血症、骨粗鬆症等について、関節痛として肩関節痛、肘関節痛、腰痛、股関節痛、膝関節痛、足関節痛、腰痛等について、それぞれの有無（有：1，無：2）を確認した。さらに、基本チェックリストの運動器の機能向上5項目のうち、階段昇段（手すりや壁をつたわずに階段を続けて10段昇ることができますか）、歩行（休まずに400 m（15分）を続けて歩くことができますか）の2項目においては、それぞれ「十分できる」「少しむずかしい」「全然できない」の3件法で確認し、「十分できる」との回答を確認した。

#### 第4節 身体組成

脂肪量，除脂肪量，骨塩量の3組成モデルで求められる身体組成を測定した．DEXA法によりX線骨密度測定装置，QDR-4500A（Hologic社，東京）を用い，全身測定モードを用いた．

身体組成の測定項目は，Figure 3-3に示したようなカットラインを設定し，重量，脂肪量，脂肪率は頭部を除く全身，除脂肪量は頭部を除く全身だけでなく，上肢，下肢の部位において測定した．BMDにおいては，頭部を除く全身，上肢，股関節を含む骨盤部，下肢の部位において測定した．各身体組成の測定に際しては，測定の2時間前から飲食を控えるように指示し，測定前には，身に付けていた金属類を外し，測定用の衣服に着替えさせた．測定肢位は仰臥位で，掌を下向きにしてベッドに密着させた．測定時間は約15分であった．

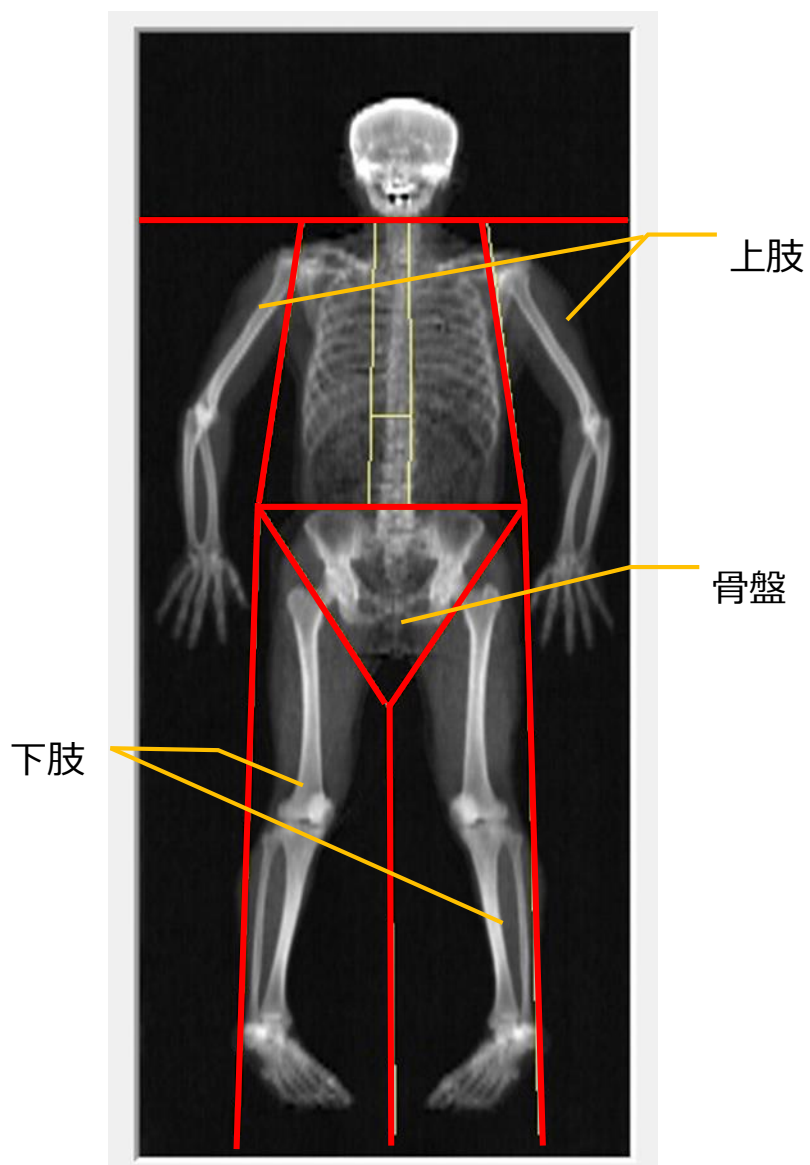


Figure 3-3. 身体組成を各部位に分けるカットライン.

## 第5節 研究課題の設定

本博士論文の目的を達成するにあたり，研究課題を以下のように設定した。

### 研究課題1 WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

全身振動刺激を用いた WBV トレーニングが敏捷性，歩行能力，持久性，筋力などに好影響をもたらすことを前章までに述べてきた。本研究では，WBV トレーニングを主とした運動プログラムが，下肢筋に対する持続的な筋収縮や固有受容器刺激を誘発し，敏捷性・動的バランス，下肢柔軟性，全身持久性，下肢筋力に好影響を与え，高齢者に推奨される一般的なトレーニングと同等の効果を有するとの仮説のもと，WBV トレーニングを主とした運動プログラムと中等度のウォーキングを主とした運動プログラムを提供し，高齢者の運動機能，下肢筋力に及ぼす影響について検討した。

### 研究課題2 WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

全身振動刺激を用いた WBV トレーニングが運動機能のみならず，大腿筋量の増量や股関節や下腿骨の骨密度の改善を示すことを前述した。本研究では，研究課題1を踏まえ，WBV トレーニングを主とした運動プログラムが WBV 刺激による下肢筋力の持続的な収縮が下肢筋力の増量，下



肢骨密度の改善を示し、その中でも下肢骨密度は一般的な運動よりも高い効果を得るとの仮説に立ち、中等度のウォーキングを主とした運動プログラムとの比較から WBV トレーニングを主とする運動プログラムが身体組成に及ぼす影響を明らかにする。

#### 研究課題3 WBV トレーニングと肥瘦度の関係

研究課題3では、研究課題1および研究課題2を踏まえて、体重減少をともなわずに運動機能および身体組成を維持・改善させることに着目し、肥瘦度の観点から WBV トレーニングを主とした運動プログラムの適応可能性を検討する。ここでは、WBV トレーニングを主とした運動プログラムが低栄養、低体重や痩せ傾向高齢者の運動機能、身体組成に対して有効であるとの仮説を立てている。

## 第4章 研究課題1

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

関連論文：相羽ら（2016）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．

#### 第1節 緒言

適切な運動実践は，運動機能を向上させ，慢性疾患のリスク抑制に有効であり（Haskell et al., 2007; Nelson et al., 2007），特に高齢者の虚弱化を予防し，自立に必要な生活機能を維持する上でも極めて重要である（大須賀ら，2015）．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（American College of Sports Medicine, 2009b）．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（American College of Sports Medicine, 2009a; Steib et al., 2010）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（Cardinale and Wakeling, 2005; Yamazaki et al., 2004）．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

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

動の種目の一つである（文部科学省，2013; Morris and Hardman, 1997）。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（Okubo et al., 2015），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（Sherrington et al., 2008; Wijnhuizen et al., 2010）。

近年，全身振動刺激を用いた 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（田中ら，2013）。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，膝関節痛を抱え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運動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（Gomez-Cabello et al., 2013a）。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 BMD を有意に増加させることが報告されている（Slatkowska et al., 2010）。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

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

とは言い難い (Merriman and Jackson, 2009; Sitja-Rabert et al., 2012). WBV 刺激を用いた運動プログラムの運動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，転倒リスクや健康状態の悪化リスクが高いためにウォーキングを主とした運動プログラムが難しい高齢者に向けた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 トレーニングを主とした運動プログラムが高齢者の運動機能および下肢筋力に及ぼす影響について，中等度の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。

## 第2節 方法

### (1) 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（大須賀ら，2015）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，運動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，研究にともな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，たうえて，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Table 4-1に示した。対象は高齢夫婦を対象とした研究（大須賀ら，2015）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トレーニングを主としたWBVトレーニング群（WBV群）18名”，“中等度のウォーキングを主としたウォーキング

## 第4章 研究課題1

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

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 日以上以上の運動習慣がある，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（大須賀ら，2015）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（承認番号 体 23-33 号）。

WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

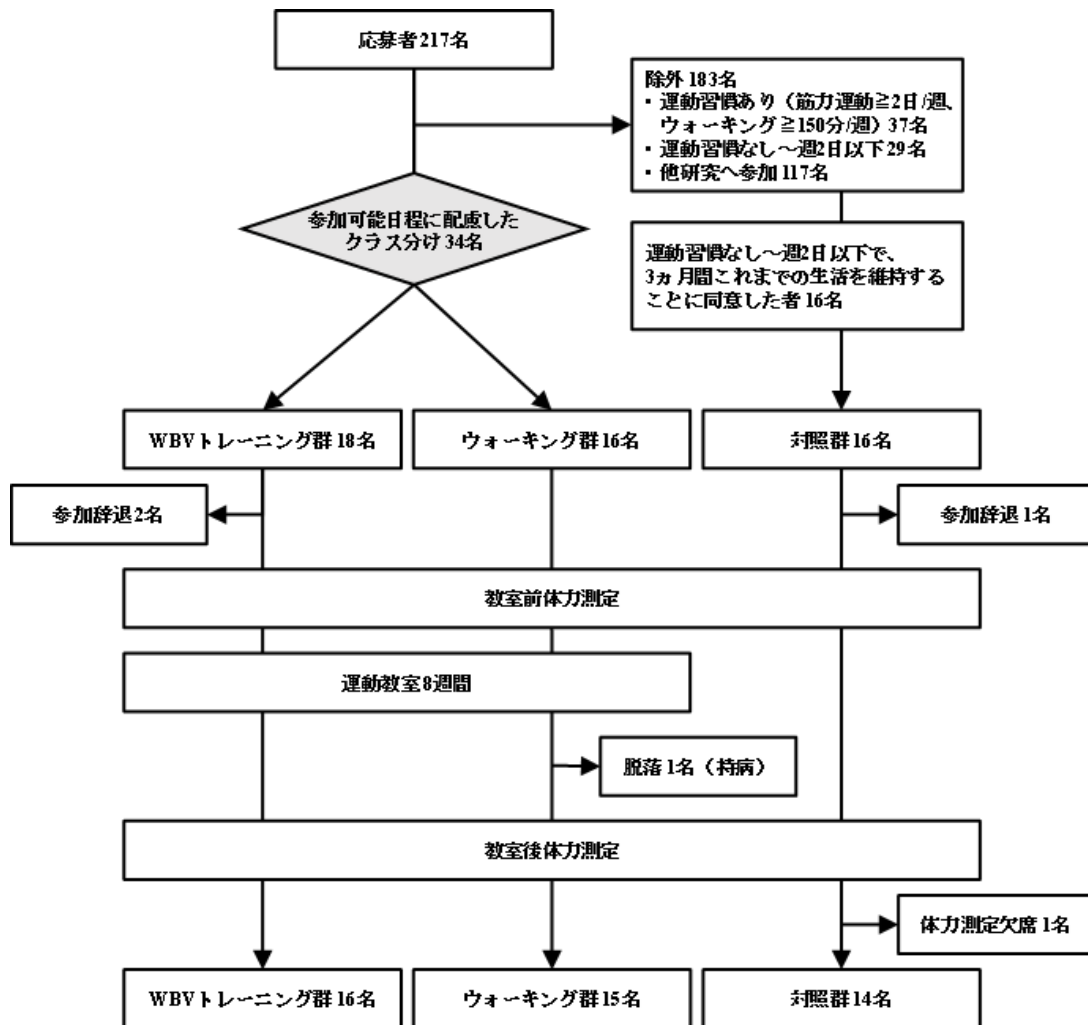


Figure 4-1. 研究フローチャート.

(2) 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，VV 式の WBV マシン，PowerPlate

## 第4章 研究課題1

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

Pro5（プロティア・ジャパン社，東京）を用いた（Figure 4-2）．第2章第3節（3）項で示したように先行研究（Bedient et al., 2009; Bovenzi et al., 1991; Issurin et al., 1994; Mester et al., 1999; Ronnestad, 2009; Tsuji et al., 2014; Turner et al., 2011）に基づき，振動条件は，振動振幅 2 mm，振動周波数 30~40 Hz に設定し，振動するプラットフォームに身体の各部位を接触させた状態で静的・動的な自重負荷運動を 20 分程度おこなった．負荷時間は 1 動作あたり 30 秒，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．振動プラットフォーム上での自重負荷運動の強度は，2 週間ごとに漸増するよう配慮した．自重負荷運動には先行研究（Bautmans et al., 2005; Bemben et al., 2010; Roelants et al., 2006; 辻ら, 2012）に加え，著者の高齢者運動での実践経験をもとに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の向上，骨への機械的負荷を目的とした種目を中心に提供した．さらに，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，中等度のウォーキングを提供した．ウォーキングは屋外にておこなうこと



## 第4章 研究課題1

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

とし，WHO（2010）やアメリカスポーツ医学会（2009b）の指針をもとに自覚的運動強度が「ややきつい」（中等度）以上となるよう歩行速度約9～約10.5分/kmと漸増させ，40分程度の時間を求めた．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維持することを求め，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．

WBV トレーニングが運動機能, 下肢筋力に及ぼす影響



Figure 4-2. 全身振動刺激を用いたトレーニング（スクワット）の様子（相羽ら, 2016）.

WBV トレーニングが運動機能、下肢筋力に及ぼす影響

Table 4-1. 全身振動刺激によるトレーニングの運動種目 (相羽ら, 2016).

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	カープリラクセーション, バックリラクセーション	40	45	
	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			
2 → 3 週	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	30	30	
	クーリングダウン	カープリラクセーション, ヒップストレッチ, バックリラクセーション			
	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		カープリラクセーション, ヒップストレッチ, バックリラクセーション	40	45	
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			
6 → 8 週	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	30	30	
	クーリングダウン	カープリラクセーション, ヒップストレッチ, バックリラクセーション			
	漸増期	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		カープリラクセーション, ヒップストレッチ, バックリラクセーション	40	45	
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			

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

#### (3) 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，運動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，体重，BMIを計測し，運動機能は，senior fitness tests (Rikli et al., 2000) 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，上肢柔軟性，下肢柔軟性，持久性をアップ&ゴー，30秒椅子立ち上がり，連続上腕屈伸，椅座位体前屈，バックスクラッチ，6分間歩行にて評価した．さらに，多関節複合動作による最大下肢伸展筋力を測定した．すべての測定は訓練を受けた検者がおこなった．これらはすべて，第3章「測定項目と測定方法」に示した手法によりおこなった．

#### (4) 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，運動機能，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の分散分析を適用した．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，二元配置の分散分析を用いた．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，

**WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響**

統計的有意水準は 5% に設定した。

## 第3節 結果

### (1) 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  $94.5 \pm 7.9\%$ ，W 群  $85.0 \pm 15.1\%$ 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 ( $P=0.039$ )．また，8 週間の運動実践を提供した WBV 群，W 群において有害事象はなかった．

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  $1.5 \pm 1.5$  日/週，W 群で  $2.0 \pm 2.1$  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  $5.5 \pm 1.1$  日/週，W 群で  $5.9 \pm 1.2$  日/週であった．対応のない *t* 検定をおこなったところ，それぞれについて両群間に有意な差はみられなかった ( $P>0.05$ )．

### (2) 運動機能および筋力測定

Table 4-2 に教室前における各群の基本情報，形態，運動機能および筋力測定値を示した．これらの項目において WBV 群，W 群，C 群の間に有意な群間差はみられなかった．

Table 4-3 には，教室前後の各群の運動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

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

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．最大下肢伸展筋力は有意な改善がみられなかった．

効果量は Table 4-3 に示すように WBV 群で Cohen's  $d=-0.39\sim 0.54$ ，W 群で Cohen's  $d=-0.60\sim 0.79$ ，C 群で Cohen's  $d=-0.19\sim 0.36$ であった．

二元配置の分散分析の結果，30秒椅子立ち上がり ( $P=0.046$ )，バックスクラッチ ( $P=0.036$ )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た．そのほかの測定項目では，有意な交互作用はみられなかった．

## 第4章 研究課題1

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

Table 4-2. 基本情報，形態および運動教室前の運動機能・筋力測定結果.

	WBV 群, n=16	W 群, n=15	C 群, n=14	P
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 <sup>2</sup>	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 (27%)	7 (50%)	0.409
疾患, n (%)				
高血圧症	7 (44%)	4 (27%)	7 (50%)	0.409
糖尿病	3 (19%)	3 (20%)	0 (0%)	0.208
心疾患	2 (13%)	1 (7%)	3 (21%)	0.501
呼吸器系疾患	2 (13%)	1 (7%)	0 (0%)	0.392
高脂血症	2 (13%)	3 (20%)	2 (14%)	0.837
骨粗鬆症	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	—
関節痛を有している, n (%)	6 (38%)	7 (47%)	7 (50%)	0.647
階段, n (%)	16 (100%)	13 (87%)	10 (71%)	0.072
歩行, n (%)	15 (94%)	15 (100%)	14 (100%)	0.396
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
最大下肢伸展筋力, N	1234.8 ± 367.5	1215.7 ± 461.7	1064.5 ± 415.6	0.505

平均値 ± 標準偏差, BMI: body mass index, 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



WBV トレーニングが運動機能、下肢筋力に及ぼす影響

Table 4-3. 運動教室前後の運動機能・筋力測定結果.

	WBV 群												C 群			交互作用 P
	WBV 群				W 群				C 群							
	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 <sup>2</sup>	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**	-0.06	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			
バックストラッチ, 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			
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			

平均値 ± 標準偏差, BMI: body mass index, 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 vs. 教室前, \*\* P<0.01 vs. 教室前

#### 第4節 考察

本研究では，8週間の運動教室を開催し，WBV群，W群，C群の教室前後の運動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，中等度のウォーキングを主とした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わずかではあるが，両運動プログラムの効果が表れ，固有受容器への刺激や筋収縮による予測姿勢制御，適応がメカニズムとして作用したものと考えられる（Torvinen et al., 2003; Verschueren et al., 2004）。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群と概ね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示されたと考えている。最大下肢伸展筋力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

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

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，中等度の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. (2005) 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，高齢者の運動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たことを報告している (Bautmans et al., 2005)。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 (Bautmans et al., 2005)，筋温度の上昇，軟部組織の弾性向上 (Cochrane et al., 2010; van den Tillaar, 2006) 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 (田中ら, 2013)。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 (Burke et al., 1976; Yue and Mester, 2002)。ま

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

た，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，振動刺激をともなう上肢の筋収縮により，連続上腕屈伸においても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（Boo et al., 2016）。そのため，上肢柔軟性を目的とするようなりハビリテーションにおいて，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運動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（Gomez-Cabello et al., 2013a）。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（Bautmans et al., 2005; Kessler et al., 2014; Ochi et al., 2015; Sievanen et al., 2014; 辻ら, 2012）。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（Bautmans et al., 2005; Kessler et al., 2014; Ochi et al.,

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

2015; Sievanen et al., 2014; 辻ら, 2012) 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. (2005) 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，Kessler et al. (2014) 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，本研究の結果と一致している。一方，Bogaerts et al. (2007b) 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。本研究では，いずれの群でも最大下肢伸展筋力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するには 8 週間という期間が十分ではなかった可能性があり (Kessler et al., 2014)，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 WBV トレーニングがもたらしうる下肢筋機能の改善について検討する。Raimundo et al. (2009) は，運動習慣のない閉経後女性に対し，20～25 分／回の WBV をおこなう WBV 群と 60 分／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 か月間にわたり運動を実践し，4 m 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 4 m 歩行，椅子立ち上がりが改善し，4 m 歩行，椅子立ち上がりは

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

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（Raimund et al., 2009）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（Raimund et al., 2009）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（Kawanabe et al., 2007）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 BMD，バランス能力を比較した研究（Gusi et al., 2006）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による不随意的かつ持続的な筋収縮（東原ら，2009），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（Kawanabe et al., 2007）．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中等度のウォーキン

### WBV トレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

グ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 (Roelants et al., 2006)，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 (Ochi et al., 2015) 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ング効果に加え，ウォーキング中の体幹ねじり，そして股関節や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 (Saulicz et al., 2015)。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 (Bautmans et al., 2005)，筋温度の上昇，軟部組織の弾性向上 (Cochrane et al., 2010; van den Tillaar, 2006) 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，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向上 (van der Meer et al., 2011)，全身血液循環の変化 (Cochrane et al., 2008b) 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 (Rittweger et al., 2001)，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。

### WBVトレーニングが運動機能，下肢筋力に及ぼす影響

なお，WBV群も週に $1.5 \pm 1.5$ 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トレーニングを主とした運動プログラムと中等度のウォーキングを主とした運動プログラムを比較した研究は，下肢筋力やバランスに関するものに限られており，柔軟性や持久性を含めた運動機能に関して検討をおこなったのは本研究が初めてである．



## 第5節 結論

本研究では，WBV トレーニングを主とした運動プログラムが高齢者の運動機能および下肢筋力に及ぼす影響について，中等度の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 トレーニングを主としたプログラムは，上肢柔軟性への特異的な効果を示す一方，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中等度の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．高齢者に向けた全身振動刺激を用いた運動プログラムは，移動能力制限，関節痛を有する虚弱前段階の高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲の低い高齢者など何らかの理由でウォーキング等の一般的な運動が実践できない高齢者に向けて上肢柔軟性などを向上させたい場合に有効であろう．

## 第 5 章 研究課題 2

### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

関連論文：相羽ら（2017）全身振動刺激を用いた運動プログラムが高  
齢者の体組成に及ぼす効果．介護福祉・健康づくり研究．

#### 第 1 節 緒言

骨量の減少は，40 歳台から徐々に始まり，55～59 歳を過ぎると急激に減少する（日本骨代謝学会，日本骨粗鬆症学会合同原発性骨粗鬆症診断基準改訂検討委員会，2013）．筋量も，70～80 歳台では 20～30 歳台と比較して，約 30～40% 減少する（荒井，2016；Lexell et al., 1988）．このように骨や筋肉の量的減少の進行により，骨では骨粗鬆症，筋肉ではサルコペニアが発生する（原田，2014）．骨粗鬆症やサルコペニアは，転倒・骨折，日常生活動作障害，虚弱化，要介護状態や寝たきり，さらには死亡のリスクを増加させることが報告されている（Cawthon et al., 2007；Laurentani et al., 2003；Rolland et al., 2008；Topinkova, 2008）．したがって，骨量，筋量の減少を早期に予防し，維持・改善に努めることは高齢期の生活機能の維持や虚弱化および要介護化予防のために重要である．

高齢期における運動実践は，骨量や筋量の減少を抑制し，維持する上で有効である（Tolomio et al., 2008；Walston, 2012）．近年，身体的に虚弱

## WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

な高齢者でも安全に実践可能な運動として WBV トレーニングが利用され、高齢者の筋力やバランス、歩行能力などの運動機能への有意な改善効果が報告されている（相羽ら, 2016; Gomez-Cabello et al., 2013a）。WBV トレーニングでは、微細振動が全身に伝達することで筋線維の微細な伸縮や血流増加、痛覚の鈍化を生じるだけでなく、力学的に骨細胞を刺激することができると考えられる（田中ら, 2013）。そのため、WBV トレーニングは高齢者が一般的に実践している運動種目（例えば、ウォーキングやラジオ体操など）よりも筋量、脂肪量、骨密度等の身体組成に与える影響が大きい可能性がある。WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響については、若年者を対象とした研究を礎に、骨密度や筋量に対する有効性が報告されてきた（Gilsanz et al., 2006; Milanese et al., 2012; Roelants et al., 2004b）。近年、高齢者を対象とした研究も増えてきたが、WBV トレーニングのプロトコル（例えば、振動の振幅や周波数、運動の種類、姿勢など）が大きく異なるため、効果に関する一致した見解は得られていない状況にある（Sitja-Rabert et al., 2012）。さらに、WBV トレーニングを、より一般的で手軽に実践できる運動様式と比較した際の優位性についても疑問が残されている（Bogaerts et al., 2007b; Fjeldstad et al., 2009; Gomez-Cabello et al., 2013b）。

ウォーキングは、高齢期において最も実践されている運動様式であり、骨への負荷が小さく、骨粗鬆症の予防に効果が低いとされる一方、体重

### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

を減少させ、除脂肪量が増加するとの報告がある（Gomez-Cabello et al., 2012; Nalbant et al., 2009）。WBV トレーニングの骨量，筋量への有効性を中等度のウォーキングと比較して明らかにすることは，新たな運動プログラムを提案する上で，有意義な知見を提供できる。

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組成に及ぼす影響について，中等度の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。

## 第 2 節 方法

### (1) 対象者

対象者は、研究課題 1 と同一の対象者であり、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 50 名である。対象者のクラス分け、運動プログラムの提供回数についても研究課題 1 と同一である。

分析対象者は、教室前に参加辞退を申し出た者 3 名、教室中に持病により脱落した者 1 名、測定を欠席した者 1 名、測定値が欠損していた者 2 名を除外し、WBV 群 16 名、W 群 13 名、C 群 14 名とした。

### (2) 介入内容

研究課題 1 と同一の運動を同一時期に提供した。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、整理運動からなる 1 回 90 分、週 2 回、8 週間の運動教室を提供した。W 群には、準備運動、中等度のウォーキング、レジスタンストレーニング、整理運動の 1 回 90 分、週 1 回、8 週間の運動教室を開催した。C 群には普段通りの生活を維持することを求め、本研究終了後に 8 週間にわたり WBV 群と同様の運動プログラムを提供した。

### (3) 測定項目および測定方法

運動教室前に基本情報を聴取し，教室前後には身長，体重，身体組成を測定した．身長は，身長計，体重および身体組成は DEXA にて測定し，すべての測定は訓練を受けた検者がおこなった．BMI は，体重を身長の2乗で除すことにより算出した．また，体重を除く身体組成の測定項目は，BMD，重量，脂肪率，脂肪量，除脂肪量とした．BMD は，頭部を除く全身 BMD，上肢 BMD，股関節を含む骨盤 BMD，下肢 BMD を，重量，脂肪率，脂肪量は頭部を除く全身重量，全身脂肪率，全身脂肪量を，除脂肪量は頭部を除く全身，上肢，下肢をそれぞれ算出した．これらは第3章「測定項目と測定方法」に示した手法によりおこなった．

### (4) 統計解析

データは，平均値±標準偏差で示した．教室前における3群間の各項目のデータの比較にはカイ2乗検定および一元配置の分散分析を適用した．また，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．BMI，BMD，全身重量，全身脂肪率，全身脂肪量，除脂肪量の時間経過（運動教室前後）と介入方法（WBV 群，W 群，C 群）の交互作用を検討するため，二元配置の分散分析を用いた．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% に設定した．

### 第3節 結果

#### (1) 基本情報, 運動教室への出席率および運動実践率

Table 5-1 には, 分析対象者 43 名の教室前における男女比, 年齢, 服薬状況, 疾患および関節痛の有無, 身長, 体重, BMI, 身体組成の各データを示した. すべての項目で 3 群間に有意な群間差はみられなかった.

運動教室への出席率は WBV 群が  $94.9 \pm 6.1\%$ , W 群が  $87.5 \pm 12.5\%$  と WBV 群が有意に高かった ( $P=0.046$ ). また, 教室期間中の運動実践状況については, ウォーキングの平均実践日数が WBV 群で  $1.5 \pm 1.5$  日/週, W 群で  $2.2 \pm 2.2$  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  $5.5 \pm 1.1$  日/週, W 群で  $6.1 \pm 1.1$  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 ( $P>0.05$ ).

#### (2) 骨密度

Table 5-2 に, BMI, 全身重量, 全身脂肪率, 全身脂肪量, および各部位ごとの除脂肪量, BMD の教室前後の各値を示した. すべての項目において 3 群間で有意な差はみられなかった ( $P>0.05$ ). 教室後, 全身 BMD, 上肢 BMD は WBV 群が有意な増加を示し ( $P=0.047$ , Cohen's  $d=0.06$ ,  $P=0.005$ , Cohen's  $d=0.14$ ), そのほかの項目に教室前後の有意な変化はみられなかった. 二元配置の分散分析の結果, いずれの部位でも有意な交

相互作用はみられなかった。

### (3) 脂肪量・除脂肪量

教室前の全身脂肪量および各部位ごとの除脂肪量に有意な群間差はみられなかった (Table 5-1)。教室後, WBV 群の全身重量 ( $P=0.024$ , Cohen's  $d=0.04$ ), 全身除脂肪量 ( $P=0.043$ , Cohen's  $d=0.05$ ), 上肢除脂肪量 ( $P=0.008$ , Cohen's  $d=0.06$ ), 下肢除脂肪量 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=0.13$ ) は有意に増加し, W 群 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=0.15$ ) と C 群 ( $P=0.002$ , Cohen's  $d=0.08$ ) でも下肢除脂肪量に有意な増加がみられた。一方, W 群の全身脂肪率 ( $P=0.041$ , Cohen's  $d=-0.11$ ), 全身脂肪量 ( $P=0.005$ , Cohen's  $d=-0.11$ ) は, 有意な減少を示した (Table 5-2)。そのほかの項目に統計的に有意な水準で教室前後の変化はみられなかった。

二元配置の分散分析の結果, BMI ( $P=0.042$ ), 全身重量 ( $P=0.011$ ), 全身脂肪量 ( $P=0.010$ ), 上肢除脂肪量 ( $P=0.027$ ) において有意な交互作用がみられた (Table 5-2)。BMI, 全身重量は WBV 群で増加し, W 群で減少した。全身脂肪量は, W 群が減少, C 群が増加した。そのほかの測定項目では, 交互作用は有意でなかった。



## WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

Table 5-1. 基本情報, 形態および運動教室前の身体組成測定結果.

	WBV 群, n=16	W 群, n=13	C 群, n=14	P
年齢, 歳	70.7 ± 4.9	72.6 ± 5.2	71.6 ± 4.3	0.567
身長, cm	156.1 ± 8.1	155.7 ± 10.8	158.0 ± 8.4	0.773
体重, kg	57.7 ± 12.4	57.6 ± 12.1	54.3 ± 11.8	0.699
BMI, kg/m <sup>2</sup>	23.5 ± 4.0	23.6 ± 3.2	21.5 ± 3.0	0.197
男女比, 男/女	6/10	5/8	7/7	0.753
服用している, n (%)	7 (44%)	3 (23%)	7 (50%)	0.327
疾患を有している, n (%)	11 (69%)	8 (62%)	9 (64%)	0.918
関節痛を有している, n (%)	6 (38%)	6 (46%)	7 (50%)	0.778
全身重量 <sup>a</sup> , kg	53.1 ± 12.3	52.7 ± 11.6	49.5 ± 11.2	0.663
全身脂肪率 <sup>a</sup> , %	26.9 ± 9.0	27.6 ± 7.2	23.7 ± 8.3	0.418
全身脂肪量 <sup>a</sup> , kg	14.5 ± 6.8	14.5 ± 4.6	12.0 ± 5.3	0.404
除脂肪量, kg				
全身 <sup>a</sup>	38.6 ± 9.2	38.2 ± 9.6	37.5 ± 8.5	0.950
上肢	4.3 ± 1.2	4.2 ± 1.3	4.3 ± 1.2	0.979
下肢	13.1 ± 3.1	12.7 ± 3.4	12.4 ± 3.2	0.849
BMD, g/cm <sup>2</sup>				
全身 <sup>a</sup>	0.843 ± 0.099	0.916 ± 0.183	0.871 ± 0.136	0.389
上肢	0.658 ± 0.091	0.693 ± 0.141	0.670 ± 0.113	0.714
骨盤	1.030 ± 0.140	1.141 ± 0.214	1.001 ± 0.162	0.099
下肢	1.005 ± 0.115	1.075 ± 0.237	1.059 ± 0.162	0.525

平均値 ± 標準偏差, BMI: body mass index, BMD: bone mineral density,

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, a: 頭部を除く全身

WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

Table 5-2. 運動教室前後の身体組成測定結果.

	WBV群, n=16		W群, n=13		C群, n=14		交互作用 P
	教室前	教室後	教室前	教室後	教室前	教室後	
BMI, kg/m <sup>2</sup>	23.5 ± 4.0	23.7 ± 4.2	23.6 ± 3.2	23.4 ± 3.3	21.5 ± 2.9	21.6 ± 3.0	0.042
全身重量 <sub>a</sub> , kg	53.1 ± 12.0	53.6 ± 12.2*	52.7 ± 11.6	52.2 ± 11.3	49.5 ± 11.2	49.5 ± 11.4	0.011
全身脂肪率 <sub>a</sub> , %	26.9 ± 9.0	26.7 ± 8.3	27.6 ± 7.2	26.8 ± 7.1*	23.7 ± 8.3	23.9 ± 7.7	0.087
全身脂肪量 <sub>a</sub> , kg	14.5 ± 6.8	14.5 ± 6.6	14.5 ± 4.6	14.0 ± 4.6*	12.0 ± 5.3	12.1 ± 5.2	0.010
除脂肪量, kg							
全身 <sub>a</sub>	38.6 ± 9.2	39.1 ± 9.1*	38.2 ± 9.6	38.2 ± 9.3	37.5 ± 8.5	37.4 ± 8.4	0.199
上肢	4.3 ± 1.2	4.4 ± 1.3**	4.2 ± 1.3	4.3 ± 1.4	4.3 ± 1.2	4.3 ± 1.3	0.027
下肢	13.1 ± 3.1	13.5 ± 3.1**	12.7 ± 3.4	13.2 ± 3.3*	12.4 ± 3.2	12.7 ± 3.2*	0.244
BMD, g/cm <sup>2</sup>							
全身 <sub>a</sub>	0.843 ± 0.099	0.849 ± 0.094*	0.916 ± 0.183	0.913 ± 0.187	0.871 ± 0.136	0.868 ± 0.139	0.185
上肢	0.658 ± 0.091	0.671 ± 0.089**	0.693 ± 0.141	0.696 ± 0.140	0.670 ± 0.113	0.673 ± 0.116	0.115
骨盤	1.030 ± 0.140	1.032 ± 0.136	1.141 ± 0.214	1.133 ± 0.227	1.001 ± 0.162	1.002 ± 0.164	0.597
下肢	1.005 ± 0.115	1.004 ± 0.108	1.075 ± 0.273	1.072 ± 0.230	1.059 ± 0.162	1.052 ± 0.175	0.750

平均値 ± 標準偏差, BMI: body mass index, BMD: bone mineral density, 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  
a: 頭部を除く全身, \* P<0.05 vs. 教室前, \*\* P<0.01 vs. 教室前

## 第4節 考察

本研究では、8週間の運動教室を開催し、異なる運動プログラム（WBV群、W群、C群）の身体組成に与える影響を3群間で比較した。その結果、BMI、全身重量、全身脂肪量、上肢除脂肪量に有意な交互作用がみられた。特に、WBV群の上肢除脂肪量はC群と比較して大きく増加しており、WBV刺激を用いた運動による上肢筋量の増加が示唆された。また、全身BMD、上肢BMD、全身重量、全身除脂肪量、下肢除脂肪量については、教室後、WBV群で有意な増加がみられた。一方、上記については、WBV群とW群の変化量に有意差はみられなかった。これらの結果から、高齢者におけるWBVトレーニングを主とした運動プログラムの身体組成への影響について、中等度のウォーキングを主とした運動プログラムとほぼ同等の効果が期待できるが、上肢のBMDや筋量に特異的な効果を有する可能性が示された。

### (1) 骨密度

本研究では、WBV刺激を用いた運動プログラムの実践により全身BMDおよび上肢BMDが有意に増加した。有意な交互作用はみられなかったものの、教室後に有意な増加を示したのはWBV群のみであった。骨盤、下肢のBMDは教室前後の有意な変化はみられなかった。

WBV刺激を用いた運動プログラムが高齢者のBMDに及ぼす影響につ

### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

いて検討した先行研究や他のトレーニングと比較検討した先行研究がいくつか散見される (Bemben et al., 2010; Gusi et al., 2006; Stolzenberg et al., 2013; Verschueren et al., 2004). これらの先行研究では, WBV トレーニングの実践により, 橈骨や脛骨 (Stolzenberg et al., 2013), 股関節の BMD に有意な増加 (Verschueren et al., 2004) がみられている. 一方, Bemben et al. (2010) は橈骨, 股関節および大腿骨頸部 BMD の有意な低下を報告している. 本研究における上肢 BMD の変化は, 橈骨 BMD の増加がみられた Stolzenberg et al. (2013) の研究を支持しており, 橈骨 BMD の低下がみられた Bemben et al. (2010) の研究とは異なるものであった. Stolzenberg et al. (2013) は, 本研究と同様にレジスタンストレーニングと下肢への WBV トレーニングの複合運動プログラムを提供し, 橈骨 BMD の有意な増加とともに有意ではないが尺骨 BMD もわずかに増加していた結果を示した. 上肢運動を含まない WBV トレーニングを提供したにも関わらず, 上肢の BMD に増加がみられた結果は興味深い. Stolzenberg et al. (2013) は回転振動式の装置を用い, 振動振幅 2~4 mm, 振動周波数 22~26 Hz, 3.9~10.9 g の振動刺激によるトレーニングを提供している. Bemben et al. (2010) や本研究では 2 mm, 30~40 Hz, 2.2~2.8 g の VV 式装置による振動刺激を加えている. また, VV 式装置による振動は, 下肢から体幹への伝達で 10 分の 1~100 分の 1 程度減衰するが (Kiiski et al., 2008), RV 式装置ではより大きく減衰するとの報告がある (Abercromby et al., 2007).

## WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

振動刺激の減衰を検討した先行研究, Stolzenberg et al. (2013) や本研究の結果から, グリップを把持し, 上肢へ WBV 刺激が間接的に伝達されるような場合, 上肢に対して 0.2~0.4 g 程度の追加的な振動負荷がかかったものと考えている. その負荷が適度な刺激となり, 上肢や橈骨の BMD に対して有効であったものと推察される. 一方, Bemben et al. (2010) は振動の設定は本研究と同じであるが, プラットフォーム上に取り付けられたストラップを用いたショルダープレスやリストカールなど, 上肢へ直接振動を加える運動が含まれていた. Bemben et al. (2010) も, 強すぎる WBV 刺激が橈骨 BMD を逆に低下させた可能性を考察しているが, 2.2~2.8 g 程度の直接的な振動刺激は, 日常的に体重を支持していない上肢の骨組織には負荷が大き過ぎるのかもしれない.

全身 BMD については, 有意な増加がみられた本研究と一致する先行研究はみられなかったが, Verschueren et al. (2004) は 6 か月間, 週 3 回の WBV トレーニングのみを実践した閉経後女性の全身 BMD が増加傾向であることを報告した. Verschueren et al. (2004) は WBV 刺激により骨にひずみが発生し, 骨吸収の減少, 骨形成の増加を介して BMD が増加する過程は局所的に始まり, さらに長いトレーニング期間を経て全身 BMD の効果へと広がるのではないかと考察している. 本研究の介入期間(8 週間)は比較的短かったが, WBV トレーニングに加え, 自重負荷による筋力トレーニングを付加した運動プログラムを提供したことから, 先行研究よ

### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

りも短い期間で全身 BMD の有意な増加がみられた可能性がある。

本研究で増加傾向を示した骨盤では、股関節 BMD の有意な増加を示した Verschueren et al. (2004) の研究と同様に WBV 刺激が骨盤 BMD の変化に対して有効であることが示された。下肢 BMD に関しては、末梢骨定量的コンピュータ断層撮影法 (peripheral quantitative computed tomography: pQCT) により脛骨の BMD の増加を報告した先行研究

(Stolzenberg et al., 2013) があるが、本研究では下肢 BMD の増加は確認されなかった。本研究では DEXA により下肢の全体的な BMD を評価したため、局所的な変化を十分に捉えられなかった可能性がある。L 字形で上体を支持する大腿骨頸部、大腿骨頭では、WBV 刺激による骨へのひずみが大きいため、大腿骨頸部、大腿骨頭を含む骨盤・股関節部の BMD の変化が現れやすい可能性が考えられる。

WBV トレーニングと他のトレーニングとの比較について、WBV トレーニングの実践は、レジスタンストレーニングの実践よりも股関節 BMD の増加がみられること (Verschueren et al., 2004), Gusi et al. (2006) や Stolzenberg et al. (2013) はウォーキングやバランストレーニングの実践よりも橈骨や脛骨、大腿骨の BMD の増加がみられることが報告されている。本研究では中等度のウォーキングを主とした運動プログラムでは得られなかった全身と上肢の BMD の有意な増加が、WBV トレーニングを主とした運動プログラムにより確認された。WBV トレーニングは、股関

### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

節 (Verschueren et al., 2004), 大腿骨 (Gusi et al., 2006), 橈骨や脛骨 (Stolzenberg et al., 2013) の BMD が, 他のトレーニング (レジスタンス トレーニング, ウォーキングやバランストレーニング) よりも増加する 傾向にあることが報告されており, その点で本研究の結果と一致する. WBV トレーニングはバスケットボールやバレーボールなどと同様に体 重の 2.5~6 倍の負荷が加わり (Verschueren et al., 2004), 骨に生じるひず みが他のトレーニングに比べ大きいものと推察されるが, 強い WBV 刺激 が橈骨 BMD を低下 (Bemben et al., 2010) させるという報告もあり, 引 き続き検討が必要である.

以上のことから, 適度な WBV 刺激とグリップ把持動作は上肢 BMD に 対して特異的な効果を示し, WBV トレーニングへの自重負荷による運動 の付加は, 全身 BMD の増加がみられる可能性が示された. その背景には, WBV 刺激と筋収縮による適度な骨ひずみの影響が関与していると考え られる.

#### (2) 脂肪量・除脂肪量

WBV 刺激を用いた運動プログラムの実践により BMI, 全身重量, 全身 除脂肪量, 上肢除脂肪量および下肢除脂肪量が増加した. WBV 群の上肢 除脂肪量は C 群と比較して, 大きく増加した.

WBV 刺激に対する身体組成の変化を報告したいくつかの先行研究に

## WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

よると、週3回、1年間のWBV トレーニングにより高齢男性の大腿筋量が増加した報告 (Bogaerts et al., 2007b) や、週3回、8か月間のWBV トレーニングによって閉経後高齢女性の全身脂肪率の低下、全身除脂肪量の増加、さらに、上肢除脂肪量、体幹除脂肪量の局所的な増加を報告した先行研究 (Fjeldstad et al., 2009) がみられる。そのほかの先行研究でも長期のWBV トレーニングによる閉経後高齢女性の全身脂肪率の低下、腹部脂肪量の減少 (von Stengel et al., 2012) や全身脂肪量の減少 (Verschuere et al., 2004) を報告しているが、短期のトレーニングでは全身、上肢、下肢の除脂肪量の変化がみられなかったという報告もある (Gomez-Cabello et al., 2013b; Wilms et al., 2012)。脂肪量の減少をとまわず、全身、上肢、下肢の除脂肪量が増加した本研究の結果は、先行研究 (Bogaerts et al., 2007b; Fjeldstad et al., 2009) と一致している。この結果は、若年層を対象としたWBV 刺激が脂肪細胞を減少させ、脂肪生成を抑制し、脂肪量を有意に減少することを報告した研究 (Maddalozzo et al., 2008; Rubin et al., 2007) とは異なるが、Fjeldstad et al. (2009) は、脂肪量減少を示さなかった理由について高齢者の脂肪細胞や脂肪生成の反応が若年層に比べて弱い可能性があると考えしており、本研究の結果はその考察を支持するものである。WBV 運動による筋肉量の増加は、筋活動や体力について調査した先行研究 (東原ら, 2009; Kawanabe et al., 2007) が示しているようにWBV 刺激に対する緊張性振動反射による不随意的かつ持続的な筋収



### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

縮，成長ホルモンの分泌の結果によるものであると考えている。

上肢除脂肪量の特異的な増加については，研究課題1で示したように，WBV トレーニングを主とした運動プログラムによる上肢筋力の有意な改善が得られており，量的増加が機能的向上と連動している可能性が示唆された。Fjeldstad et al. (2009) が上肢運動の高強度レジスタンストレーニング（ショルダープレスやリストカールなどを含む）に直接振動を加えながらおこなう WBV トレーニングを高齢女性に8か月間提供した研究では，上肢推定筋肉量に10.2%の増加がみられており，レジスタンストレーニング単独で実践した群や対照群と比較して大きく増加することが報告されている。上肢の運動種目を含まない本研究の上肢除脂肪量増加率は1.8%であり，WBV 刺激中の姿勢を保持するために装置のグリップを把持する10種類の動作を含んでいる。グリップを把持する随意的な筋収縮に加え，振動刺激により誘発される緊張性振動反射により（田中ら，2013），関節等を固定することで，振動が上肢にも効率的に伝達され（Boo et al., 2016; Yue and Mester, 2002），ウォーキングでは得られない効果が示されたと考えている。

WBV トレーニングと他のトレーニングとの比較について考察する。Fjeldstad et al. (2009) は，WBV トレーニングの実践がレジスタンストレーニングよりも上肢除脂肪量が増加することを報告している。また，von Stengel et al. (2012) は持久系運動，筋力トレーニング，バランス運動で

### WBV トレーニングが身体組成に及ぼす影響

構成される複合運動の実践は、全身除脂肪量において WBV 群よりも増加するが、両群間で統計的な有意差はないという報告をしている。中等度のウォーキングを主とした運動プログラムとの比較をおこなった本研究では、1) 中等度のウォーキングを主とした運動プログラムの全身脂肪量の減少率が、WBV トレーニングを主とした運動プログラムや対照群よりも大きいこと、2) WBV トレーニングを主とした運動プログラムは中等度のウォーキングを主とした運動プログラムよりも全身除脂肪量、上肢除脂肪量に高い増加率がみられることが明らかとなった。これは、グリップ把持など上肢を含む全身の筋収縮に加え、WBV 刺激による筋活動の増加 (Cardinale and Bosco, 2003) や血流増加 (Cochrane et al., 2008b)、さらには WBV 刺激が下垂体を刺激することによる成長ホルモンの増加 (Cardinale and Lim, 2003) などが関連しているものと考えられる。したがって、WBV 刺激を用いた運動プログラムは、高齢者の脂肪量減少をともなわない身体組成の変化、特に除脂肪量の変化について中等度のウォーキングを主とした運動プログラムと同等、もしくはそれ以上の効果を示す可能性が示唆され、研究課題 1 で得られた運動実践な困難な高齢者に加え、低栄養、低体重傾向や痩せの高齢者に向けても、有用である可能性がある。高齢者における WBV 刺激を用いた運動プログラムは、中等度のウォーキングを主とした運動プログラムと同等の効果が期待できるが、上肢除脂肪量が特異的な効果を示す可能性が示唆された。

## 第5節 結論

本研究では、WBV トレーニングを主とした運動プログラムが高齢者の身体組成に及ぼす影響について、中等度の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 トレーニングを主としたプログラムが運動機能に及ぼす影響として、1) 上肢 BMD、上肢除脂肪量を特異的に増加させること、2) 体重や脂肪量の減少をともなわずに、全身 BMD、全身除脂肪量、下肢除脂肪量を増加させることが明らかとなった。また、研究課題 1 でみられた機能的向上と研究課題 2 で示された量的増加が連動している可能性、中等度のウォーキングを主とした運動プログラムと同等の効果が期待され、上肢除脂肪量が特異的な効果を示す可能性が示された。

したがって、高齢者に向けた全身振動刺激を用いた運動プログラムは、移動能力制限、関節痛を有する虚弱前段階の高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲が低い高齢者など何らかの理由で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に加え、低栄養、低体重傾向や痩せの高齢者に向けた有効な手段の一つとしても今後提案できるものと考えている。

## 第6章 研究課題3

### WBV トレーニングと肥瘦度の関係

#### 第1節 緒言

研究課題1および研究課題2では、全身振動刺激を用いたWBV トレーニングを主とした運動プログラム、中等度のウォーキングを主とした運動プログラムを地域在住高齢者に提供し、両運動プログラムが運動機能、身体組成に及ぼす影響について比較をおこなった。研究課題1では、WBV トレーニングを主とし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、敏捷性・動的バランス、下肢筋力、下肢柔軟性、持久性への効果については中等度のウォーキングを主としたプログラムと比較して同等である可能性が示唆された。また、研究課題2では、WBV トレーニングを主とした運動プログラムは、1) 上肢BMD、上肢除脂肪量を特異的に増大させ、2) 体重や脂肪量の減少をともなわずに全身BMD、全身除脂肪量、下肢除脂肪量を増加させることが明らかとなり、中等度のウォーキングを主としたプログラムとも同等の効果が期待できる可能性が示された。研究課題1および研究課題2の結果から、移動能力制限、関節痛、低栄養、低体重傾向や痩せを有する虚弱前段階の高齢者など何らかの理由で一般的な運動実践が困難な高齢者に向け、WBV トレーニングを主とした運動プログラムが中等度のウォーキングを主とする運動プログラムなどに代わり、運動機能および身体組成を維持・改善させる有効

なプログラムであることが示唆された。

研究課題3では、研究課題1および研究課題2で示唆された体重減少をともなわずに運動機能および身体組成を維持・改善させるという特徴に対し、肥瘦度の観点からWBVトレーニングを主とした運動プログラムの適応可能性を検討することに着目した。BMIは、体重を身長<sup>2</sup>で除して求められ、身長の影響の及ぼさないもとで体重を評価できるものであり、栄養状態を反映しているとも言われている(梅田ら, 2002)。BMIは健康指標の一つとして広く用いられており(Goins et al., 2012; Sergi et al., 2007)、歩行能力や筋力など日常生活能力と関連する可能性も示唆されている(Harris et al., 1989; Zamboni et al., 1999)。過体重や肥満傾向にある高BMI者が低体力を示し(荒尾, 1999; 荒尾ら, 1998; Coakley et al., 1998; Davis et al., 1998; Launer et al., 1994; Zamboni et al., 1999)、BMIが増加するにつれ疾病合併率が高いことが報告されている(Tokunaga et al., 1991)。その一方で、低体重傾向の低BMI者についても、体力が低いとの報告がなされ(Ferraro and Booth, 1999; Ferreira et al., 2013; Galanos et al., 1994; 山崎ら, 2016; Woo et al., 2007)、虚弱サイクルの中には、低栄養にともなう体重減少や低BMIの危険が示されている。WBVトレーニングが体重減少をともなわずに運動機能および身体組成を維持・改善できるのであれば、低栄養、低体重傾向や痩せの高齢者に向けた虚弱化予防のトレーニングとして期待できる。

## 第6章 研究課題3

### WBV トレーニングと肥瘦度の関係

本研究では運動機能や筋量，骨量と関連があると言われる肥瘦度の観点から特に低 BMI 者に対する WBV トレーニングを主とした運動プログラムの適応可能性について検討する。

## **第 2 節 方法**

### **(1) 対象者**

対象者は、研究課題 1 および研究課題 2 と同一の対象者であり、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 50 名のうち、WBV 群 16 名である。BMI に基づき、群を分類した。分類方法は、WHO や日本肥満学会のものが提唱されているが、本研究の対象者を日本肥満学会の肥満判定に基づいて分類すると、BMI 18.5 以下と判定される対象者数が極端に少なくなる。本研究では疾病合併率が最も低いと報告されている BMI 22.0 を基準とし (Tokunaga et al., 1991)、BMI 22.0 未満を低 BMI 群 (6 名)、BMI 22.0 以上を高 BMI 群 (10 名) の 2 群に分けた。

### **(2) 介入内容**

研究課題 1 および研究課題 2 と同一の運動を同一時期に提供した。運動プログラムは準備運動、WBV トレーニング、レジスタンストレーニング、整理運動からなる 1 回 90 分、週 2 回、8 週間の運動教室を提供した。

### **(3) 測定項目および測定方法**

運動教室前に基本情報を聴取し、教室前後には身長、体重、身体組成を測定した。身長は、身長計、体重、身体組成は DEXA にて測定し、す

すべての測定は訓練を受けた検者がおこなった。BMI は、体重を身長<sup>2</sup>乗で除すことにより算出した。

運動機能は、senior fitness tests 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多関節複合動作による最大下肢伸展筋力を測定した。

体重を除く身体組成の測定項目は、BMD、重量、脂肪率、脂肪量、除脂肪量とした。BMD は、頭部を除く全身 BMD、上肢 BMD、股関節を含む骨盤 BMD、下肢 BMD を、重量、脂肪率は頭部を除く全身重量、全身脂肪率、全身脂肪量を、除脂肪量は頭部を除く全身、上肢、下肢をそれぞれ算出した。これらは第3章「測定項目と測定方法」に示した手法によりおこなった。

#### (4) 統計解析

データは、平均値±標準偏差、各群の運動教室前後の各測定項目の変化率は、平均値(95%信頼区間)で示した。教室前における両群間の各項目のデータの比較にはカイ2乗検定および対応のない $t$ 検定を用いた。また、運動教室前後の変化には対応のある $t$ 検定、変化率の群間比較は対応のない $t$ 検定を用い、運動教室前後の効果量 Cohen's  $d$  を算出した。変化



## 第6章 研究課題3

### WBV トレーニングと肥瘦度の関係

率は、教室前の値を基準とし、教室後の増加率を示した。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% に設定した。

### 第3節 結果

運動教室に継続参加した出席率は、低 BMI 群  $97.9 \pm 3.2\%$ 、高 BMI 群  $92.5 \pm 9.2\%$ であった。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低 BMI 群で  $1.1 \pm 1.8$  日/週、高 BMI 群で  $1.7 \pm 1.3$  日/週、レジスタンストレーニングの平均実践日数が、低 BMI 群で  $5.2 \pm 1.4$  日/週、高 BMI 群で  $5.7 \pm 1.0$  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 ( $P > 0.05$ )。

#### (1) 基本情報、形態、運動機能および筋力測定

Table 6-1 に教室前における各群の基本情報、形態、運動機能、筋力および身体組成の測定値を示した。これらの項目において体重 ( $P=0.003$ )、関節痛の有訴者 ( $P=0.016$ )、BMI ( $P=0.002$ )、全身重量 ( $P=0.002$ )、全身脂肪量 ( $P=0.005$ ) で高 BMI 群が有意に高値を示した。なお、教室前に関節痛を有すると回答した高 BMI 群の 6 名は、教室後には 4 名へと減少した。

Table 6-2 に教室前後の各群の運動機能、筋力および身体組成の測定値を示した。教室前の運動機能および筋力の測定値に関し、低 BMI 群では、連続上腕屈伸、6 分間歩行および最大下肢伸展筋力が高 BMI 群に比べ低値を示し、椅座位体前屈、バックスクラッチで高 BMI 群に比べ高値を示

したが、両群間で有意な差はみられなかった。アップ&ゴー、30秒椅子立ち上がりでほぼ同等の結果であった。運動教室後では、アップ&ゴーでは、高BMI群が低BMI群に比べて低値を示し、30秒椅子立ち上がりで高BMI群が低BMI群に比べて高値を示したが、両群間で有意な差はみられなかった ( $P>0.05$ )。そのほかの項目では教室前の結果と同様な傾向であった (Table 6-2)。教室前後の変化に関し、低BMI群では最大下肢伸展筋力を除く項目が改善の傾向を示し、最大下肢伸展筋力は低下の傾向を示した。しかし、すべての項目で統計的に有意な水準での変化はみられなかった ( $P>0.05$ )。Table 6-2に示すように高BMI群においてはアップ&ゴー ( $P=0.016$ )、椅座位体前屈 ( $P=0.025$ )、最大下肢伸展筋力 ( $P=0.046$ ) が教室後に有意な改善を示し、そのほかの項目では改善の傾向を示したが、統計的に有意な水準で教室前後の変化がみられなかった ( $P>0.05$ )。

Table 6-3に教室前後の各群の運動機能、筋力および身体組成の変化率を示した。運動機能、筋力測定項目の各変化率の比較では、統計的に有意な水準で群間差はみられなかった。

## (2) 身体組成

教室前の身体組成の測定値では、BMI ( $P=0.002$ )、全身重量 ( $P=0.002$ )、全身脂肪量 ( $P=0.005$ ) において、低BMI群が高BMI群に比べて低値を示し、両群間で有意な差がみられた。そのほかの項目では、低BMI群が

高 BMI 群に比べて低値を示したが、統計的に有意な水準での両群間の差はみられなかった (Table 6-1)。運動教室後でも BMI ( $P=0.003$ )、全身重量 ( $P=0.003$ )、全身脂肪量 ( $P=0.005$ ) で低 BMI 群が高 BMI 群に比べて有意に低値を示し、そのほかの項目においても教室前と同様に低 BMI 群が高 BMI 群に比べて低値を示す傾向であった (Table 6-2)。教室前後の変化に関し、低 BMI 群ではすべての項目で増加の傾向を示したが、統計的に有意な水準での変化はみられなかった ( $P>0.05$ )。高 BMI 群においては上肢除脂肪量 ( $P=0.003$ , Cohen's  $d=0.09$ )、下肢除脂肪量 ( $P=0.001$ , Cohen's  $d=0.19$ )、上肢 BMD ( $P=0.002$ , Cohen's  $d=0.15$ ) が教室後に有意な増加を示した。Table 6-2 に示すように全身脂肪率、全身脂肪量、下肢 BMD で減少し、そのほかの項目では、増加の傾向となったが、これらすべての項目で統計的に有意な水準で教室前後の変化がみられなかった ( $P>0.05$ )。

各変化率の比較では、全身脂肪量において、低 BMI 群が +3.98%、高 BMI 群が -0.70% の変化率を示し、両群間で有意な差がみられた ( $P=0.045$ )。また、下肢除脂肪量においても低 BMI 群が +1.25%、高 BMI 群が +4.54% の変化率を示し、両群間で有意な差がみられた ( $P=0.039$ )。そのほかの身体組成の測定項目は、Table 6-3 に示すように統計的に有意な水準で群間差はみられなかった。

## WBV トレーニングと肥瘦度の関係

Table 6-1. ベースラインにおける対象者の基本情報, 運動機能, 身体組成測定結果.

	低 BMI 群, n=6	高 BMI 群, n=10	P
年齢, 歳	72.5 ± 5.1	69.6 ± 4.7	0.264
身長, cm	153.2 ± 8.8	157.9 ± 7.5	0.283
体重, kg	46.9 ± 6.5	64.1 ± 10.4	0.003
男女比	2 / 4	4 / 6	0.790
服用している, n	4	3	0.152
疾患を有している, n	3	8	0.210
関節痛を有している, n	0	6	0.016
アップ&ゴー, 秒	5.7 ± 0.7	5.5 ± 0.7	0.601
30秒椅子立ち上がり, 回	13.3 ± 2.3	13.2 ± 2.0	0.903
連続上腕屈伸, 回	17.8 ± 1.8	19.8 ± 3.7	0.246
椅座位体前屈, cm	13.7 ± 9.3	8.4 ± 10.2	0.318
バックスクラッチ, cm	-5.6 ± 6.9	-13.0 ± 11.7	0.184
6分間歩行, m	485.8 ± 63.5	540.2 ± 42.0	0.057
最大下肢伸展筋力, N	1144.4 ± 360.3	1289.1 ± 379.8	0.465
BMI, kg/m <sup>2</sup>	20.0 ± 1.6	25.7 ± 3.4	0.002
全身重量 <sup>a</sup> , kg	42.5 ± 6.2	59.4 ± 10.1	0.002
全身脂肪率 <sup>a</sup> , %	21.4 ± 7.6	30.3 ± 8.3	0.052
全身脂肪量 <sup>a</sup> , kg	8.8 ± 2.7	18.0 ± 6.2	0.005
除脂肪量, kg			
全身 <sup>a</sup>	33.7 ± 8.0	41.5 ± 8.9	0.103
上肢	3.8 ± 1.2	4.6 ± 1.2	0.247
下肢	11.6 ± 2.9	14.0 ± 3.0	0.138
BMD, g/cm <sup>2</sup>			
全身 <sup>a</sup>	0.817 ± 0.117	0.859 ± 0.089	0.426
上肢	0.653 ± 0.095	0.660 ± 0.092	0.892
骨盤	0.977 ± 0.123	1.062 ± 0.146	0.251
下肢	0.962 ± 0.130	1.030 ± 0.104	0.264

平均値 ± 標準偏差, BMI: body mass index, BMD: bone mineral density, a: 頭部を除く全身

WBV トレーニングと肥瘦度の関係

Table 6-2. 運動教室前後の運動機能・筋力測定結果.

	低BMI, n=6			高BMI, n=10		
	教室前	教室後	Cohen's d	教室前	教室後	Cohen's d
アプゾ&ゴロー, 秒	5.7 ± 0.7	5.5 ± 1.0	-0.14	5.5 ± 0.7	5.1 ± 0.6*	-0.61
30秒椅子立ち上がり, 回	13.3 ± 2.3	13.8 ± 2.1	0.21	13.2 ± 2.0	14.8 ± 1.8	0.80
連続上腕屈伸, 回	17.8 ± 1.8	18.8 ± 1.7	0.51	19.8 ± 3.7	22.2 ± 4.8	0.53
椅座位体前屈, cm	13.7 ± 9.3	14.0 ± 7.4	0.03	8.4 ± 10.2	12.6 ± 9.1*	0.41
バックスクラッチ, cm	-5.6 ± 6.9	-4.4 ± 10.6	0.12	-13.0 ± 11.7	-11.9 ± 13.1	0.09
6分間歩行, m	485.8 ± 63.5	514.0 ± 62.8	0.41	540.2 ± 42.0	559.2 ± 52.2	0.38
最大下肢伸展筋力, N	1144.4 ± 360.3	1125.1 ± 277.8	-0.05	1289.1 ± 379.8	1435.7 ± 443.3*	0.34
BMI, kg/m <sup>2</sup>	20.0 ± 1.6	20.1 ± 1.7	0.09	25.7 ± 3.4	25.9 ± 3.7	0.05
全身重量 <sup>a</sup> , kg	42.5 ± 6.2	43.0 ± 5.9	0.07	59.4 ± 10.1	60.0 ± 10.4	0.05
全身脂肪率 <sup>a</sup> , %	21.4 ± 7.7	21.8 ± 7.2	0.05	30.3 ± 8.3	29.7 ± 7.8	-0.07
全身脂肪量 <sup>a</sup> , kg	8.8 ± 2.7	9.1 ± 2.6	0.10	18.0 ± 6.2	17.8 ± 6.1	-0.02
除脂肪量, kg						
全身 <sup>a</sup>	33.7 ± 8.0	33.9 ± 7.6	0.02	41.5 ± 8.9	42.2 ± 8.7	0.07
上肢	3.9 ± 1.2	3.9 ± 1.2	0.01	4.6 ± 1.2	4.7 ± 1.3**	0.09
下肢	11.6 ± 2.9	11.7 ± 2.8	0.04	14.0 ± 3.0	14.6 ± 2.9**	0.19
BMD, g/cm <sup>2</sup>						
全身 <sup>a</sup>	0.817 ± 0.117	0.825 ± 0.113	0.07	0.859 ± 0.089	0.863 ± 0.084	0.04
上肢	0.653 ± 0.095	0.667 ± 0.097	0.13	0.660 ± 0.092	0.675 ± 0.092**	0.15
骨盤	0.977 ± 0.123	0.977 ± 0.118	0.00	1.062 ± 0.146	1.065 ± 0.143	0.02
下肢	0.962 ± 0.130	0.972 ± 0.126	0.07	1.030 ± 0.104	1.023 ± 0.098	-0.07

平均値±標準偏差, BMI: body mass index, BMD: bone mineral density,

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,

a: 頭部を除く全身, \* P<0.05 vs. 教室前, \*\* P<0.01 vs. 教室前

Table 6-3. 運動教室前後の運動機能, 身体組成の変化率.

	低 BMI 群, n=6		高 BMI 群, n=10		P
% Δ アップ & ゴー	-3.00	(-10.65 to +4.65)	-6.98	(-12.31 to -1.64)	0.316
% Δ 30 秒椅子立ち上がり	+4.61	(-10.75 to +19.98)	+14.55	(-3.09 to +32.19)	0.389
% Δ 連続上腕屈伸	+5.95	(-1.70 to +13.60)	+14.10	(-3.17 to +31.37)	0.440
% Δ 椅座位体前屈	+20.93	(-19.52 to +61.37)	+71.53	(+6.45 to +136.61)	0.221
% Δ バックスクラッチ	+129.43	(-65.01 to +323.88)	+51.03	(-38.96 to +141.01)	0.312
% Δ 6 分間歩行	+6.07	(-2.03 to +14.17)	+3.54	(-0.72 to +7.80)	0.472
% Δ 最大下肢伸展筋力	-0.74	(-16.88 to +18.36)	+11.92	(-1.66 to +25.50)	0.255
% Δ BMI	+0.82	(-1.07 to +2.71)	+0.62	(-0.60 to +1.84)	0.827
% Δ 全身重量 <sup>a</sup>	+1.17	(-0.51 to +2.86)	+0.83	(-0.29 to +1.95)	0.682
% Δ 全身脂肪率 <sup>a</sup>	+2.78	(-3.13 to +8.69)	-1.52	(-3.32 to +0.27)	0.052
% Δ 全身脂肪量 <sup>a</sup>	+3.98	(-1.94 to +9.90)	-0.70	(-2.80 to +1.39)	0.045
% Δ 除脂肪量					
全身 <sup>a</sup>	+0.72	(-1.64 to +3.07)	+1.77	(-0.05 to +3.58)	0.417
上肢	+0.36	(-2.50 to +3.21)	+2.68	(+1.00 to +4.36)	0.091
下肢	+1.25	(-1.22 to +3.72)	+4.54	(+2.38 to +6.70)	0.039
% Δ BMD					
全身 <sup>a</sup>	+1.19	(-0.42 to +2.79)	+0.51	(-0.35 to +1.37)	0.340
上肢	+2.19	(-1.01 to +5.39)	+1.93	(+0.35 to +3.51)	0.844
骨盤	+0.07	(-2.13 to +2.28)	+0.42	(-1.21 to +2.05)	0.766
下肢	+0.80	(-1.65 to +3.25)	-0.62	(-2.05 to +0.81)	0.217

平均値 (95%信頼区間), BMI: body mass index, BMD: bone mineral density, a: 頭部を除く全身

## 第4節 考察

本研究では、8週間のWBV刺激を用いたWBVトレーニングを主とした運動プログラムに対する運動機能および筋力、身体組成の変化率に関し、低BMI群 (< 22.0) と高BMI群 ( $\geq$  22.0) の2群間で比較した。その結果、運動教室後には、低BMI群では維持もしくは改善傾向、高BMI群のアップ&ゴー、椅座位体前屈、最大下肢伸展筋力で有意な改善がみられた。身体組成に関し、低BMI群は維持もしくは増加傾向、高BMI群では上肢除脂肪量、下肢除脂肪量、上肢BMDが有意に増加した。全身脂肪量、下肢除脂肪量の変化率では有意な群間差がみられ、全身脂肪量では、低BMI群がわずかに増加傾向、高BMI群がわずかに減少傾向を示し、下肢除脂肪量では、高BMI群が低BMI群に比べて増大した。また、統計的な水準での有意な差はみられなかったが、低BMI群の全身重量は高BMI群に比べて大きな変化率であった。

これらの結果から、WBVトレーニングを主とした運動プログラムと肥瘦度との明らかな関係は示されなかったが、体重の減少をとまわずに、運動機能、身体組成に好影響を与えることが確認された。体重が重い者ほど負荷が大きくなるというWBVトレーニングの特徴により、高BMI群は、低BMI群に比べて高い反応性を有する可能性が示された。



**(1) 運動機能および筋力測定**

WBV トレーニングを主とした運動プログラムの8週間の実践により、低BMI群の各測定項目で維持もしくは改善の傾向を示し(Cohen's  $d=-0.14\sim 0.51$ )、高BMI群のアップ&ゴー、椅座位体前屈、最大下肢伸展筋力は、有意に改善し(Cohen's  $d=-0.61, 0.41, 0.34$ )、そのほかの運動機能の測定項目は維持もしくは改善の傾向を示した(Cohen's  $d=0.09\sim 0.80$ )。

WBV トレーニングを主とした運動プログラムによる運動機能および筋力への効果の変化率に関し、両群間において統計的に有意な水準で差はなかったが、測定した7項目のうち6項目において高BMI群が低BMI群に比べ高い反応性を有していた。BMI別にダンスや筋力トレーニングが体力に及ぼす効果に関する研究では、低BMIの方が、高い反応性を有する報告(韓ら, 2004)や、両群ともに効果に差はないとの報告(Lee et al., 2007)があり、本研究の傾向とは異なるものであるが、これは、WBV トレーニングがニュートンの第二法則( $F=ma$ )を応用したものであり、加速度( $a$ )が一定の条件においては、体重( $m$ )が重くなるにつれ発生する荷重が増加することに関連していると考えている。著者が調査した限りBMI別のWBV トレーニングの効果に関するヒト対象研究はみつからなかったことから、動物を対象とした先行研究(Huang et al., 2014; Lin et al., 2015)から考察する。Huang et al. (2014)やLin et al. (2015)は、振動刺激を加えない対照となる正常マウスに比べて、振動を加えた正常マ

ウスはおよそ 1.1 倍，振動を加えた肥満マウスはおよそ 1.2～1.3 倍ほど身体パフォーマンスが向上する結果を示し，本研究を支持するものである。

#### (2) 身体組成

WBV トレーニングを主とした運動プログラムの 8 週間の実践により，低 BMI 群の各測定項目では，維持もしくはわずかに改善の傾向を示し (Cohen's  $d=0.00\sim 0.13$ )，高 BMI 群は，上肢除脂肪量，下肢除脂肪量，上肢 BMD が教室後に有意に増加し (Cohen's  $d=0.09, 0.19, 0.15$ )，そのほかの身体組成の測定項目は維持もしくはわずかに改善の傾向を示した (Cohen's  $d=-0.07\sim 0.07$ )。

低 BMI 群，高 BMI 群ともに全身重量の減少はなく，低 BMI 群が高 BMI 群に比べ増加した。高 BMI 群では全身脂肪量の減少と全身除脂肪量の増加が全身重量を増加させ，低 BMI 群の全身重量は，全身脂肪量，全身除脂肪量ともに増加したことによる影響である。これは，運動実践にともなう食事量の増加等の影響の可能性を排除できないが，除脂肪量の増加もみられており，WBV トレーニングを主とした運動プログラムによって体重減少はともなわず，全身重量は維持できると考えている。それ以外にも，高齢者の脂肪生成抑制の反応が遅く，WBV 刺激による筋活動の増加に比べエネルギー消費が低いとの考察もされている (Cristi-Montero et

al., 2013; Fieldstad et al., 2009).

高 BMI 群が、低 BMI 群に比べ脂肪量が減少し、除脂肪量の増加率が大きく、上肢除脂肪量、下肢除脂肪量は有意に増加した。WBV トレーニングによる効果ではないため単純に比較はできないが、運動強度 70% 程度の 50 分/回、週 3 回、12 週間の運動を高齢者に提供した Bocalini et al., (2012) の研究において、高 BMI を示す者は、体重、脂肪量、BMI の減少、除脂肪量の増加を示すことが報告されている。WBV トレーニングの特徴を考慮すると、先行研究 (Bocalini et al., 2012) の運動による効果に加え、体重が重くなることにより身体にかかる運動負荷が増加するという WBV トレーニングの特徴も関連しているものと考えている。

BMD は、高 BMI 群の下肢 BMD を除き、すべて維持もしくは増加の傾向を示している。低 BMI 群および高 BMI 群ともに、上肢 BMD の増加が大きい。上肢除脂肪量の増加や上肢 BMD の増加は、研究課題 1 および研究課題 2 で考察したように、上肢の把持動作、それにとともなう振動刺激によるものと考えている。その一方、運動機能や除脂肪量などでみられたような体重に比例して効果が高まるような傾向はみられなかった。これは、姿勢や軟部組織の状態によって WBV 刺激の伝達率が変わることや (Rittweger, 2010)、サンプルサイズが小さく、統計学的な検出力が不足していることなどが関連していることも考えられ、今後より詳細な検討が必要である。

## 第5節 結論

本研究では、WBV トレーニングを主とした運動プログラムが運動機能、筋力、身体組成に及ぼす影響について肥瘦度の観点、特に低 BMI 者に対する WBV トレーニングを主とした運動プログラムの適応可能性について検討した。

その結果、運動機能テスト、除脂肪量、BMD に関し、両群において維持もしくは改善の傾向がみられた。全身重量、全身脂肪量では、低 BMI 群でわずかな増加傾向、高 BMI 群で維持もしくはわずかな減少傾向がみられた。高 BMI 群は、低 BMI 群に比べ、体重が重く、全身振動によって自重が大きな運動負荷となり、WBV トレーニングを主とした運動プログラムに対して高い反応性を有する可能性が考えられるが、下肢除脂肪量の変化率を除いた運動機能テスト、除脂肪量、BMD の変化率には両群間で有意な差はなかった。また、関節痛を抱える者が有意に多かった高 BMI 群では、教室開催中の脱落者は出現しなかった。全身振動刺激を用いた運動プログラムによる効果と肥瘦度との関係性は明らかにならなかったが、全身振動刺激を用いた運動プログラムは、低 BMI 者には体重減少、関節痛を抱える高齢者では関節痛の増悪をとまなうことなく、運動機能、身体組成を維持、改善させる可能性が示唆された。以上のことから、低栄養、低体重傾向や痩せ、過体重傾向で関節痛を原因とする一般の運動実践が困難な者に向けた有用性が示された。

## 第7章 総括

### 第1節 研究の限界および今後の課題

研究成果を導く過程で、以下に示す限界の存在が明らかになった。本博士論文の学術的な位置づけを明確にし、一般化可能性を考察するため、本研究成果の一般化を制限する諸条件を記述する。

#### (1) 定義による限界

本研究を通じて使用する用語の定義は第1章第4節にて明確にした。本研究における結論は、この定義の範囲内で検討をおこない、導き出したものである。

#### (2) 標本抽出にともなう限界

本研究は、茨城県およびその近隣に在住する高齢者を対象としており、対象者の抽出を全国規模で無作為におこなっていない。本研究で得られた結果は、これらの標本内で得られたものであり、必ずしも幅広い地域や生活様式の異なる集団にも当てはまるとは限らない。対象者のほとんどは自ら運動教室に参加を申し出た者であり、運動機能水準は比較的高水準である可能性がある。したがって、虚弱もしくは移動制限等を有する高齢者、運動意欲が低い高齢者への適応についてすべてが当てはまらない可能性に留意しなければならない。今後は、本研究で得られた WBV

トレーニングを主とした運動プログラムの実践における安全性の経験をもとに、虚弱もしくは移動制限等を有する高齢者、運動意欲が低い高齢者を中心とした対象者を選定した研究の蓄積が必要である。

### (3) 研究デザインおよびサンプルサイズの限界

本研究の各群は、運動教室への参加希望を考慮した結果、無作為割付ではなく、盲検化されていない。また、サンプルサイズが小さく、統計学的な検出力が不足していた可能性もある。上述したように身体的な虚弱を有する高齢者や運動意欲の低い高齢者への適応にも限界があることから、二次介護予防事業対象者や介護老人保健施設、病院等の協力も含め、無作為抽出によって大規模に対象者を選定することが望ましい。

### (4) 測定・調査・介入における限界

高齢者の健康状態は、身体的機能、精神・心理的機能、社会的機能の相互関連のもとで形成されており、運動機能や筋力、身体組成のみで高齢者の健康状態のすべてを説明するには限界がともなうことも踏まえておくべきである。

本研究では、面接および運動機能、筋力、身体組成の測定担当者は、検者間誤差を少なくするための研修を受けている。また、質問紙調査や形態、筋力の測定では、高齢者の調査・測定に熟練した者を担当とする

ことで、可能な限り誤差範囲の最小化に努めた。同様に身体組成の測定では、放射線技師の資格を有し、測定に習熟した者が担当した。高齢者の測定・調査においては、検者間誤差以外に、測定時期、地域、対象者の性格などの誤差要因の影響も大きくなる可能性があり留意が必要である。

介入に対する限界もいくつか有している。運動指導のばらつきも誤差要因となる可能性があり、運動教室前に高齢者に向けた運動指導経験のある指導者が研修を受け、なるべく同一の指導者が各群の運動教室を担当し、誤差要因の排除に努めた。その一方、WBVトレーニング、中等度の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それぞれ週2回、週1回としたことから、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、誤差要因となっている点がある。また、提供したWBVトレーニングの運動強度は複数の先行研究をもとに最適なものとなるように設定したが、ウォーキングでは、一般的な指針をもとに運動強度を設定している。このようなことからWBV群の効果を過大評価している可能性がある。さらには、運動実践以外については日常生活を送るよう指示したが、食事やサプリメント摂取に関する記録はなく、日常生活下の食事による影響の可能性などの誤差要因を排除できていない。今後は、これらの限界を解決しうる方策を踏まえた検討が必要である。

## 第2節 各研究課題の結論および総合討論

本博士論文は、健康な高齢者のみならず、移動能力制限、関節痛、低栄養、低体重傾向を有する虚弱前段階の高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲が低い高齢者など何らかの理由で運動実践が困難な高齢者に向けて、WBVトレーニングを主とした運動プログラムを提案するものである。本博士論文の特徴は、WBVトレーニングによる運動機能、身体組成を同時かつ多面的に評価し、簡便に痩せや肥満の度合いを明示化できる肥瘦度から適応について検討した点にある。本博士論文では、WBVトレーニングが敏捷性・動的バランス、下肢柔軟性、全身持久性、下肢筋力、下肢筋量、下肢BMDにおいて一般的なトレーニングと同等の効果を示すこと、低体重傾向の高齢者の運動機能、身体組成に好影響を与えるとの仮説を立てた。その仮説に基づき、地域在住高齢者を対象としたWBVトレーニングを主とした運動プログラムが、1) 運動機能、多関節複合動作による下肢筋力、2) 筋量、骨量など身体組成に及ぼす影響について中等度のウォーキングを主とした運動プログラムと比較をおこなうとともに、3) WBVトレーニングを主とした運動プログラムの効果と肥瘦度との関係について検討し、高齢者に対するWBVトレーニングを主とした運動プログラムの適応可能性を明らかにすることを目的として、一連の検討をおこなった。その結果、以下に示す知見が得られた。



### 研究課題 1

WBV トレーニングを主とした運動プログラムは、上肢柔軟性への特異的な効果を示す一方、敏捷性・動的バランス、上肢筋機能、下肢筋機能、下肢柔軟性、持久性への効果については中等度の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。高齢者に向けた全身振動刺激を用いた運動プログラムは、何らかの理由で中等度のウォーキングなど一般的な運動が実践できない高齢者、特に上肢柔軟性などを向上させたい場合での利用が期待できる。

### 研究課題 2

WBV トレーニングを主とした運動プログラムは、1) 上肢 BMD、上肢除脂肪量を特異的に増加させること、2) 体重や脂肪量の減少をともなわずに、全身 BMD、全身除脂肪量、下肢除脂肪量を増加させることが明らかとなった。また、研究課題 1 でみられた機能的向上と研究課題 2 で示された量的増加が連動している可能性、中等度のウォーキングを主とした運動プログラムと同等の効果が期待され、上肢除脂肪量が特異的な効果を示す可能性が示唆された。したがって、高齢者に向けた全身振動刺激を用いた運動プログラムは、何らかの理由で中等度のウォーキングなど一般的な運動が実践できない高齢者に加え、低栄養、低体重傾向や痩せの高齢者に向けて有効なプログラムであろう。

## 研究課題 3

WBV トレーニングを主とした運動プログラムは、運動機能テスト、除脂肪量、BMD に関し、低 BMI 群、高 BMI 群の両群ともに維持もしくは改善の傾向を示し、ほとんどの項目において統計的に有意な水準で両群の変化率の差はみられず、肥瘦度との関係性は明らかにならなかった。しかしながら、高 BMI 群は、低 BMI 群に比べ、体重が重く、全身振動によって自重が大きな運動負荷となり、高い反応性を有する可能性が示唆された。一方、低 BMI 群には体重減少、関節痛を抱える高齢者（高 BMI 群）では関節痛の増悪をとまなうことなく、運動機能、身体組成を維持、改善させる可能性が示され、低栄養、低体重傾向や痩せ、過体重傾向で関節痛を原因とする一般の運動実践が困難な者に向けた有用性が示唆された。

本博士論文では、筋量の増量、筋力の改善、敏捷性・動的バランス、持久性の改善、柔軟性については改善傾向、全身脂肪量、BMD については維持の結果が得られた。WBV トレーニングのメカニズムは、脂肪量の維持などの不明な点があり、また本研究では直接的な検証をおこなっていないため引き続き様々な検討を必要とする。なお、本研究の結果ならびに各章で示した先行研究（Bautmans et al., 2005; Cochrane et al., 2008b, 2010; 東原ら, 2009; Rittweger et al., 2001; Torvinen et al., 2003; van den

Tillaar, 2006; van der Meer et al., 2011; Verschueren et al., 2004) から、全身振動刺激による効果は次のようなメカニズムが関連していると考えられる。

筋力，除脂肪量：

緊張性振動反射による不随意的かつ継続的筋収縮，成長ホルモン分泌の促進に加え，振動プラットフォーム上での自重運動効果との相乗作用。

敏捷性・動的バランス：

固有受容器への刺激や筋収縮による予測姿勢制御，適応促進。

持久性：

継続的筋収縮・弛緩が筋ポンプ作用を促進させるとともに，血管弾性向上へとつながり，全身血液循環が変化。

柔軟性：

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，筋温度の上昇，軟部組織の弾性向上。

BMD：

骨ひずみにより骨吸収が減少し，骨形成が増加。

体重効果：

体重によって，身体に加わる負荷が増加。

本博士論文の意義は、移動能力制限、関節痛、低栄養、低体重傾向や痩せ、過体重傾向を有する虚弱前段階にある高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲が低い高齢者が実践することが可能な WBV トレーニングを主とした運動プログラムの有効性を示したことである。本研究の特徴の主な点は次のとおりである。

第一に、高齢者の WBV トレーニングを主とした運動プログラムによる運動機能、身体組成への影響に関し、一般に推奨されている中等度のウォーキングトレーニングによる影響と比較し、ほぼ同等の有効性を示すことが明らかとなったことである。WBV トレーニングの実践は、時間や天候などの環境制約が少なく、実行性、継続性の観点から短時間の WBV トレーニングによる効果も期待できる。一般に推奨されているウォーキングトレーニングを好まないとする高齢者、例えば、虚弱前段階の高齢者、移動能力制限の低下などの転倒リスクを有する高齢者や、関節痛患者など歩行そのものが困難な高齢者にとって、本博士論文の知見は、他のトレーニングとの比較可能な有効性の目安となるだろう。さらに、運動を煩わしく感じ、運動を好まない高齢者の導入運動としても有益な参考資料となると考えている。第二に、中等度のウォーキングトレーニングとは異なり、WBV トレーニングが上肢筋力、上肢柔軟性、上肢 BMD、上肢除脂肪量において特異的な効果を示し、機能的向上と量的増加が連動している可能性が示された新たな知見であり、上肢に障害を有するよ

うな高齢者に向けても有効であり、新たな運動様式の一つと考えることもできるだろう。第三に、WBVトレーニングの実践は、体重や脂肪量の減少や関節痛を増悪することなく、運動機能、身体組成を維持、改善させる可能性が示され、低栄養、低体重傾向や痩せ、過体重傾向で関節痛を抱えるような高齢者に向けて、中等度のウォーキングトレーニング等に代わる運動実践方法としての利用が期待できる。

今回示されたWBVトレーニングを主とした運動プログラムが及ぼす運動機能、身体組成への影響について今後のさらなる詳細な検討、WBV群とW群の変化の有意差を確認することはできなかつた点に関し、高価な機器や専門的指導を要するといった要因についても引き続き検討は必要である。しかしながら、WBVトレーニングは、従来のトレーニングの実践やそれによる十分な効果が期待できなかつた虚弱前段階の高齢者、移動能力制限の低下、低栄養、低体重傾向や痩せ、過体重傾向で関節痛を抱える高齢者や運動実践を煩わしく感じ運動意欲の低い高齢者に向けて運動の機会を与え、一定の安全性を確保しつつ、運動機能、身体組成に好影響を与える可能性が示され、WBVトレーニングを使用する条件が整っている環境にある高齢者には積極的な利用を推奨することができる運動様式の一つとなりうることを示唆された。本博士論文で得られた知見は、WBVトレーニングの普及、虚弱化および要介護化の予防だけでなく、寿命の延長とともに「不健康な期間」が拡大するような超高齢社会

において WBV トレーニングのような環境制約の少ない運動様式や情報通信技術や人工知能，ロボットなどの最新技術を利用した運動様式の開発，それらの提供に向けた基礎資料としての貢献も期待される．

引用文献

Abercromby AF, Amonette WE, Layne CS, McFarlin BK, Hinman MR, Paloski WH (2007) Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10), 1794-1800.

相羽達弥, 蘇リナ, 田中喜代次 (2011) 筋骨格に対する加速度トレーニング®. *臨床スポーツ医学*, 28(12), 1392-1397.

相羽達弥, 大須賀洋祐, 大久保善郎, 鄭松伊, 金泰浩, 田中喜代次 (2016) 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* (in press).

相羽達弥, 大須賀洋祐, 大久保善郎, 鄭松伊, 金泰浩, 田中喜代次 (2017) 全身振動刺激を用いた運動プログラムが高齢者の体組成に及ぼす効果. *介護福祉・健康づくり研究* (in press).

相羽達弥, 大久保善郎, 大須賀洋祐, 辻本健彦, 鄭松伊, ラファエル・フィゲロア, 金甫建, 金泰浩, 石井直方, 田中喜代次 (2015) 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*, 17(2), 23-30.

Alarcon T, Barcena A, Gonzzlez-Montalvo JI, Penalosa C, Salgado A (2007) Factors predictive of outcome on admission to an acute geriatric ward. *Age Ageing*, 28(5), 429-432.

American College of Sports Medicine (2009a) Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 687-708.

American College of Sports Medicine (2009b) Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(7), 1510-1530.

荒井秀典 (2016) サルコペニアとフレイル{ロコモとの相違について考え

る} . 体力科学, 65(3), 337-341.

荒尾孝 (1999) 地域高齢者の生活体力と身体的健康状態との関係. 体力研究, 96, 1-14.

荒尾孝, 種田行男, 永松俊哉 (1998) 地域高齢者の生活体力とその関連要因. 日本公衆衛生雑誌, 45(5), 396-406.

Bautmans I, Van Hees E, Lemper JC, Mets T (2005) 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, 5, 17.

Bedient AM, Adams JB, Edwards DA, Serravite DH, Huntsman E, Mow SE, Roos BA, Signorile JF (2009) Displacement and frequency for maximizing power output resulting from a bout of whole-body vibration. J Strength Cond Res, 23(6), 1683-1687.

Bemben DA, Palmer IJ, Bemben MG, Knehans AW (2010) Effects of combined whole-body vibration and resistance training on muscular strength and bone metabolism in postmenopausal women, Bone, 47(3), 650-656.

Bocalini DS, Lima LS, de Andrade S, Madureira A, Rica RL, Dos Santos RN, Serra AJ, Silva JA Jr, Rodriguez D, Figueira A Jr, Pontes FL Jr (2012) Effects of circuit-based exercise programs on the body composition of elderly obese women. Clin Interv Aging, 7:551-556.

Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S (2007a) Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: A 1 year randomized controlled trial. Gait Posture, 26(2), 309-316.

Bogaerts A, Delecluse C, Claessens AL, Coudyzer W, Boonen S, Verschueren SM (2007b) 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, 62(6), 630-635.

Boo JA, Moon SH, Lee SM, Choi JH, Park SE (2016) 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*, 28(2), 558-562.
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O (1999a) Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 79(4), 306-311.
- Bosco C, Cardinale M, Colli R, Tihanyi J, SPv Duvillard, Viru A (1998a) The influence of whole body vibration on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Biol Sport*, 153, 157–164.
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O, Colli R, Tihanyi J, von Duvillard SP, Viru A (1998b) The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biology of Sport*, 15(3), 157–164.
- Bosco C, Colli R, Introvini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, Tihanyi J, Viru A (1999b) Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19(2), 183-187.
- Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, TihanyiJ, Viru M, De Lorenzo A, Viru A (2000) Hormonal responses to whole-body vibration in men. *Eur J Appl Physiol*, 81(6), 449-454.
- Bovenzi M, Zadini A, Franzinelli A, Borgogni F (1991) Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration. *Ergonomics*, 34(3), 547-562.
- Broadbent S, Rousseau JJ, Thorp RM, Choate SL, Jackson FS, Rowlands DS (2008) Vibration therapy reduces plasma IL6 and muscle soreness after downhill running. *Br J Sports Med*, 44(12), 888-894.
- Brody KK, Johnson RE, Douglas Ried L (1997) Evaluation of a self-report screening instrument to predict frailty outcomes in aging populations. *Gerontologist*, 37(2), 182-191.
- Burke D, Hagbarth KE, Lofstedt L, Wallin BG (1976) The responses of human muscle spindle endings to vibration during isometric contraction. *J Physiol*, 261(3), 695-711.
- Cadore EL, Rodriguez-Manas L, Sinclair A, Izquierdo M (2013) Effects of

different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review, *Rejuvenation Res*, 16(2), 105-114.

Cardinale M, Bosco C (2003) The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(1), 3-37.

Cardinale M, Lim J (2003) Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res*, 17(3), 621-624.

Cardinale M, Wakeling J (2005) Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med*, 39(9), 585-589.

Cardinale M, Soiza RL, Leiper JB, Gibson A, Primrose WR (2010) Hormonal responses to a single session of wholebody vibration exercise in older individuals. *Br J Sports Med*, 44(4), 284-288.

Carlson JE, Zocchi KA, Bettencourt DM, Gambrel ML, Freeman JL, Zhang D, Goodwin JS (1998) Measuring frailty in the hospitalized elderly: concept of functional homeostasis. *Am J Phys Med Rehabil*, 77(3), 252-257.

Cawthon PM, Marshall LM, Michael Y, Dam TT, Ensrud KE, Barrett-Connor E, Orwoll ES, Osteoporotic Fractures in Men Research Group (2007) Frailty in older men: prevalence, progression, and relationship with mortality. *J Am Geriatr Soc*, 55(8), 1216-1223.

Coakley EH, Kawachi I, Manson JE, Speizer FE, Willet WC, Colditz GA (1998) Lower levels of physical functioning are associated with higher body weight among middle-aged and older women, *Int J Obes Relat Metab Disord*, 22(10), 958-965.

Cochrane DJ (2011) Vibration exercise: the potential benefits. *Int J Sports Med*, 32(2), 75-99.

Cochrane DJ, Stannard SR, Sargeant AJ, Rittweger J (2008a) The rate of muscle temperature increase during acute whole-body vibration exercise. *Eur J Appl Physiol*, 103(4), 441-448.

Cochrane DJ, Stannard SR, Firth EC, Rittweger J (2010) Comparing muscle temperature during static and dynamic squatting with and without

- whole-body vibration. *Clin Physiol Funct Imaging*, 30(4), 223-229.
- Cochrane DJ, Sartor F, Winwood K, Stannard SR, Narici M, Rittweger J (2008b) A comparison of the acute physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(5), 815-821.
- Covinsky KE, Justice AC, Rosenthal GE, Palmer RM, Landefeld CS (1997) Measuring prognosis and case mix in hospitalized elders. The importance of functional status. *J Gen Intern Med*, 12(4), 203-208.
- Crewther B, Cronin J, Keogh J (2004) Gravitational forces and whole body vibration: implications for prescription of vibratory stimulation. *Phys Ther Sport*, 5(1), 37-43.
- Cristi-Montero C, Cuevas MJ, Collado PS (2013) Whole-body vibration training as complement to programs aimed at weight loss. *Nutr Hosp*, 28(5), 1365-1371.
- Cronin JB, Oliver M, McNair PJ (2004) Muscle stiffness and injury effects of whole body vibration, *Phys Ther Sport*, 5(1), 68-74.
- Da Silva-Grigoletto ME, De Hoyo M, Sanudo B, Carrasco L, Garcia-Manso JM (2011) Determining the optimal whole-body vibration dose-response relationship for muscle performance. *J Strength Cond Res*, 25(12), 3326-3333.
- Davis JW, Ross PD, Preston SD, Nevitt MC, Wasnich RD (1998) Strength, physical activity, and body mass index: relationship to performance-based measures and activities of daily living among older Japanese women in Hawaii. *J Am Geriatr Soc*, 46(3), 274-279.
- deJong AA, Franklin BA (2004) Prescribing exercise for the elderly: current research and recommendations. *Curr Sports Med Rep*, 3(6), 337-343.
- Delecluse C, Roelants M, Verschueren S (2003) Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 1033-1041.
- Di Giminiani R, Tihanyi J, Safar S, Scrimaglio R (2009) The effects of vibration on explosive and reactive strength when applying

- individualized vibration frequencies. *J Sports Sci*, 27(2), 169-177.
- Ferraro KF, Booth TL (1999) Age, body mass index, and functional illness. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 54(6), 5339-5348.
- Ferreira RS, da Silva Coqueiro R, Barbosa AR, Pinheiro PA, Fernandes MH (2013) Relationship between BMI and physical performance among older adults. *Geriatr Nurs*, 34(6), 465-468.
- Fjeldstad C, Palmer IJ, Bembem MG, Bembem DA (2009) Whole-body vibration augments resistance training effects on body composition in postmenopausal women. *Maturitas*, 63(1), 79-83.
- Fontana TL, Richardson CA, Stanton WR (2005) The effect of weight-bearing exercise with low frequency, whole body vibration on lumbosacral proprioception: a pilot study on normal subjects. *Aust J Physiother*, 51(4), 259-263.
- Fortinsky RH, Covinsky KE, Palmer RM, Landefeld CS (1999) Effects of functional status changes before and during hospitalization on nursing home admission of older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 54(10), M521-526.
- Fried LP, Bandeen-Roche K, Chaves PH, Johnson BA (2000) Preclinical mobility disability predicts incident mobility disability in older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(1), M43-52.
- Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, Seeman T, Tracy R, Kop WJ, Burke G, McBurnie MA (2001) Frailty in older adults: evidence for a phenotype, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56(3), M146-156.
- Galanos AN, Pieper DF, Cornoni-Huntley JC, Bales CW, Fillenbaum GG (1994) Nutrition and function: Is there a relationship between body mass index and the functional capabilities of community-dwelling elderly? *J Am Geriatr Soc*, 42(4), 368-373.
- Gilsanz V, Wren TA, Sanchez M, Dorey F, Judex S, Rubin C (2006) Low-level, high-frequency mechanical signals enhance musculoskeletal development of young women with low BMD. *J Bone Miner Res*, 21(9), 1464-1474.

- Global Advocacy Council for Physical Activity, International Society for Physical Activity and Health (2010) The Toronto Charter for Physical Activity: A Global Call for Action. (<http://www.globalpa.org.uk/pdf/torontocharter-eng-20may2010.pdf>) 2017.1.21
- Goins RT, Innes K, Dong L (2012) Lower body functioning prevalence and correlates in older American Indians in a southeastern tribe: the Native Elder Care Study. *J Am Geriatr Soc*, 60(3), 577-582.
- Gomez-Cabello A, Ara I, Gonzalez-Aguero A, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G (2012) Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Med*, 42(4), 301-325.
- Gomez-Cabello A, Gonzalez-Aguero A, Ara I, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G (2013a) Effects of a short-term whole body vibration intervention on physical fitness in elderly people. *Maturitas*, 74(3), 276-278.
- Gomez-Cabello A, Gonzalez-Aguero A, Ara I, Casajus JA, Vicente-Rodriguez G (2013b) Effects of a short-term whole body vibration intervention on lean mass in elderly people. *Nutr Hosp*, 28(4), 1255-1258.
- Guralnik JM, LaCroix AZ, Abbott RD, Berkman LF, Satterfield S, Evans DA, Wallace RB (1993) Maintaining mobility in late life. I. Demographic characteristics and chronic conditions. *Am J Epidemiol*, 137(8), 845-857.
- Gusi N, Raimundo A, Leal A (2006) Low-frequency vibratory exercise reduces the risk of bone fracture more than walking: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*, 7, 92.
- Hagbarth KE, Eklund G (1965) Motor effects of vibratory stimuli in man. In: *Muscular Afferent and Motor Control*, Granit R, ed. Stockholm: Almqvist and Wiksell, 177-186.
- 韓一榮, 仲立貴, 大野誠 (2004) 高齢女性の体力と健康づくり運動の効果 -BMI 別に見た下肢筋力・歩行機能に関する検討. *肥満研究*, 10(3), 297-302.
- Hannan MT, Cheng DM, Green E, Swift C, Rubin CT, Kiel DP (2004) Establishing the compliance in elderly women for use of a low level mechanical stress device in a clinical osteoporosis study. *Osteoporos Int*,

15(11), 918-926.

原田敦 (2012) 転倒・骨折患者にみられる虚弱(Frailty). *Clin Calcium*, 22(4), 27-33.

原田敦 (2014) サルコペニアの疫学. *Clin Calcium*, 24(5), 669-678.

原田和宏, 島田裕之, Patricia SAWYER, 浅川康吉, 二瓶健司, 金谷さとみ, 古名丈人, 石崎達郎, 安村誠司 (2010) 介護予防事業に参加した地域高齢者における生活空間 (life-space) と点数化評価の妥当性の検討. *日本公衆衛生雑誌*, 57(7), 526-537.

Harris T, Kovar MG, Suzman R, Kleinman JC, Feldman JJ (1989) Longitudinal study of physical ability in the oldest-old. *Am J Public Health*, 79(6), 698-702.

Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, Bauman A (2007) 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*, 39(8), 1423-1434.

Hazell TJ, Jakobi JM, Kenno KA (2007) The effects of whole-body vibration on upper- and lower-body EMG during static and dynamic contractions. *Appl Physiol Nutr Metab*, 32(6), 1156-1163.

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 (2009) 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*, 17(1), 76-83.

Hoogerduijn JG, Schuurmans MJ, Duijnste MS, de Rooij SE, Grypdonck MF (2006) A systematic review of predictors and screening instruments to identify older hospitalized patients at risk for functional decline. *Journal of Clinical Nursing*, 16(1), 46-57.

Huang CC, Tseng TL, Huang WC, Chung YH, Chuang HL, Wu JH (2014) Whole-body vibration training effect on physical performance and

obesity in mice, *Int J Med Sci*, 11(12), 1218-27.

Ikeda N, Inoue M, Iso H, Ikeda S, Satoh T, Noda M, Mizoue T, Imano H, Saito E, Katanoda K, Sobue T, Tsugane S, Naghavi M, Ezzati M, Shibuya K (2012) Adult mortality attributable to preventable risk factors for non-communicable diseases and injuries in Japan: a comparative risk assessment, *PLoS Med* 9(1), e1001160.

Ingold BB, Yersin B, Wietlisbach V, Burckhardt P, Bumand B, Bula CJ (2000) Characteristics associated with inappropriate hospital use in elderly patients admitted to a general internal medicine service. *Aging (Milano)*, 12(6), 430-438.

Inouye SK, Studenski S, Tinetti ME, Kuchel GA (2007) Geriatric syndromes: clinical, research, and policy implications of a core geriatric concept. *J Am Geriatr Soc*, 55(5), 780-791.

Issurin VB, Tenenbaum G (1999) Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J Sports Sci*, 17(3), 177-182.

Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G (1994) Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*, 12(6), 561-566.

Janssen I, Heymsfield SB, Ross R (2002) Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc*, 50(5), 889-896.

Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, Takeda T, Sato Y, Iwamoto J (2007) Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *Keio J Med*, 56(1), 28-33.

Kerschman-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, Imhof H (2001) Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol*, 21(3), 377-382.

Kessler J, Radlinger L, Baur H, Rogan S (2014) Effect of stochastic resonance whole body vibration on functional performance in the frail elderly: A pilot study. *Arch Gerontol Geriatr*, 59(2), 305-311.

Kiiski J, Heinonen A, Jarvinen TL, Kannus P, Sievanen H (2008) Transmission of vertical whole body vibration to the human body. *J Bone Miner Res*, 23(8), 1318-1325.

金禧植, 稲垣敦, 田中喜代次 (1993) 高齢女性の日常生活における活動能力を評価するための簡易質問紙の作成. *体育学研究*, 38(3), 187-200.

Kipp K, Johnson ST, Doeringer JR, Hoffman MA (2011) Spinal reflex excitability and homosynaptic depression after a bout of whole-body vibration. *Muscle Nerve*, 43(2), 259-262.

Knuttgen HG, Kraemer WJ (1987) Terminology and Measurement in Exercise Performance. *J Strength Cond Res*, 1(1), 1-10.

厚生労働省 (2000) 健康日本 21. ([http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21\\_11/pdf/s0.pdf](http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/pdf/s0.pdf)) 2017.1.21

厚生労働省 (2009a) 総合的介護予防システムについてのマニュアル (改訂版) . ([www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1b.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1b.pdf)) 2017.1.21

厚生労働省 (2009b) 介護予防のための生活機能評価に関するマニュアル (改訂版) . ([http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1c\\_0001.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1c_0001.pdf)) 2017.1.21

厚生労働省 (2011) 平成 22 年国民生活基礎調査の概況. (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/dl/gaikyou.pdf>) 2017.1.21

厚生労働省 (2013a) 運動基準・運動指針の改定に関する検討会 報告書. (<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf>) 2017.1.21

厚生労働省 (2013b) 健康づくりのための身体活動指針 (アクティブガイド) . (<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpr1.pdf>) 2017.1.21



- 厚生労働省 (2015) 平成 27 年度簡易生命表の概況. (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life15/dl/life15-15.pdf>) 2017.1.21
- 厚生労働省 (2016a) 平成 26 年国民健康・栄養調査報告. (<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoudl/h26-houkoku.pdf>) 2017.1.21
- 厚生労働省 (2016b) 平成 28 年度版厚生労働白書. (<http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/16/dl/all.pdf>) 2017.1.21
- Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T (2001) Influence of static stretching on viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*, 90(2), 520-527.
- 葛谷雅文 (2009) 老年医学における Sarcopenia & Frailty の重要性. *日本老年医学会雑誌*, 46(4), 279-285.
- Kvorning T, Bagger M, Caserotti P, Madsen K (2006) Effects of vibration and resistance training on neuromuscular and hormonal measures. *Eur J Appl Physiol*, 96(5), 615-625.
- Lamb SE, Guralnik JM, Buchner DM, Ferrucci LM, Hochberg MC, Simonsick EM, Fried LP (2000) Factors that modify the association between knee pain and mobility limitation in older women: the Women's Health and Aging Study. *Ann Rheum Dis*, 59(5), 331-337.
- Lamont HS, Cramer JT, Bembien DA, Shehab RL, Anderson MA, Bembien MG (2010) The acute effect of wholebody low-frequency vibration on countermovement vertical jump performance in college-aged men. *J Strength Cond Res*, 24(12), 3433-3442.
- Launer LJ, Harris T, Rumpel C, Madans J (1994) Body mass index, weight change, and risk of mobility disability in middle-aged and older women. The epidemiologic follow-up study of NHANES I. *JAMA*, 271(14), 1093-1098.
- Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di-lorio A, Corsi AM, Rantanen T, Guralnik JM, Ferrucci L (2003) Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*, 95(5), 1851-1860.

- Lee KJ, Yi YJ, Kim CN (2007) Comparison of the effects of an exercise program in non-obese and obese women. *Taehan Kanho Hakhoe Chi*, 37(5), 684-692.
- Lees FD, Clarkr PG, Nigg CR, Newman P (2005) Barriers to exercise behavior among older adults: a focus-group study, *J Aging Phys Act*, 13(1), 23-33.
- Lexell J, Taylor CC, Sjostrom M (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci*, 84(2-3), 275-294.
- Lin CI, Huang WC, Chen WC, Kan NW, Wei L, Chiu YS, Huang CC (2015) Effect of whole-body vibration training on body composition, exercise performance and biochemical responses in middle-aged mice, *Metabolism*, 64(9), 1146-1156.
- ロコモ チャレンジ！推進協議会 (n.d.) 「ロコモ」を知ろう. (<https://locomo-joa.jp/locomo/01.html>) 2017.1.21
- Luo J, McNamara B, Moran K (2005) The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med*, 35(1), 23-41.
- Maddalozzo GF, Iwaniec UT, Turner RT, Rosen CJ, Widrick JJ (2008) Whole-body vibration slows the acquisition of fat in mature female rats. *Int J Obes*, 32(9), 1348-1354.
- Marcus BH and Forsyth LH: 下光輝一, 中村好男, 岡浩一朗監訳 (2006) 行動科学を活かした身体活動・運動支援—活動的なライフスタイルへの動機付け. 大修館書店, 東京, 14-15.
- Marin PJ, Bunker D, Rhea MR, Ayllon FN (2009) Neuromuscular activity during whole-body vibration of different amplitudes and footwear conditions: implications for prescription of vibratory stimulation. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2311-2316.
- Massion J (1992) Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol*, 38(1), 35-56.

- McBride JM, Nuzzo JL, Dayne AM, Israetel MA, Nieman DC, Triplett NT (2010) Effect of an acute bout of whole body vibration exercise on muscle force output and motor neuron excitability. *J Strength Cond Res*, 24(1), 184-189.
- McMurdo ME, Johnstone R (1995) A randomized controlled trial of a home exercise programme for elderly people with poor mobility. *Age Ageing*, 24(5), 425-428.
- Melzack R, Wall PD (1965) Pain mechanisms: a new theory. *Science*, 150(3699), 971-979.
- Merriman H, Jackson K (2009) The effects of whole-body vibration training in aging adults: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther*, 32(3), 134-145.
- Merriman HL, Braehler CJ, Jackson K (2011) Systematically controlling for the influence of age, sex, hertz and time post-whole-body vibration exposure on four measures of physical performance in community-dwelling older adults: a randomized cross-over study, *Curr Gerontol Geriatr Res*, 2011:747094.
- Mester J, Spitzenfeil P, Schwarzer J, Seifriz F (1999) Biological reaction to vibration--implications for sport. *J Sci Med Sport*, 2(3), 211-226.
- Milanese C, Piscitelli F, Simoni C, Pugliarello R, Zancanaro C (2012) Effects of whole-body vibration with or without localized radiofrequency on anthropometry, body composition, and motor performance in young nonobese women, *J Altern Complement Med*, 18(1), 69-75.
- 文部科学省 (2013) 体力・スポーツに関する世論調査 (平成 25 年 1 月調査) . ([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/toukei/chousa04/sports/1338692.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa04/sports/1338692.htm)) 2017.1.21
- Morey MC, Pieper CF, Crowley GM, Sullivan RJ, Puglisi CM (2002) Exercise adherence and 10-year mortality in chronically ill older adults. *J Am Geriatr Soc*, 50(12), 1929-1933.
- Morley JE, Haren MT, Rolland Y, Kim MJ (2006) Frailty. *Med Clin North Am*, 90(5), 837-847.

- Morris JN, Hardman AE (1997) Walking to health. *Sports Med*, 23(5), 306-332.
- Morse CI, Degens H, Seynnes OR, Maganaris CN, Jones DA (2008) The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol*, 586(1), 97-106.
- Nagi SZ (1965) Some conceptual issues in disability and rehabilitation, in: M.B. Sussman, (Ed.), *Sociology and rehabilitation*. American Sociological Association, Washington, DC, 100-113.
- Nagi SZ (1976) An epidemiology of disability among adults in the United States. *Milbank, Q.* 54, 439-467.
- 内閣府 (2016) 平成 27 年度版高齢社会白書. ([http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-016/zenbun/28pdf\\_index.html](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-016/zenbun/28pdf_index.html)) 2017.1.21
- Nalbant O, Toktas N, Toraman NF, Ogus C, Aydin H, Kacar C, Ozkaya YG (2009) Vitamin E and aerobic exercise: effects on physical performance in older adults. *Aging Clin Exp Res*, 21(2), 111-121.
- Narain P, Rubenstein LZ, Wieland GD, Rosbrook B, Strome LS, Pietruszka F, Morley JE (1988) Predictors of immediate and 6-month outcomes in hospitalized elderly patients. The importance of functional status. *J Am Geriatr Soc*, 36(9), 775-783.
- Nazarov V, Spivak G (1985) Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method. *Theory and Practice of Physical Culture*, 12, 445-450.
- Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, Duncan PW, Judge JO, King AC, Macera CA, Castaneda-Sceppa C, American College of Sports Medicine, American Heart Association (2007) Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*, 116(9), 1094-1105.
- 根本みゆき (2013) 要介護化ハイリスク高齢者を抽出するためのスクリーニング指標の作成 : 身体機能と身体組成に基づいて. 博士論文,

筑波大学, つくば, 3-37.

日本骨代謝学会, 日本骨粗鬆症学会合同原発性骨粗鬆症診断基準改訂検討委員会 (2013) 原発性骨粗鬆症の診断基準 {2012 年度改訂版}.  
Osteoporosis Japan, 21(1), 9-21.

Novotec Medical GmbH (n.d.) Functional principle of Galileo® Training.  
(<https://www.galileo-training.com/uk-english/products/galileo-therapy-systems/vibration-therapy.html>) 2017.4.15

大淵修一 (2009) 運動器の機能向上マニュアル (改訂版) . (<http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1d.pdf>) 2017.1.21

Ochi A, Abe T, Yamada K, Ibuki S, Tateuchi H, Ichihashi N (2015) 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, 60(2), 244-251.

Okubo Y, Seino S, Yabushita N, Osuka Y, Jung S, Nemoto M, Figueroa R, Tanaka K (2015) Longitudinal association between habitual walking and fall occurrences among community-dwelling older adults: analyzing the different risks of falling. Arch Gerontol Geriatr, 60(1), 45-51.

大久保善郎, 清野諭, 藪下典子, 松尾知明, 大須賀洋祐, 金美芝, 鄭松伊, 根本みゆき, 大月直美, 田中喜代次 (2011) 地域在住高齢者のウォーキング実践と複数回または傷害を伴う転倒の関連 ~転倒リスク保有数による差異~. 体力科学, 60 (2), 239-248.

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 (2015) 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, 64(4), 407-418.

Park SY, Son WM, Kwon OS (2015) Effects of whole body vibration training on body composition, skeletal muscle strength, and cardiovascular health. J Exerc Rehabil, 11(6), 289-295.

- Parker M, Baker PS, Allman RM (2001) A life-space approach to functional assessment of mobility in the elderly. *J Gerontol Soc Work*, 35(4), 35-55.
- Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, Buchner D, Ettinger W, Heath WG, King AC, Kriska A, Leon AS, Marcus BH, Morris J, Paffenbarger RS, Patrick K, Pollock ML, Rippe JM, Sallis J, Wilmore JH (1995) Physical activity and public health: a recommendation from the Center for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273(5), 402-407.
- Performance Health Systems (n.d.) Effects of Power Plate® Training on Sprint Running Kinematics and Explosive Strength Performance. (<https://powerplate.com/education-training/research/power-plate-training-improves-sprint-performance>) 2017.4.15
- Province MA, Hadley EC, Hornbrook MC, Lipsitz LA, Miller JP, Mulrow CD, Ory MG, Sattin RW, Tinetti ME, Wolf SL (1995) The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned meta-analysis of the FICSIT Trials. *Frailty and injuries: cooperative studies of intervention techniques. JAMA*, 273(17), 1341-1347.
- Raimundo AM, Gusi N, Tomas-Carus P (2009) Fitness efficacy of vibratory exercise compared to walking in postmenopausal women. *Eur J Appl Physiol*, 106(5), 741-748.
- Rehn B, Lidstrom J, Skoglund J, Lindstrom B (2007) Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*, 17(1), 2-11.
- Rikli RE, Jones CJ (2000) Senior fitness test manual. Rikli RE, Jones CJ, editor, Human Kinetics, Champaign, 116-127.
- Rittweger J (2010) Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol*, 108(5), 877-904.
- Rittweger J, Beller G, Felsenberg D (2000) Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol*, 20(2), 134-142.
- Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D (2001) Oxygen uptake during wholebody vibration exercise: comparison with squatting as a slow

- voluntary movement. *Eur J Appl Physiol*, 86(2), 169–173.
- Rittweger J, Ehrig J, Just K, Mutschelknauss M, Kirsch KA, Felsenberg D (2002) Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med*, 23(6), 428-432.
- Ritzmann R, Gollhofer A, Kramer A (2013) The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration. *Eur J Appl Physiol*, 113(1), 1-11.
- Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM (2004a) Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc*, 52(6), 901-908.
- Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S (2004b) Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med*, 25(5), 1-5.
- Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, Levin O, Stijnen V (2006) Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res*, 20(1), 124-129.
- Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, Morley JE, Cesari M, Onder G, Woo J, Baumgartner R, Pillard F, Boirie Y, Chumlea WM, Vellas B (2008) Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *J Nutr Health Aging*, 12(7), 433-450.
- Rønnestad BR (2009) Acute effects of various whole body vibration frequencies on 1RM in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res*, 23(7), 2068-2072.
- Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K (2004) Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J Bone Miner Res*, 19(3), 343-351.
- Rubin CT, Capilla E, Luu YK, Busa B, Crawford H, Nolan DJ, Mittal V, Rosen CJ, Pessin JE, Judex S (2007) Adipogenesis is inhibited by brief, daily exposure to high-frequency, extremely low-magnitude mechanical signals. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.*, 104(45), 17879-17884.

- Rudberg MA, Parzen MI, Leonard LA, Cassel CK (1996) Functional limitation pathways and transitions in community-dwelling older persons. *Gerontologist*, 36(4), 430-440.
- Russo CR, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik JM, Ferrucci L (2003) High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(12), 1854-1857.
- Sara EE, Linda PF (2007) Risk factors for frailty in the older adult. *Clinical Geriatrics*, 15(6), 37-44.
- 佐竹昭介 (2014) 虚弱 (フレイル) の評価を診療の中に, 長寿医療研究センター病院レター, 49, 1-4. (<http://www.ncgg.go.jp/hospital/iryokankei/documents/hospitalletter49.pdf>) 2017.1.21
- Satish S, Winograd CH, Chavez C, Bloch DA (1996) Geriatric targeting criteria as predictors of survival and health care utilization. *J Am Geriatr Soc*, 44(8), 914-921.
- Saulicz M, Saulicz E, Mysliwiec A, Wolny T, Linek P, Knapik A, Rottermund J (2015) 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*, 14(2), 105-111.
- Schiessl H, Frost HM, Jee WS (1998) Estrogen and bone-muscle strength and mass relationships. *Bone*, 22(1), 1-6.
- Schonau E, Schwahn B, Rauch F (2002) The muscle-bone relationship: methods and management - perspectives in glycogen storage disease. *Eur J Pediatr*, 161(Suppl 1), S50-52.
- Schutzer KA, Graves BS (2004) Barriers and motivations to exercise in older adults. *Prev Med*, 39(5), 1056-1061.
- 清野諭 (2013) 高齢女性の老年症候群指標としての身体パフォーマンステスト. 博士論文, 筑波大学, つくば, 2-15.
- Sergi G, Perissinotto E, Toffanello ED, Maggi S, Manzato E, Buja A, Coin A,



- Frigo AC, Inelmen EM, Enzi G (2007) Lower extremity motor performance and body mass index in elderly people: the Italian Longitudinal Study on Aging. *J Am Geriatr Soc*, 55(12), 2023-2029.
- Sherrington C, Whitney JC, Lord SR, Herbert RD, Cumming RG, Close JC (2008) Effective exercise for the prevention of falls: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 56(12), 2234-2243.
- Shimada H, Makizako H, Doi T, Yoshida D, Tsutsumimoto K, Anan Y, Uemura K, Ito T, Lee S, Park H, Suzuki T (2013) Combined prevalence of frailty and mild cognitive impairment in a population of elderly Japanese people. *J Am Med Dir Assoc*, 14(7), 518-524.
- Sievanen H, Karinkanta S, Moision-Vilenius P, Ripsaluoma J (2014) Feasibility of whole-body vibration training in nursing home residents with low physical function: a pilot study. *Aging Clin Exp Res*, 26(5), 511-517.
- Sitja-Rabert M, Rigau D, Fort Vanmeerghaeghe A, Romero-Rodriguez D, Bonastre Subirana M, Bonfill X (2012) Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil*, 34(11), 883-893.
- Slatkovska L, Alibhai SM, Beyene J, Cheung AM (2010) Effect of whole-body vibration on BMD: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int*, 21(12), 1969-1980.
- Sofi F, Valecchi D, Bacci D, Abbate R, Gensini GF, Casini A, Macchi C (2011) Physical activity and risk of cognitive decline: a meta-analysis of prospective studies. *J Intern Med*, 269(1), 107-117.
- Speechley M, Tinetti M (1991) Falls and injuries in frail and vigorous community elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 39(1), 46-52.
- Steib S, Schoene D, Pfeifer K (2010) Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 42(5), 902-914.
- Sternberg SA, Levin R, Dkaidek S, Edelman S, Resnick T, Menczel J (2014) Frailty and osteoporosis in older women--a prospective study. *Osteoporos Int*, 25(2), 763-768.

- Stewart JA, Cochrane DJ, Morton RH (2009) Differential effects of whole body vibration durations on knee extensor strength. *J Sci Med Sport*, 12(1), 50-53.
- Stolzenberg N, Belavy DL, Beller G, Armbrecht G, Semler J, Felsenberg D (2013) Bone strength and density via pQCT in post-menopausal osteopenic women after 9 months resistive exercise with whole body vibration or proprioceptive exercise, *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 13(1), 66-76.
- St-Onge MP (2005) Relationship between body composition changes and changes in physical function and metabolic risk factors in aging. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 8(5), 523-528.
- Stuck AE, Walthert JM, Nikolaus T, Bula CJ, Hohmann C, Beck JC (1999) Risk factors for functional status decline in community-living elderly people; a systematic literature review. *Soc Sci Med*, 48(4), 445-469.
- Suzman R, Rilty MW (1985) Introducing the oldest old. *Millbank Memorial Fund*, 63(2), 177-186.
- 鈴木隆雄 (2003) 老年症候群：要介護への要因. *理学療法科学*, 18(4), 183-186.
- 竹島伸生, 岡田壮市, 加藤芳司 (2015) 虚弱高齢者に対する軽度の運動がもたらす効果 -特異性を理解した運動の組み立て-. *体力科学*, 64(1), 11.
- 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 (2013) 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*, 30(6), 507-514.
- 種田行男, 荒尾孝, 西嶋洋子, 北畠義典, 永松俊哉, 一木昭男, 江橋博, 前田明 (1996) 高齢者の身体的活動能力（生活体力）の測定法の開発. *日本公衆衛生雑誌*, 43(3), 196-207.
- Tapp LR, Signorile JF (2014) Efficacy of WBV as a modality for inducing

changes in body composition, aerobic fitness, and muscular strength: a pilot study. *Clin Interv Aging*, 9, 63-72.

The Lancet Physical Activity Series Working Group (2012) Physical Activity 2012. *Lancet*, 380(9838), 219-305.

鳥羽研二 (2004) 老年症候群とは何か. *治療学*, 38(7), 716-719.

Tokunaga K, Matsuzawa Y, Kotani K, Keno Y, Kobatake T, Fujioka S, Tarui S (1991) Ideal body weight estimated from the body mass index with the lowest morbidity. *Int J Obes*, 15(1), 1-5.

Tolomio S, Ermolao A, Travain G, Zaccaria M (2008) Short-term adapted physical activity program improves bone quality in osteopenic/osteoporotic postmenopausal women. *J Phys Act Health*, 5(6), 844-853.

Topinkova E (2008) Aging, disability and frailty. *Ann Nutr Metab*, 52(Suppl 1), 6-11.

Torvinen S, Sievanen H, Jarvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Kannus P (2002a) Effect of a 4-minute vertical whole body vibration on muscle performance and body balance: a randomized cross-over study. *Int J Sports Med*, 23(5), 374-379.

Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, Jarvinen TL, Jarvinen M, Oja P, Vuori I (2002b) Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance: Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 22(2), 145-152.

Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, Nenonen A, Jarvinen TL, Paakkala T, Jarvinen M, Vuori I (2003) Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *J Bone Miner Res*, 18(5), 876-884.

Tsuji T, Kitano N, Tsunoda K, Himori E, Okura T, Tanaka K (2014) Short-term effects of whole-body vibration on functional mobility and flexibility in healthy, older adults: a randomized crossover study. *J Geriatr Phys Ther*, 37(2), 58-64.

- 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 (2012) 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, 61(2), 211-219.
- Turner AP, Sanderson MF, Attwood LA (2011) The acute effect of different frequencies of whole-body vibration on countermovement jump performance. *J Strength Cond Res*, 25 (6), 1592-1597.
- 梅田典子, 中垣内真樹, 坂井智明, 中村容一, 田中喜代次 (2002) BMI 別にみた高齢女性の体力. 民族衛生, 68(5), 178-187.
- van den Tillaar R (2006) Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *J Strength Cond Res*, 20(1), 192-196.
- van der Meer G, Zeinstra E, Tempelaars J, Hopson S: 戸澤明子, 浅野勝己監訳 (2011) 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.
- Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S (2004) Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res*, 19(3), 352-359.
- von Stengel S, Kemmler W, Engelke K, Kalender WA (2012) Effect of whole-body vibration on neuromuscular performance and body composition for females 65 years and older: a randomized-controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*, 22(1), 119-127.
- Walston JD (2012) Sarcopenia in older adults. *Curr Opin Rheumatol*, 24(6), 623-627.
- Walston J, Hadley EC, Ferrucci L, Guralnik JM, Newman AB, Studenski SA, Ershler WB, Harris T, Fried LP (2006) Research agenda for frailty in older adults: toward a better understanding of physiology and etiology: summary from the American Geriatrics Society/National Institute on Aging Research Conference on Frailty in Older Adults. *J Am Geriatr Soc*,

54(6), 991-1001.

Wang ZM, Visser M, Ma R, Baumgartner RN, Kotler D, Gallagher D, Heymsfield SB (1996) Skeletal muscle mass: evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J Appl Physiol*, 80(3), 824-831.

Wei N, Pang MY, Ng SS, Ng GY (2016) Optimal frequency/time combination of whole-body vibration training for improving muscle size and strength of people with age-related muscle loss (sarcopenia): A randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int*, doi: 10.1111/ggi.12878.

Weiss CO (2011) Frailty and chronic diseases in older adults. *Clin Geriatr Med*, 27(1). 39-52.

Whitson HE, Purser JL, Cohen HJ (2007) Frailty thy name is ... Phrailty? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 62(7), 728-730.

Wijlhuizen GJ, Chorus AM, Hopman-Rock M (2010) The FARE: a new way to express falls risk among older persons including physical activity as a measure of exposure. *Prev Med*, 50(3), 143-147.

Wilms B, Frick J, Ernst B, Mueller R, Wirth B, Schultes B (2012) Whole body vibration added to endurance training in obese women - a pilot study. *Int J Sports Med*, 33(9), 740-743.

Woo J, Leung J, Kwok T (2007) BMI, body composition, and physical functioning in older adults. *Obesity (Silver Spring)*, 15(7), 1886-1894.

Woods NF, LaCroix AZ, Gray SL, Aragaki A, Cochrane BB, Brunner RL, Masaki K, Murray A, Newman AB (2005) Frailty: emergence and consequences in women aged 65 and older in the Women's Health Initiative Observational Study. *J Am Geriatr Soc*, 53(8), 1321-1330.

Woollacott M, Shumway-Cook A (2002) Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*, 16 (1), 1-14.

World Health Organization (1985) The use of epidemiology in the study of the elderly.

- World Health Organization (2010) Global recommendations on physical activity for health. ([http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979_eng.pdf)) 2017.1.21
- Xie L, Rubin C, Judex S (2008) Enhancement of the adolescent murine musculoskeletal system using low-level mechanical vibrations. *J Appl Physiol*, 104(4), 1056-1062.
- Xie L, Jacobson JM, Choi ES, Busa B, Donahue LR, Miller LM, Rubin CT, Judex S (2006) Low-level mechanical vibrations can influence bone resorption and bone formation in the growing skeleton. *Bone*, 39(5), 1059-1066.
- Xue QL, Bandeen-Roche K, Varadhan R, Zhou J, Fried LP (2008) Initial manifestations of frailty criteria and the development of frailty phenotype in the Women's Health and Aging Study II, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 63(9), 984-990.
- 山本哲史, 山崎元 (1999) 最近の運動処方考え方. 慶應義塾大学スポーツ医学研究センター, 33-39.
- Yamauchi J, Mishima C, Fujiwara M, Nakayama S, Ishii N (2007) Steady-state force-velocity relation in human multi-joint movement determined with force clamp analysis, *J Biomech*, 40(7), 1433-1442.
- Yamazaki S, Ichimura S, Iwamoto J, Takeda T, Toyama Y (2004) Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis. *J Bone Miner Metab*, 22(5), 500-508.
- 山崎先也, 村田伸, 大田尾浩, 堀江淳, 村田潤, 宮崎純弥, 久保温子, 八谷瑞紀, 岩瀬弘明, 岡本啓, 溝田勝彦 (2016) 地域在住高齢女性の体格指数別にみた静的バランス能力と下肢筋力の関係性～転倒予防トレーニングの観点から～. *ヘルスプロモーション理学療法研究*, 6(3), 105-109.
- Yue Z, Mester J (2002) A model analysis of internal loads, energetics, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. *J Biomech*, 35(5), 639-647.

Zamboni M, Turcato E, Santana H, Maggi S, Harris TB, Pietrobelli A, Heymsfield SB, Micciolo R, Bosello O (1999) The relationship between body composition and physical performance in older women. *J Am Geriatr Soc*, 47(12), 1403-1408.

## 謝辞

博士論文の執筆にあたり、懇切丁寧なご指導、ご助言を賜りました、筑波大学体育系教授 田中喜代次先生に心より感謝申し上げます。田中喜代次先生とは、平成23年に職場での勉強会以来、現場視点をもった研究活動と良質な健康支援について多面的かつ的確なご指導を賜り、国民が真に必要な健康支援を提供する姿勢を学ばせていただきました。改めまして深く謝意を表します。また、筑波大学体育系教授 大森肇先生、人間系教授 宮本俊和先生、医学医療系講師 金森章浩先生からは、博士論文作成にあたり貴重なご指導ご助言をいただきました。深く謝意を表します。本博士論文のデータ収集にあたり、研究参加や運動教室に参加いただいた地域住民の皆様、機材や人材に対してお力添えをいただいた株式会社プロティア・ジャパンおよび株式会社 THF の皆様に心より感謝申し上げます。

田中喜代次先生をはじめ筑波大学田中研究室の OB・OG、研究員、同輩、後輩の皆様には、体力科学・健康支援分野における研究活動、運動指導のいろは、データ収集から論文執筆まで、多大なるご協力をいただきました。Neuroscience Research Australia 大久保善郎先生、東京都健康長寿医療センター 大須賀洋祐先生、田中研究室における活動へ橋渡しをしてくださった労働安全衛生総合研究所 松尾知明先生には、公私にわたって細やかなご助言をくださいました。職場の皆様には、社会人と



## 謝辞

して働きながら就学することに対し，ご理解とご協力をいただきました。

ここに記して感謝申し上げます。

最後に，学位取得に向けて，わがままを許してくれた家族に深く感謝いたします。

皆様に与えていただいたこの研究活動と運動実践の機会を大切にしていって，少しでも社会に貢献できるように努力してまいります。

付録

WBV トレーニング運動種目



Period	Week	Exercise category	Exercise	Frequency (Hz)	Duration (s/set)	
Introduction	1	Warm-up	Putting one leg on a platform	30	30	
			Hamstring stretch			
			Single leg balance			
		Resistance	Squat			
			Calf raise			
			Step			
	Cool-down	Calf relaxation	40	45		
		Back relaxation				
	2 → 3	Warm-up	Hamstring stretch	30	30	
			Quad Stretch			
			Calf Stretch			
			Single leg balance			
			Single leg RDL			
Resistance		Squat				
		Calf raise				
		Step				
		Wide stance squat				
		Sit up				
Cool-down		Calf relaxation	40			45
		Hip stretch				
	Back relaxation					
Step-up	4 → 5	Warm-up	Hamstring stretch	30	30	
			Quad Stretch			
			Calf Stretch			
			Single leg balance			
			Single leg RDL			
		Resistance	Squat			
			Single lge calf raise			
			Step			
			Sit up			
	Cool-down	Lunge	40	45		
		Calf relaxation				
		Hip stretch				
		Back relaxation				
Advance	6 → 8	Warm-up	Hamstring stretch	30	30	
			Quad Stretch			
			Calf Stretch			
			Single leg balance			
			Single leg RDL			
		Resistance	Deep Squat			
			Wide stance squat			
			Single lge calf raise			
			Step			
			Knee up			
			Sit up			
			Knee raise			
	Lunge(dynamic)					
	Cool-down	Calf relaxation	40	45		
Hip stretch						
Back relaxation						

記録用紙（教室前測定，教室後測定）

①今日の体調はいかがですか？



②今朝の服薬 ①なし ①あり

③あなたは過去1年間に転倒したことがありますか？

①ない ①ある( )回 ※打撲や擦り傷，骨折などの怪我の(有・無)

④普段の生活の中でつえや車いすなどの補助具を使用していますか。

①使用していない ②たまに使用している( )年前から ③頻繁に使用している( )年前から

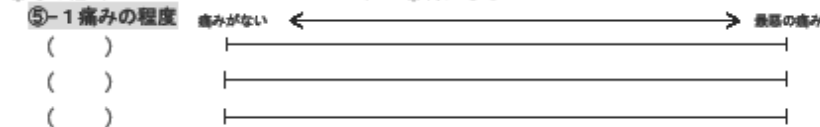
④過去1年から現在も含めて，次のような疾患と診断されたり，そのために治療を受けたりしたことがありますか（治療薬の有無についてもお答え下さい）。

- ①脳血管疾患（有・無） ②高血圧（有・無） ③糖尿病（有・無） ④心臓疾患（有・無）
- ⑤呼吸器疾患（有・無） ⑥骨粗鬆症（有・無）⑦高脂血症（有・無）⑧緑内障・白内障（有・無）
- ⑨変形性関節症（有・無）⑩神経系疾患（有・無）⑪認知症（有・無）

12. その他 \_\_\_\_\_ 13. 特になし

⑤現在，からだのどこかに痛みがありますか。（○はいくつでも可）

- ①頭痛 ②首痛 ③胸痛 ④腰痛 ⑤腹痛 ⑥肩関節痛 ⑦肘関節痛 ⑧股関節痛 ⑨膝関節痛 ⑩足関節痛
- ⑪その他( ) ⑫特になし



⑥手すりや壁をつたわずに続けて階段を10段昇ることができますか？

①十分にできる ②少し難しい ③全くできない

⑦400m(約15分)休まずに続けて歩くことができますか？

①十分にできる ②少し難しい ③全くできない

測定項目		測定者	測定項目	1回目	2回目	測定者
身長	□□□.□cm		収縮期血圧	mmHg	mmHg	
湾曲	1.有り・0.なし		拡張期血圧	mmHg	mmHg	
体重	□□.□kg		脈拍	ppm	ppm	
PM	済		DXA/重心動揺	済		
体力測定項目			1回目	2回目	支え	測定者
アップ&ゴー			□□.□□秒	□□.□□秒	他者・杖	
握力(グリップ幅)	右		□□.□kg	□□.□kg	<del>他者・杖</del>	
	左		□□.□kg	□□.□kg	<del>他者・杖</del>	
30秒椅子立ち上がり			□□回	<del>□□回</del>	他者・杖	
連続上腕屈伸(右腕・左腕)			□□回	<del>□□回</del>	<del>他者・杖</del>	
座位体前屈(右足・左足)			□□.□cm	□□.□cm	<del>他者・杖</del>	
バックスクラッチ(右上・左上)			□□.□cm	□□.□cm	他者・杖	
6分間歩行			□□□m	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪ ⑫⑬⑭×50m( ) = n	他者・杖	

記録用紙（運動実践（貯筋運動），歩数）



## 立位 プログラム

手の支えなしに、脚の力だけでいすから立ち上がれる場合は、立位プログラムを行きましょう。  
立位プログラムは、次の5種目から構成されています。

いす



太ももの前側の  
筋肉を鍛えます

アップ



股関節まわりの  
筋肉を鍛えます

背伸び



ふくらはぎの  
筋肉を鍛えます

横上げ



お尻（横）の  
筋肉を鍛えます

おなか



おなかの筋肉を  
鍛えます

※まちがった動きで続けると膝などが痛くなることがあります。  
より効果を上げるためにも、最初は指導者について行うことをおすすめします。

年 月		座位プログラム					これ以外の運動		お預かり 筋額	お引出 筋額	残高 円	今日の 調子など
日	立位プログラム					活動内容						
	つまさき	かかと	キック	もも	おなか							
	いす	アップ	背伸び	横上げ	おなか							
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

※公益財団法人健康・体力づくり事業財団．貯筋運動プロジェクト，2011．

[http://www.health-net.or.jp/tyousa/houkoku/pdf/h22\\_tyokin.pdf](http://www.health-net.or.jp/tyousa/houkoku/pdf/h22_tyokin.pdf)

## 配布説明資料および同意書

## 全身振動トレーニングに関する研究についての説明

## ① 研究の説明

【研究背景】高齢者の転倒は、寝たきりなどの要介護状態の引き金の一つです。転倒は筋力低下やバランス能力の低下が関連すると言われていて、運動は高齢者の筋力やバランス能力を含む体力の低下を抑制する効果があり、効果的な運動の研究が世界中で活発におこなわれています。

ここ数年、軽い運動で大きな効果が期待できる全身振動の加速度を利用したアクセラレーショントレーニング（ATトレーニング）が海外から国内に向け導入され、高齢者の方にも利用されるようになりました。しかし、新しいトレーニング方法のため、ATトレーニングを利用した場合の高齢者の体力改善効果について十分に調べていく必要があります。

【研究目的】ATトレーニングを利用した運動教室を実践いただき、体力向上の効果を調べ、高齢者のみなさんが活用できる効果的な運動プログラムの一つを提案します。

【研究方法】本研究では、次に示す指導、測定、調査をおこないます。

・運動指導：高齢者の体力向上（特に筋力、バランス能力）の獲得を目指して、振動装置上において全身を振動させながら実施する筋力運動（静的トレーニングと動的トレーニング）を主運動とし、準備運動（動的ストレッチ）、整理運動（静的ストレッチ）を提供します。また、運動日誌を配布します。スタッフは、参加者の運動実践状況や健康状況を把握することで、有益なアドバイスやコメントを皆様に提供することが可能となります。

・体力測定：筋力や歩行能力、柔軟性、巧緻性、バランス能力といった日常生活動作と関連の強い体力を評価します。また、身体基本情報として身長、体重、骨密度、筋肉量（体組成）についても測定を行います。

・質問紙調査：運動習慣、栄養状態、睡眠状態、生活機能などの健康状態を調査します。

・フォローアップ支援と調査：教室終了後も継続して、1年間分の運動日誌を記入していただきます。フォローアップの目的は、皆様の自主的な運動継続を支援することと、我々が運動実践と健康状況について把握することです。運動日誌の記入内容は、「運動実践状況」、「健康状況」です。教室で習得した運動を週3～5回実践し、他に実践した運動を含めて、運動日誌に記入していただきます。健康状況は、「痛み」に関する状況を記載していただきます。痛みが発生したときは、痛みチェックボックスに☑印を入れ、痛みの程度を10段階評価で記入していただきます。

【危険性と対処法】運動に伴って起こりうる関節や筋肉への傷害の発生が考えられます。全身振動することによって、頭痛や耳鳴りなどの不快感を感じることも考えられます。このような事故を防ぐよう、熟練したスタッフが十分に配慮します。万一、傷害が発生した場合は、応急処置や医療機関への搬送など必要な処置をおこないます。

また、骨密度、筋肉量（体組成）測定ではわずかにX線を使用しますが、健康に被害を与えるものではありません。

## ② 倫理的配慮

・運動だけがをしったり不快な思いをしたりすることがごくまれに考えられます。運動中は、安全のために常にスタッフが見守り、体調や心理的状态に常に対処します。

・体力測定は、すべて簡易的で安全におこなえますが、最大努力発揮に伴って起こりうる関節や筋肉への傷害の発生が考えられます。このような事故を防ぐよう、測定は熟練したスタッフが十分に配慮し、準備運動や関節可動域等のチェックをおこなった上で実施いたします。また、事前に健康状態、関節障害の有無を聞き取り、危険と判断される場合、またはあなたが承諾しない場合には測定しません。

・測定・調査内容の中に、あなたの知られたくない情報が含まれている可能性があります。そのような場合、あなたはその測定・調査内容について承諾する必要はありません。

## ③ 自由意思による同意および同意の撤回

・この研究への協力の同意は、あなたの自由意思で決めてください。強制は決していたしません。また、同意しなくても、あなたが不利益を受けることは一切ありません。一度同意した後でも、あなたが不利益を受けることなく、いつでも同意を取り消すことができ、その場合は採取したデータを破棄し、それ以降は研究目的に用いることはありません。

## ④ 個人情報の保護

・個人識別情報は研究責任者が暗証番号を必要とする鍵のついた保管場所にて厳重に管理し、データも本研究における研究目的以外では使用しません。

・個人識別情報は、研究責任者によりまたデータはすべてID番号を使用し、個人を特定できる情報は使用しません。

・質問調査票で個人名を記載させるのは、他の検査項目と照合させる上で不可欠なためであります。また、フォローアップ資料の郵送に用いる住所、個人名は個人識別情報として暗証番号をかけた電子ファイルで管理します。

この研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て、被験者の皆様に不利益がないよう万全の注意を払って行われます。研究への協力に際してご意見ご質問などがございましたら、気軽に説明者又は研究責任者にお尋ね下さい。あるいは、体育系研究倫理委員会までご相談下さい。

## ・研究実施責任者

氏名：田中 喜代次

所属・職：筑波大学体育系・教授

電話：029-853-2655

e-mail：tanaka@taiiku.tsukuba.ac.jp

## ・研究実施分担者

氏名：相羽 達弥

所属・職：筑波大学大学院人間総合科学研究科 スポーツ医学専攻・大学院生

電話：029-853-5600（内線 8365）

e-mail：yoshiro\_okubo@stat.taiiku.tsukuba.ac.jp

・筑波大学体育系研究倫理委員会

電話：029-853-2571（体育芸術系支援室 研究支援）

e-mail：hitorimri@un.tsukuba.ac.jp

全身振動トレーニングに関する研究の説明

運動教室に参加いただく方に、研究へのご協力（測定情報の提供）をお願いしております。

研究にご協力いただける方は、次頁の同意書にご署名ください。

記

体力測定情報を利用した研究の名称	全身振動トレーニング（ATトレーニング）による高齢者の体力向上に関する研究
体力測定情報の利用内容	基本事項 <ul style="list-style-type: none"> <li>・性・年齢・身長・体重</li> </ul> 心身の状況 <ul style="list-style-type: none"> <li>・既往歴 ・健康状態 ・体力測定値 ・体組成</li> <li>・質問紙調査内容（心理尺度、生活機能など）</li> </ul>
体力測定情報の集計先	筑波大学 田中喜代次研究室
体力測定情報利用の活用内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 運動教室の体力・転倒予防などへの効果の検討</li> <li>● 住民の健康状態・体力・転倒状況などの把握</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 筑波大学体育系研究倫理委員会から承諾を得ています。</li> <li>● あなたの個人情報は、すべて番号化して管理されるため、<u>個人名が特定されることはありません。</u></li> <li>● 提供していただいた情報は、<u>研究以外の目的で使用することはありません。</u></li> <li>● 一度同意したあとでも、<u>いつでも同意を取り消すことができます。</u></li> </ul>

## 同意書

体育系長 殿

私は、「全身振動トレーニング（ATトレーニング）による高齢者の体力向上に関する研究」について、その目的と方法について十分な説明を受けました。また、本研究に協力することに同意しなくても、私及び協力を依頼される対象者が何ら不利益を受けないことも確認した上で、対象者に対し依頼がなされることに同意します。

ただし、この同意は、あくまでも私自身の自由意思によるものであり、不利益を受けず随時撤回できるものであること、また、対象者においても、協力は各人の自由意思によるものであり、不利益を受けず随時撤回できるものであることを確認します。

平成 26 年 4 月 14 日

氏名 \_\_\_\_\_

(自筆署名又は記名押印)

「全身振動トレーニング（ATトレーニング）による高齢者の体力向上に関する研究」について、書面及び口頭により平成 26 年 4 月 14 日に説明をおこない、上記のとおり同意を得ました。

研究責任者 所属 筑波大学体育系

氏名 田中喜代次

説明者 所属 筑波大学体育系

氏名 \_\_\_\_\_