

博 士 論 文

慢性膝痛を有する中年・高齢者の運動器機能に対する
全身振動トレーニングの効果

平成 27 年度

筑波大学 人間総合科学研究科 体育科学専攻

尹 之恩

目次

| | |
|---|----|
| 第 I 章 序論 | 1 |
| 第 1 節 諸言 | 1 |
| 第 2 節 目的 | 6 |
| 第 3 節 用語の定義 | 7 |
| 第 II 章 文献研究 | 12 |
| 第 1 節 加齢に伴う膝痛・変形性膝関節症に関する基礎的研究 | 12 |
| 第 2 節 膝痛・変形性膝関節症に関する統計データ | 14 |
| 第 3 節 膝痛・変形性膝関節症が中年・高齢者の運動器機能及び日常生活に及ぼす影響 | 16 |
| 第 4 節 膝痛・変形性膝関節症への対処法及び治療法に関する研究 | 18 |
| 第 5 節 全身振動トレーニングの原理及び効果 | 19 |
| 第 6 節 膝痛もしくは膝 OA を有する中年・高齢者への全身振動トレーニングの効果 | 34 |
| 第 III 章 検討手順 | 35 |
| 第 1 節 検討課題の設定 | 35 |
| 第 2 節 研究の限界 | 39 |
| 第 IV 章 課題 I-1: 地域在住高齢者における膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響 | 41 |
| 第 1 節 諸言 | 41 |
| 第 2 節 方法 | 43 |
| 第 3 節 結果 | 47 |
| 第 4 節 考察 | 52 |
| 第 5 節 要約 | 53 |
| 第 V 章 課題 I-2: 膝痛を有する中年・高齢者における膝 OA の重症度が運動器機能及び心理機能に及ぼす影響 | 54 |

| | |
|--|------------|
| 第1節 緒言 | 54 |
| 第2節 方法 | 55 |
| 第3節 結果 | 60 |
| 第4節 考察 | 65 |
| 第5節 要約 | 66 |
| 第VI章 課題II-1: 全身振動トレーニングが膝痛を有する中年・高齢女性の運動器機能及び心理機能に及ぼす影響 | 67 |
| 第1節 緒言 | 67 |
| 第2節 方法 | 69 |
| 第3節 結果 | 84 |
| 第4節 考察 | 102 |
| 第6節 要約 | 107 |
| 第VII章 課題II-2: 膝OAの重症度別にみた全身振動トレーニングの効果 | 109 |
| 第1節 緒言 | 109 |
| 第2節 方法 | 110 |
| 第3節 結果 | 115 |
| 第4節 考察 | 128 |
| 第5節 要約 | 129 |
| 第VIII章 課題II-3: 全身振動トレーニングが膝痛を有する高齢者の骨密度に及ぼす影響 | 130 |
| 第1節 緒言 | 130 |
| 第2節 方法 | 131 |
| 第3節 結果 | 137 |

| | |
|--|------------|
| 第4節 考察..... | 142 |
| 第5節 要約..... | 143 |
| 第IX章 課題III:炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニ | |
| ズムに関する検討 | 145 |
| 第1節 緒言 | 145 |
| 第2節 方法 | 147 |
| 第3節 結果 | 150 |
| 第4節 考察..... | 155 |
| 第5節 要約..... | 156 |
| 第X章 総合討論 | 157 |
| 第XI章 総括 | 162 |
| 結 語..... | 164 |
| 謝 辞..... | 165 |
| 文 献..... | 166 |
| APPENDIX A..... | 177 |
| APPENDIX B..... | 184 |
| APPENDIX C..... | 186 |
| APPENDIX D..... | 187 |
| APPENDIX E..... | 188 |
| APPENDIX F..... | 189 |
| APPENDIX G..... | 190 |
| 関連論文..... | 248 |

第 1 章 序論

第 1 節 諸言

1. 背景

本邦では 2007 年に初めて超高齢社会（高齢化率 21.0%以上）に突入して以後、高齢化がますます進行している。2014 年 9 月現在、本邦の高齢者人口（65 歳以上）は 3,296 万人を超え、高齢化率が 25.9%となった（総務省統計局，2014）。高齢者人口の増加に伴い、要介護認定者数も増加の一途をたどっている。2000 年に介護保険制度がスタートした際は 218 万人であった要介護認定者が、2014 年時点で 432 万人を超え、2025 年には 700 万人を上回ると推計されている（厚生労働省，2010）。

平成 22 年の国民生活調査の結果（厚生労働省，2012）によると、高齢者が要介護状態になる原因の 4 位が骨折・転倒（9.3%）、5 位が関節疾患（7.4%）となっており、これら二つをあわせれば 2 位の認知症（20.5%）と同程度の割合となる。さらに、要支援状態に限れば、原因の 1 位が関節疾患である（Fig. I-1）。要支援・要介護の状態は生活の質（Quality of Life: QoL）の低下や健康寿命を縮めることにつながる（宮永ら，2015）。そのため、それらの主たる原因の一つである関節疾患への対応，すなわち、運動器障害の予防や、すでに罹患している者に対してはその悪化を防止するための手立てを講じることが喫緊の課題であり、年々その重要性は増している。

本邦における 45 歳以上を対象とした運動器の機能に関するコホート研究（吉村，2009）によると変形性膝関節症（knee osteoarthritis: 膝 OA），変形性腰椎症（lumbar spine osteoarthritis: 腰椎 OA），骨粗鬆症（osteoporosis: OP）のうち 1 つ以上の疾患を有している者の割合は男性 84.1%，女性 79.3%である。そのうち

中年・高齢女性の約 70%に膝関節の変形がみられ、さらに、その半数以上は膝痛を有すると報告されている (Yoshimura et al., 2009)。

膝痛の原因としては様々な要因が報告されているが、その中でも、膝 OA は関節軟骨の喪失、骨の変形、関節の炎症の 3 つが主な原因となり、これらにより、膝痛や身体機能が低下することが一般的に知られている。膝 OA の機序は関節に炎症が発生し、変形が進み関節破壊が生じることであり、最近の研究では、関節破壊の程度を検査するための検査方法の重要性が注目される。

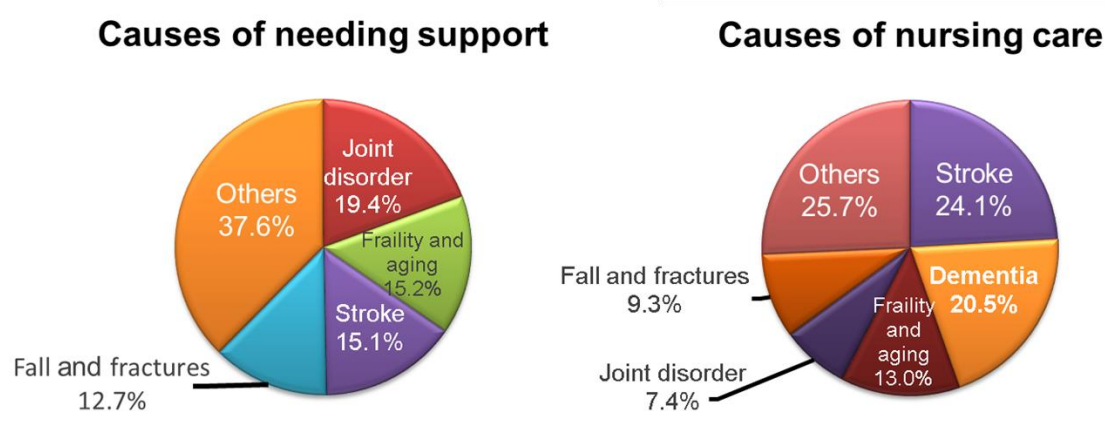


Fig. I-1. The causes of needing support and nursing care

特に interleukin-6 (IL-6), interleukin-8 (IL-8) の炎症バイオマーカーにより軟骨の破壊及び軟骨の症状診断が可能となり、いわゆる膝 OA 状態の重症度を知ることができる (Lustosa et al., 2013)。

膝 OA の治療方法としては薬物療法、非薬物療法、外科的療法（手術治療）に大別される。重症度によっては外科的治療が必要な場合もあるが、大半の患者に対しては非薬物療法や薬物療法といった保存的治療が主体となる。薬物療法の有効性については十分なエビデンスが蓄積されているが (Zhang et al., 2010), その反面、副作用の危険性も報告されている (石川と大平, 1986)。一方、非薬物療法であれば副作用の

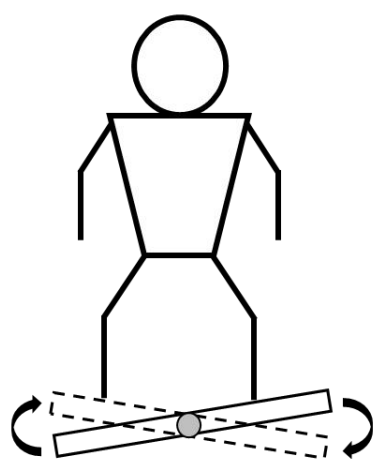
危険性を回避することができる。その中でも特に有効性が高い方法として、定期的な筋力トレーニングへの取り組みが推奨されている (Practitioners, 2009)。適切な指導の下で行われる筋力トレーニングは、筋力を向上させ、その結果、関節面の安定性の向上や左右脚の不均衡の適正化に作用し、膝 OA の状態を緩和すると報告されている (Thomas et al., 2002)。

近年、筋力トレーニングの新たな方法として、全身振動トレーニング (whole-body vibration training: WBVT) と呼ばれる、高速で微細振動するプラットフォーム上で実践するトレーニングが注目されてきた (van den Tillaar, 2006; Merriman & Jackson, 2009)。この WBVT の実践に必要な全身振動 (whole-body vibration: WBV) マシンは、その振動の質の違いから、rotational vibration (RV) マシンと vertical vibration (VV) マシンに大別されている (Merriman & Jackson, 2009)。RV マシンは中央の軸を中心とし、左右対称に (シーソーのように) プラットフォームが振動することに対し、VV マシンはプラットフォームが垂直軸、前額軸、矢状軸への3次元振動を生み出す、ピストン式の振動マシンを使用して行うものである (Fig. I-2)。これらのマシンの相違によるトレーニング効果の差異は現在まで明らかになっていないが (H. L. Merriman, Braehler, & Jackson, 2011)、VV マシンは RV マシンと比較して正確なトレーニング姿勢の保持が容易であり (Merriman et al., 2011)、高齢者もしくは有疾患者にとって適用しやすい利点がある。多数の研究によると振動の違いによって WBVT の効果も異なることが報告されている。Saila et al. (2010) によると「高い振動・低い振幅」で WBVT (VV マシン) を実践することは「低い振動・高い振幅」より効果的であることが報告されている。Rubin et al. (2002) によると高い振動 (30 Hz) と低い振幅 (0.3 g) の VV マシンを用いた一年間の WBVT の実践 (1 回 20 分/週 5 回) により骨密度の向上が見られた。また、Merriman & Jackson (2009) によると高齢者において身体活動 (運動を含む) は多くの身体活動

動作制限を誘発するが VV マシンを用いた身体活動いわゆる WBVT の実践は身体動作の制限なく筋力や筋パワーの向上と言った筋力トレーニングと同様の効果を得られることが報告されている。

VV マシンを用いた WBVT の特徴は、反射的な筋収縮（緊張性振動反射）が引き起こされることにより受動的なトレーニングが可能となること、及びバーベルなどの負荷をかけずとも、静的に自身の体重を委ねることで高いトレーニング効果が得られるところにある。ゆえに、WBVT の実践は心身への負担を軽減させつつ、運動器機能の向上を引き出すことができる（van der Meer G, 2011）。特に、膝痛により動的なトレーニングの実践が困難な者にとっては、WBVT の特長を活かすことでより効果的なトレーニングを実践することが可能である。

以上のことから、VV マシンを用いた WBVT の実践は、膝痛を有する中年・高齢者にとって特に有効性が認められ、このような対象に特化したプログラム開発及び効果検証が求められている。



Rotational vibration (RVマシン)



Vertical vibration (VVマシン)

Fig. 1-2. The different types of whole-body vibration machines

2. 着想に至った経緯

著者は自治体が行う介護予防を目的とした運動教室などで、対象者と接する機会が頻繁にあった。その際、膝の痛みを訴える対象者が多数を占めることがわかった。国際関節学会議（Osteoarthritis Research Society International: OARSI）では非薬物治療方法として筋力トレーニングを推奨しているが、対象者が高齢者の場合は低体力の者も少なくないため、従来型の筋力トレーニングの実践は身体面・心理面の両面から過度の負担となりやすく、限界が大きいと考えた。一方、WBVTは安全性が高く、トレーニングの効果が認められていることから膝痛を有する高齢者に対して適したトレーニングであると考え、本研究実施の着想に至った。

3. 研究の意義

高齢者の膝痛の有無及び膝痛を有する高齢者を対象として、膝痛による運動器機能の状態を調査することで膝痛による運動器機能の変化が把握できる。その後、膝痛を有する中年・高齢者に対して、新たなトレーニング方法であるWBVTが運動器機能に与える効果を確認できれば、膝痛の緩和及び阻止のために行われてきた従来型のトレーニングが困難であった者にも効果的な運動を提供することが可能となる。さらに、膝OAの重症度別にWBVTの効果を検討することで重度な高齢者にも効果的かつ新たな運動プログラムの提供が可能である。将来的には病院や介護老人保健施設などのリハビリテーション施設への導入を図り、膝痛改善のためのトレーニング方法として幅広い臨床現場で実践されることが期待される。

第2節 目的

本研究の目的は、地域在住高齢者及び膝痛を有する中年・高齢者を対象とした膝痛の有無及び膝 OA の重症度が運動器機能に及ぼす影響を検討し、関連がある運動器機能の把握と同時に膝痛の改善に効果的と考えられる新しい運動プログラムを作成する。

詳細は下記の通りである。

1. 地域在住高齢者及び膝痛を有する中年・高齢者を対象とし、膝痛の有無及び膝 OA の重症度が運動器機能に及ぼす影響を検討する。
2. 膝痛及び膝 OA と関連がある運動器機能の改善を目的とした WBVT プログラムを作成し、その後、WBVT プログラムを実践することで得られる運動器機能に対する効果について明らかにする。さらに、炎症バイオマーカー検査を用いることで、WBVT プログラムが運動器機能に及ぼす影響についてのメカニズムを明らかにする。

第3節 用語の定義

1. 慢性膝痛

痛みや腫れの症状が本人によって自覚され、特に日常生活動作の中、階段昇降動作や床（椅子）から立ち上がったたり座ったりする時、痛みを有して、かつ長期的（1年以上）に痛みが発生することを慢性膝痛と定義する。

2. 運動器機能

身体活動を担う筋・骨格・神経系の総称であり、筋肉、腱、靭帯、骨、関節、神経（運動・感覚）、脈管系などの身体運動に関わるいろいろな組織・器官によって構成されており、その機能的連合が運動器機能と定義されている。

筋・骨格・神経系の組織・器官にはそれぞれに独自の作用・機能があるが、それらが密接に連動・連携して運動器としての役割を發揮している。それを示した図が以下である（Fig. I-3.）。

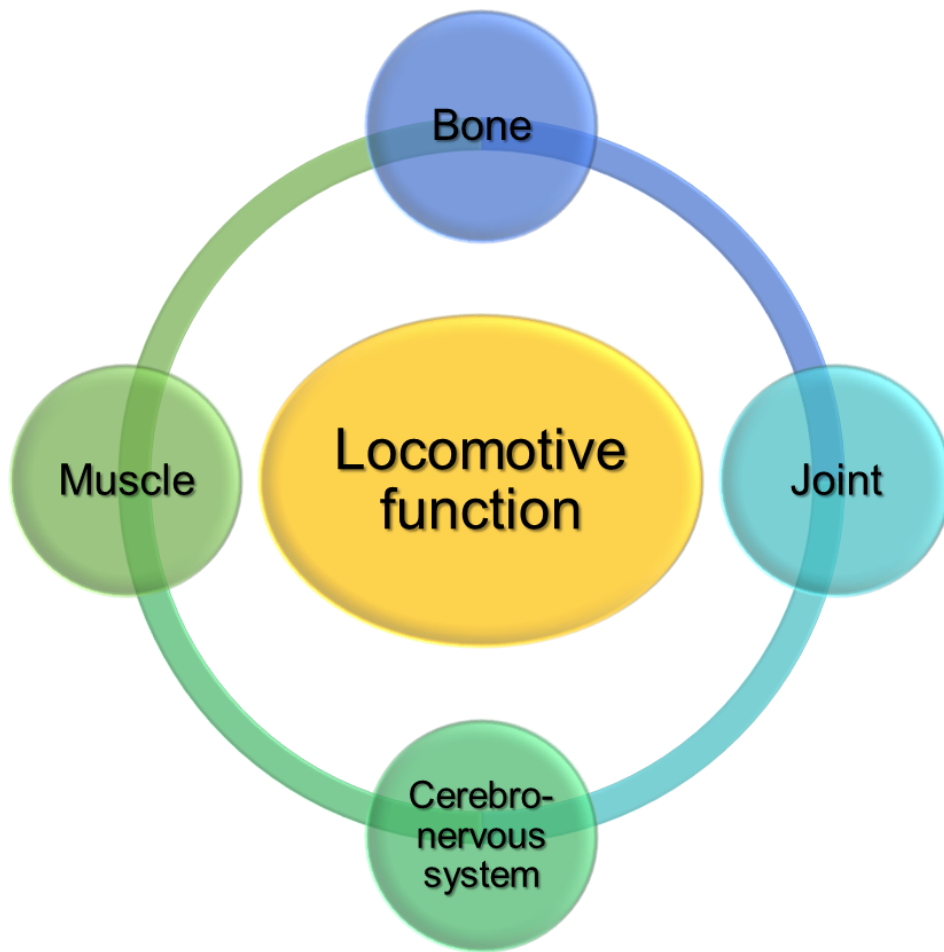


Fig. I-3. Orthopedic. Japan Topics Charming (Vol. 1)

本研究では、膝の骨及び関節機能と関連がある身体機能、膝機能及び骨機能を合わせて運動器機能と定義する。

3. 主観的膝機能

多くの先行研究において、主観的膝機能の評価を目的として用いられている Western Ontario McMaster universities Osteoarthritis Index (WOMAC) 評価を踏まえ、日本人の生活環境を考慮して作成された日本版変形膝関節疾患患者機能評価表 (Japanese Knee Osteoarthritis Measure: JKOM) により評価される機能を主観的

膝機能と定義する。

4. 客観的膝機能

日本整形外科学会膝関節機能判定基準である **Japanese Orthopedic Association (JOA) Score** により評価される膝機能を客観的膝機能と定義する。なお、この指標は整形医によって判定されるものである。

5. 身体機能

身体機能とは、身体動作などを行うための能力を表している。身体機能は、運動器機能と同じ意味と捉えられることもあるが、運動器機能だけでなく、感覚機能や心理機能に関連する意味も併せ持つ（介護福祉用語辞典，2015）。一方、多くの先行研究において、高齢者の「身体機能（physical performance）」を評価するために身体パフォーマンステストが用いられている。本研究ではバランス能力や移動能力を中心として 8 項目の身体パフォーマンステストにて評価される各機能の総称を身体機能と定義する。

6. 身体パフォーマンステスト（8 項目）

本研究では全身振動トレーニングが慢性膝痛を有する高齢者における有効性を検証するため、厚生労働省によって作成し、平成 24 年改訂された「運動器の機能向上マニュアル」に基づいて、8 項目の身体パフォーマンステストを用いることとする。詳細は下記の通りである。

①開眼片足立ち時間（バランス能力）、②長座位前屈（柔軟性）、③長座位起立時間、④5回椅子立ち上がり時間（下肢筋力）、⑤Timed up and go（複合的動作能力）、⑥5m 通常歩行時間（歩行能力）、⑦functional reach（動的バランス能力）、⑧全身選択反応時間

7. 筋力

筋力に関する以下の各用語の定義は、最新スポーツ科学事典（日本体育学会，2006）に基づく。筋力は、「筋力が収縮することにより発揮する力」と定義されている。中でも、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である maximum voluntary contraction strength（MVC）を「筋力」と定義する。また、本研究においては、等尺性筋力と等速性筋力の評価を行う。筋線維の長さが一定（等尺）で張力を発揮する場合、等尺性収縮と呼ばれる。この収縮様式により発揮された筋力が等尺性筋力である。等速性筋力とは、一定の角速度で関節角度が変化している状態で発揮される筋力のことである。本研究では、等速性筋力測定器によって測定される等尺性及び等速性の最大トルクを筋力の評価とした。

8. 筋パワー

阿江と藤井（2002）において、力学的パワーは「単位時間あたりの仕事」及び「力ベクトルと速度ベクトルの内積」と記されている。本研究では、等速性・等尺性筋力測定器により、膝関節伸展等速性（60 deg/s）及び膝関節屈曲等速性（60 deg/s）を測り、力学的パワー（平均パワー）を「筋パワー」と定義する。

9. 心理機能

本研究では老年期うつ病評価尺度（geriatric depression scale: GDS）によって評価できる心理的状态を心理機能と定義する。

以上の 1~9 で定義した用語を以下の図にまとめた（Fig. I-4）。

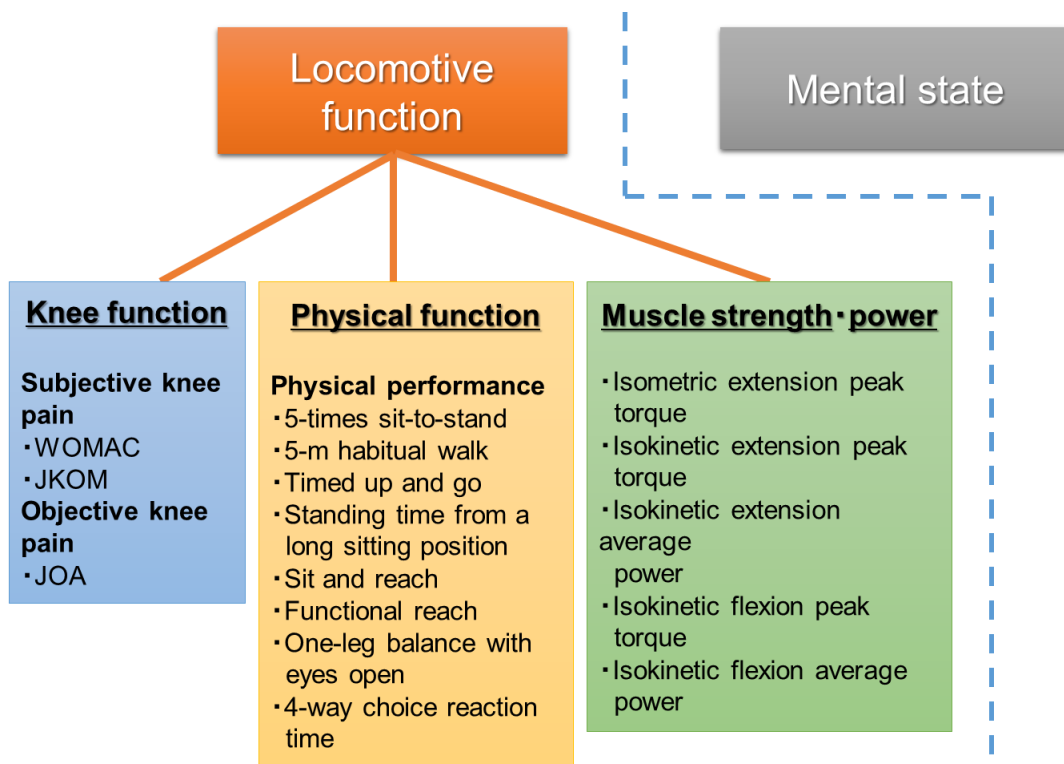


Fig. I-4. The definition of terms

第 II 章 文献研究

第 1 節 加齢に伴う膝痛・変形性膝関節症に関する基礎的研究

アメリカ整形外科学会 (American Academy of Orthopaedic Surgeons: AAOS) は膝 OA の特徴として関節の疼痛, 圧痛, 可動域制限, 嚙音, 関節水症, さらに全身症状を伴わない局所の炎症などを挙げている (Brandt et al., 2000)。また, AAOS の支援を受けた *New Horizons in Osteoarthritis* (1994 年) の中で, 膝 OA は重複した種々の疾患群であり, その病因は様々であるものの生物学的, 形態学的, 臨床的に同様の転帰を招来する疾患であると報告されている (岩谷, 2006)。すなわち, 膝 OA は関節軟骨だけでなく, 軟骨下骨組織や靭帯, 関節包, 骨膜, 関節周囲筋を含めた関節全体に影響を及ぼすと言える。特に, 関節軟骨の炎症は発症の頻度が高い退行性疾患であり, その中でも高齢者において発生率が高いことが知られている。症状としては, 膝痛だけでなく, 拘縮及び腫脹を伴うことが知られている (Felson et al., 1987)。また, 疫学要因として, 性別, 人種などの遺伝的素因, 労働やスポーツなどの生活習慣や肥満も知られている (古賀, 2008)。

一方で, 診断方法は膝伸展時の X 線所見でなされるのが一般的で, 1957 年に Kellgren と Lawrence (Kellgren & Lawrence, 1957) が提唱したものが現在でも基準となっている。分類関節裂隙の狭小化, 軟骨下骨の硬化, 骨棘, 骨嚢胞, 関節面不適合などがいわゆる関節症性変化と言われるもので, これらの程度により 5 つの変形グレードに分類されている。その他に, 北大分類, 横浜市大分類などが知られている。また, 年齢, 朝のこわばり, 嚙音, X 線を用いて評価した骨棘の変性程度などを総合的に判断する客観的診断基準も使用されている。さらに, 変形性関節症に対するバイオマーカーや炎症サイトカインの検査などが知られている。しかし, いずれも X 線

所見と臨床状態や関節面の性状とは必ずしも一致するとは限らないことに留意すべきである（岩谷, 2006）。

膝 OA については、主な症状である膝痛だけでなく、運動器機能、手段的日常生活活動及び社会参加、心理面に至るまで様々な負の影響を及ぼすことが知られている。また、膝痛は歩行時、階段昇降時、立ち上がり動作時、正座時などの日常生活動作時や気候の変化で生じると報告されている（Segal et al., 2009）。

先述した通り膝痛は日常生活の制限が引き起こされやすい疾患であり、膝 OA 状態の日本人の 70~80%が膝痛を有している（吉村, 2009）。Muraki et al. (2009) は男女 3,040 名（男性 1,061 名、女性 1,979 名、全体の平均年齢 70.6 歳）を対象に膝痛の有病率を調査した結果、膝痛は加齢により増加することを明らかにした。さらに、X 線撮影により評価した変形グレード（0-IV: グレードが低いほど良好）別に痛みを調査した結果、女性における変形グレード II の膝痛が最も強いことが確認された。また、変形がみられなかった（変形グレード 0- I）女性の約 20%にも膝痛がみられたことから、女性においては、膝痛は変形グレードの影響を受けないか、もしくは影響は少ないことが確認された。1,348 名を 3 年間追跡調査し、関節痛部位と転倒経験を調査した結果、膝 OA 及び膝痛を有する疾患者の転倒率はそれぞれ 10.2%と 14.2%であり、さらに、複数転倒経験ありの割合も膝 OA を有する疾患者（14.8%）より膝痛を有する者（18.7%）が高かったことが報告されている（Muraki et al., 2013）。

以上のように、加齢により慢性膝痛の発生や膝 OA の発生リスクが高くなり、運動機能などに悪影響を及ぼすことが明らかとなった。これらのことから、膝痛の改善や予防、または膝 OA の発生リスクを軽減させる治療方法が必要であると考えられる。

第2節 膝痛・変形性膝関節症に関する統計データ

欧米でおこなわれた変形性膝関節症の年代別の発生頻度に関する調査によると、50歳を過ぎると急激に増加し、60歳以上では人口の80%以上に何らかのX線学的変形性関節症変化が出現し、そのうちの約40%が症状を有し、約10%が日常生活に支障をきたしているといわれる(Loeser, 2000)。

本邦における膝OAとOPを中心とした運動器機能障害の基本的疫学指標を明らかにし、その危険因子を同定することを目的としたコホート研究プロジェクトROAD(Research on Osteoarthritis Against Disability)が、2005年に開始された(吉村, 2009)。対象者3,040人(男性1,061名, 女性1,979名, 全体の平均年齢70.3歳)のうち、膝OAの有病率は、40歳以上の男性で42.6%, 女性で62.4%であった。さらに、年代別の有病率は、男性の場合40年代では約10%, 60歳代では10~30%, 80歳以上では35~60%近くまで増加する。女性の場合は40歳台では約10%, 60歳台では10~40%, 80歳以上では50~80%まで増加する(Yoshimura et al., 2009)。

また、女性におけるX線面像評価の悪化率を年齢群層別に検討した21年間の縦断研究(大森, 2002)では、ベースラインで高齢者及び膝OAが顕著な者ほど悪化率が大きく、また、ベースラインで正常であった者も、追跡調査(21年後)していくと40歳台の40%以上、50歳台の60%以上に顕著な変形(Kellgren-Lawrence: K-L分類のグレードII以上)が生じると報告されている。

一方、欧米では、年代別膝OAの有病率を調べた結果、45歳以上になると、有病率は28%となり、さらに65歳以上の高齢者になると38%まで増加すると報告されている(Dillon et al., 2006; Jordan et al., 2007)。以上のように、膝OAの発症率は加齢とともに高くなり、それは特に女性において顕著であると考えられる。その原因として、60歳頃を境として男性より女性において筋量や筋力が急速に低下する生

理学的変化や、ヒールを履く機会が多いなどの女性特有の生活習慣も影響していると考えられる。Segal et al. (2010) は 60 歳以上の女性を対象とした調査を行い、大腿四頭筋の筋力低下が膝 OA 発症のリスクを高めることを明らかにしている。

一方、先述した ROAD 研究で男性の 10%、女性の 20%が膝 OA と関連がない膝痛を有しており、中年高齢者の膝痛が必ずしも膝 OA と関連があるとは言えない。Muraki et al. (2015) は minimum Joint Space Width (mJSW) が膝痛に及ぼす影響が大きく、男女いずれにおいても mJSW が小さいほど激しい膝痛になることを示唆した。また、60 歳以上の男女別に、膝痛の有病率を調査したところ、女性では加齢により膝痛が増加する（70 歳台が最も高い）ことが確認されたが、男性は加齢に伴う膝痛の増加はみられなかった。

以上のように、男女別に膝痛及び膝 OA の原因を把握し、適切な予防方法を明らかにすることが必要であると考えられる。

第 3 節 膝痛・変形性膝関節症が中年・高齢者の運動器機能及び日常生活に及ぼす影響

膝痛は下肢機能に関連した動作を不自由にし、さらに身体的にさまざまな障害の発生を引き起こしている。例えば、簡単な階段上昇、歩行、椅子立ち上がりなどの日常生活動作の困難（Altman, 1986）による自立的な生活動作の能力の低下や、機能障害による抑うつ、不安などの精神的障害（Salaffi et al., 1994）を引き起こし、延いては介護施設への入所（Hirano et al., 2012）、寝たきり、それに伴う他人からの世話などの日常生活の問題（Spirduso & Cronin, 2001; Rupert, 2000）、また、社会からの孤立感（谷川, 2011）などを引き起こすといわれている。

膝OAを有する2,182名を対象に、症状別に質問紙(The Physical Activity Scale for the Elderly: PASE, 点数が高いほど良好)を用いて身体活動量を調査したところ、重症度者(176.3点)より、軽症度者(183.1点)の方が身体活動量に対して高い傾向にあった($P=0.053$)。一方、筋力、及びハムストリングの筋力は軽症者の方が高いことが確認された(Segal et al., 2010)。筋力・筋パワーは膝関節機能と密接な関連があり、筋力・筋パワー低下は歩行機能の低下(Madsen & Lauridsen, 1995)やバランス能力の低下(Sasaki et al., 2013)につながるということが知られている。

2010年の国民生活基礎調査において、介護が必要となった主な原因を要介護度別に比較したところ、要支援者では「関節疾患」が19.4%で最も多く、次いで「高齢による衰弱」が15.2%となっている(厚生労働省, 2012)。「関節疾患」が第1位になった原因として、関節の痛みがきっかけで思うように“歩けなくなる”, “動けなくなる”といった日常生活動作障害が生じ(Jadelis et al., 2001)、先述したように寝たきり(廃用症候群)(Saliba et al., 2005)に陥ってしまうことが考えられる。これに対して、World Health Organization (WHO)では骨・関節疾患を日常生活に著しい

障害を与え、生活機能を低下させる生活機能症として定義している。Hejazi et al. (2011) は健常な女性、及び痛みを有する女性（膝痛、線維筋痛、リウマチ性関節炎）を対象に、質問紙である SF-36 (MOS 36-item Short Form Health Survey) を用いて調査した結果、健常者よりも痛みを有する者の心理的健康度が低いことを示唆した。さらに、疼痛別の抑うつ度の調査では、線維筋痛症を有する者より膝痛を有する者の抑うつ度が高いことが確認された (Ozcetin et al., 2007)。

以上のことから膝痛を予防すること、また膝痛の症状を緩和することは心身とともに健康な日常生活を送ることにとどまらず、生活の質を維持・向上させることまでも期待することができる。

第4節 膝痛・変形性膝関節症への対処法及び治療法に関する研究

OARSIにおいて、膝OAを有する者への、より適切な対処法及び治療法を普及させるため、6カ国の専門家により新たな膝痛への対処法及び治療法のガイドラインが制定された (Zhang et al., 2008)。

このガイドラインの基本方針では、薬物療法と非薬物療法を併用することが推奨されている。ただし、代表的な薬物療法である非ステロイド抗炎症薬 (NSAIDs) の服用は、消化管障害などの副作用が発生する危険性もある。

一方、非薬物療法は副作用の危険性を回避しつつ、薬物療法と同程度の効果が期待される。Fransen & McConnell. (2009) はメタアナリシスを行い、膝痛の改善や運動器機能の向上のためには、運動療法が効果的であり、中でも筋力トレーニングにおいて優れた効果が得られることを報告している。

一方、AAOSのClinical Guideline on Osteoarthritis of the knee (2003) では1～4週間のNSAIDs投与が無効な症例に対する治療として最も推奨に値する方法として理学療法が位置付けられており、行うべき訓練として全身調整訓練、筋力トレーニング、関節可動域訓練が記載されている。また、米国リウマチ協会のガイドラインにおいては非薬物リスト中に“physical therapy”と“有酸素性運動プログラム”が含まれている。膝関節周囲では大腿四頭筋の筋力が低下しやすく、その筋力低下が関節への負荷を増大させることにより、痛みを生じる。膝痛によって活動量が低下し、さらに筋力低下が進行する。その悪循環を断ち切るためにも筋力トレーニングが重要である。

以上のように膝痛の改善のための非薬物療法として筋力トレーニングは優れた効果が得られると考えられる。

第5節 全身振動トレーニングの原理及び効果

1. 全身振動トレーニングの歴史及び原理

近年、WBVT と呼ばれる、高速で微細振動するプラットフォーム上で実践する新たなトレーニングの有効性が、幅広い年代、アスリートや、さまざまな健康度を有する高齢者を対象に検討が重ねられている (Wilcock et al., 2009; Merriman & Jackson, 2009; van den Tillaar, 2006; 辻ら, 2012)。特に、VV マシンを用いたトレーニングは全身振動トレーニング方法の一種であり、垂直軸 (z), 前額軸 (x), 矢状軸 (y) への 3 次元振動を生み出す、ピストン式の振動マシンを使用して行うものである。プレートが 3 軸方向へ高速移動 (振動) を繰り返すことで、瞬間的に重力加速度を増した状態が繰り返し生じる。このような特徴により、WBVT は加速度トレーニング (acceleration training) と呼ばれることもある。

本研究で用いた全身振動 (whole-body vibration: WBV) マシンは VV マシンであり、その中でも Power Plate (Power Plate® Pro5: POWER PLATE International LTD, London, UK) を使用した。振動の質が異なる 3 台の WBV マシン (Power Plate, Galileo, Power Maxx) を比較した研究によると、周波数 30 Hz における xyz 軸への加速度の大きさと割合は機種により異なり、Power Plate は垂直軸 (z 軸) の加速度 (約 50m/s^2) が大多数を占めており、Galileo は垂直軸の加速度 (約 125m/s^2) に加えて水平面の加速度 (約 20m/s^2) も少しみられる。Power Maxx は水平面の加速度 (約 40m/s^2) が主にみられる (Pel et al., 2009) (Fig. II-1.)。

さらに、振動の違いによりトレーニング効果も異なることが報告されており、低頻度の振動かつ大きい振幅が身体に大きな負担をかけることが知られている。一方、高頻度の振動かつ小さい振幅は身体への負担が比較的小さいため、無理なく筋力トレ

ニングをおこなうことが可能と報告されている (Saila et al., 2003)。このような特徴を持つ WBV マシンとして本研究で用いた power plate が知られており、主な振動の方向は z 軸 (70 %) であり、それ以外に x 軸 (20 %) と y 軸 (10 %) で構成されている。

○ X-direction ● Y-direction + Z-direction

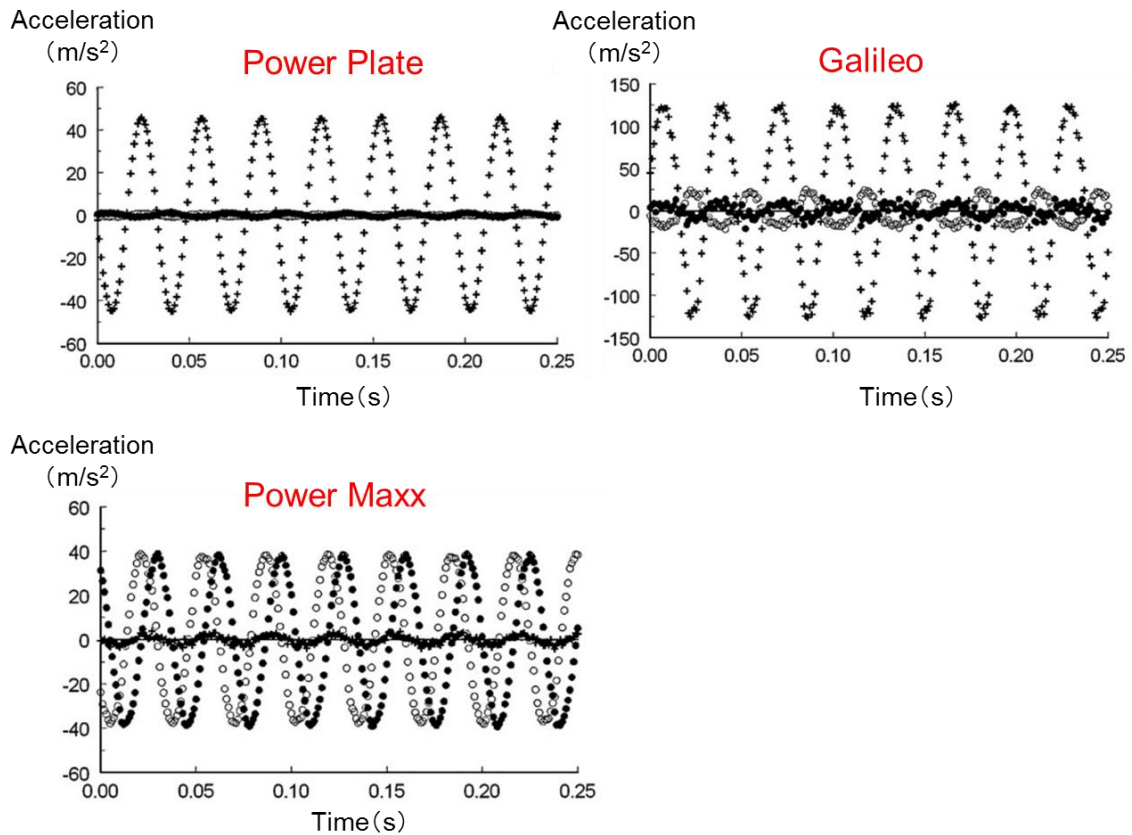


Fig. II-1. The comparison of acceleration for three different types of whole-body vibration machines (Pel et al., 2009)

Top panel: example of the PowerPlate unloaded platform acceleration against time t showing accelerations in X-direction (open circles), Y-direction (closed circles) and Z-direction (plusses) with fin set at 30 Hz. The platform induced mainly vibrations in vertical direction. Middle panel: example of the Galileo unloaded platform accelerations against time with fin also set at 30 Hz. This platform also induced highest vibrations in vertical directions, and some in the horizontal plane. Lowest panel: example of the PowerMaxx unloaded platform accelerations against time set at 30 Hz. The accelerations of this platform were mainly in the horizontal plane. Note the differences in y-axis scaling.

一方、先述したように WBV マシンは RV マシンと VV マシンに大別されるが、VV

マシンは RV マシンと比較してより容易に正確なトレーニング姿勢の保持が可能であり、高齢者及び有疾患者への適応に優れている。さらに、VV マシンは RV マシンと違ってトレーニング姿勢の制限を受けず、高速振動するプラットフォーム上で均質に発生する加速度を受けながら、全身の筋力トレーニング、ストレッチ、リラクゼーションの実践が可能となるという特長も有する (Merriman et al., 2009)。

そもそも VV マシンを用いた WBVT は、宇宙飛行士が宇宙飛行に従事する際の微重力状態下での体力低下を抑えるため、1960 年代に旧ソ連で使用されたことが始まりである。WBVT をおこなわず宇宙空間から 120 日ぶりに地球に帰還したアメリカの宇宙飛行士は地上でふらつきを覚えた。しかし、宇宙空間で WBVT を実践した旧ソ連の宇宙飛行士が、ふらつきを体験したのはアメリカの宇宙飛行士より長く宇宙空間で生活した後に (420 日) 帰還した際であった。この理由として、従来までは微重力により筋力や骨密度が低下していたが、WBVT の実践により筋力や骨密度の低下を抑制しているためと考えられている。その後も WBVT の発展が続き、1990 年代 Meer により WBVT の新たな可能性が見出された (van der Meer G, 2011)。オランダのオリンピック選手のコーチであった Merr et al. (2011) は振動をアスリートのトレーニングに導入し、重いバーベルなどを持たずに身体の反射神経筋を活性化することができる WBVT を提唱した。Meer の考えは、ニュートンの第二法則 ($F = ma$) を応用したものであった。地球上の人間は普段、1G ($\doteq 9.81\text{m/s}^2$) の重力加速度が生じる重力場で日常生活を送っている。この環境(従来のトレーニング)においては、ニュートンの第二法則の力 (force) を増加させるために、質量 (mass) の部分をバーベルなどの負荷により増加させる必要がある。しかしながら、WBVT では、加速度 (acceleration) の部分を増加させることにより、重い負荷を用いることなく自身の体重のみで力 (force) を増大させることが可能となる。そのため、バーベルを持ち上げるときに起こるような身体への負担を軽減させ、障害発生の危険性を抑制でき

ると考えられる。

従来型の筋力トレーニングでは、先述したように、効果を高めるためには重い負荷が必要であった。しかし、一般人がトレーニングを行う場合には知識が乏しく、整形外科的傷害が発生する可能性がある。それだけでなく、トレーニングを行う環境が不十分であることやトレーニングを行う意欲が欠如している可能性もある。

一方、WBVT は、反射的な筋収縮（緊張性振動反射）が引き起こされることから、受動的なトレーニングが可能であるだけでなく、バーベルなどの重い負荷をかけずとも、静的に体重を委ねるだけで筋力トレーニング効果が得られるという利点がある。高負荷の筋力トレーニングに比べ骨・筋へのメカニカルストレスや運動器系への負荷が軽減されることが大きな利点である（Bosco et al., 1999）。WBVT は高齢者に対しても、心身の負担を軽減しつつ、運動器機能向上を最大限に引き出す可能性を秘めた、新たなトレーニング方法と言える。

その主な原理は、以下の二点である。第一に、高速振動により生じる加速度により、通常の重力加速度（ 9.08 m/s^2 ）を上回る重力場が作り出されることにある（van der Meer, 2011）。トレーニング時に発揮される力（force: F ）は質量（mass: M ）に加速度（acceleration: a ）を乗じて定義される（ $F = ma$ ）。従来型の筋力トレーニングでは、質量 M を変化させることで、力 F の生成量を調節する。例えば、体重 70 kg の人に 70 kg の負荷重量を課した場合、発揮される力は

$$F = (70[\text{kg}] + 70[\text{kg}] \times 9.81[\text{m/s}^2]) \text{ (重力加速度)}$$

より、およそ 1400 N となる。一方、WBV マシンを振動数 40 Hz 、振幅 4 mm に設定して振動させた場合の加速度は最大で 50.0 m/s^2 であり（van der Meer G, 2011）、プラットフォーム上で体重 70 kg の人が立位を保持する場合、発揮される力は

$$F = (70[\text{kg}] + 50[\text{m/s}^2] \times 9.81[\text{m/s}^2])$$

より 3500 N となり、前述の例を大きく上回る（ 2.5 倍）。第二に、緊張性振動反射と

呼ばれる反射的機序により、筋の収縮が不随意的かつ継続的になされることにある（東原ら，2009）。Abercromby et al. (2007) の研究によると、WBVTにより誘発された下肢筋の筋パワーの増加は、筋紡錘の反射収縮の調整によるものであると報告されている。

以上のように WBVT の効果はさまざまな研究で証明されている。さらに、Merriman et al. (2009) のシステマティックレビューにより VV マシンと RV マシンの効果を比較した研究も報告されている (Table II-1~3)。また、Cardinale & Lim (2003) は、異なる振動数における WBVT 中の緊張性振動反射や大腿四頭筋の状態について調査した結果、振動するプラットフォーム上でスクワットの姿勢を維持するときの筋電図反応は従来のスクワットと比較して有意に高い値が得られたと報告している (Fig. II-4)。これは、WBVT を用いることで、関節にあまり負担をかけない姿勢であっても、トレーニングの効果が得られることを示している。これらの特徴により、従来のマシントレーニングに馴染みがなかったり、痛みにより動的なトレーニングに抵抗があったりする有患者や高齢者に対し、WBVT は効果的なトレーニングとなると考えられる。

Table II-1. Overview of Selected Whole-Body Vibration (Rotational Vibration (Galileo)) Studies in Aging Adults

| Study | Subjects & Age | Duration | Parameters | Study Design | Main Outcome Measures | Results |
|---------------------------------------|--|----------|---|--|---|---|
| Rotational Vibration (Galileo) | | | | | | |
| Bruyere et al, 2005 | Nursing home residents (n=42) Mean age = 82 | 6 weeks | 10 Hz and 26 Hz 3 sessions/wk each session = 4 x 60 sec with 90 sec break | Control--PT alone Intervention--WBV & PT Each group received PT 3x/wk, each PT treatment was 10 min of standard ex | Tinetti POMA Timed Up and Go (TUG) | Significant improvement with WBV group with Tinetti (both gait & balance sections) and TUG Note that with the WBV group the POMA score improved from 14.9 to 20.5 which is above the fall risk threshold of 19 |
| Cheung et al, 2007 | Community-dwelling females (n = 69) Mean Age = 72 | 3 months | 20 Hz 3 sessions/wk 3 min/session | Control--remained sedentary Intervention--WBV alone | Basic balance master system Functional reach test (FRT) | Significant improvement with WBV group using basic balance system in movement velocity, maximal point excursion and directional control Non-significant improvement with FRT in the WBV group |
| Gusi et al, 2006 | Community-dwelling post-menopausal women (n = 28) Mean Age = 66 | 8 months | 12.6 Hz 3 sessions/wk 6 min/session by week 5 to study's end (initial training started at 3 min and progressed to 6 min) each 1 min bout followed by 1 min rest | Control--walking for 1 hour including 10 min of stretching ex Intervention--WBV including 10 min warm-up activities | Bone mineral density (BMD) of proximal femur (femoral neck, trochanter & Ward's triangle) & lumbar spine Blind flamingo test (balance) | BMD only at femoral neck for WBV group reached statistical significance; other hip sites showed non-significant improvement; lumbar spine BMD unchanged Significant improvement in balance with WBV group |

Table II-1. Overview of Selected Whole-Body Vibration (Rotational Vibration (Galileo)) Studies in Aging Adults (continue)

| Study | Subjects & Age | Duration | Parameters | Study Design | Main Outcome Measures | Results |
|---------------------------------------|--|-----------|--|--|---|---|
| Rotational Vibration (Galileo) | | | | | | |
| Iwamoto et al, 2005 | Community-dwelling post-menopausal women (n=50) Mean Age = 71 | 12 months | 20 Hz 1 session/wk each session = 4 mi | Control--alendronate alone Intervention--WBV & alendronate | Lumbar bone mineral density (BMD) Serum alkaline phosphatase (ALP)--bone formation Urinary cross-linked N-terminal telopeptides of type I collagen (NTX)--bone resorption Chronic back pain Vertebral fractures | Significant increase in lumbar BMD in both groups Significant decrease in NTX in both groups Significant decrease in ALP in both groups Significant decrease in chronic back pain in WBV group as compared to the control group No increase in vertebral fractures in thoracic and lumbar spine from pre- to post-intervention times in any subject |
| Kawanabe et al, 2007 | Community-dwelling (n=67) Mean Age = 72 | 2 months | 12-20 Hz 1 session/wk 4 min/session | Control--ex alone (= walking 2x/wk) Intervention--WBV & ex (= walking 2x/wk) Walking time was 30 min Ex was for balance and lower extremities for both groups | Walking speed Step length One-legged stance test | Significant increase with WBV group with walking speed, step length and one-legged stance test |
| Runge et al, 2000 | Community-dwelling (n = 34) Mean Age = 67 | 2 months | 27 Hz 3 sessions/wk each session = three 2 min bouts | Control--no WBV Intervention--WBV alone Crossover study--all participants were studied for 2 months as control and 2 months as WBV intervention groups | Chair rising (5x as quick as possible without arms) | Improved chair rising times with WBV group |

Table II-1. Overview of Selected Whole-Body Vibration (Rotational Vibration (Galileo)) Studies in Aging Adults (continue)

| Study | Subjects & Age | Duration | Parameters | Study Design | Main Outcome Measures | Results |
|--------------------------------|--|----------|---|---|---|--|
| Rotational Vibration (Galileo) | | | | | | |
| Russo et al, 2003 | Community-dwelling post-menopausal women (n=29) Mean Age = 61 | 6 months | 12-28 Hz (28 Hz for last 5 months) 2 sessions/wk each session = three 1-2 min bouts (2 min for last 5 months) | Control--standing on WBV machine with no WBV Intervention--WBV alone Both groups received supplemental calcium carbonate & vitamin D throughout the study | Muscle force and power(measured as subject jumped on forceplate) Tibial cortical bone density | Significant increase with WBV group in muscle power, but no significant change in muscle force Significant decline in tibial cortical bone density in control group, but stable in WBV group |
| van Nes et al, 2006 | Post-stroke patients in rehab (n = 53) Mean Age = 61 | 6 weeks | 30 Hz 5 sessions/wk each session = 4 x 45 sec with 1 min break | Control--stand on WBV machine with no WBV while listening to exercise on music tapes Intervention--WBV either standing or squatting with buttocks supported on height-adjusted bench Both groups received regular PT and OT treatments throughout the study | Berg balance (primary) Barthel index Functional ambulation categories (FAC) Motricity index Rivermead mobility index Somatosensory threshold Trunk control test | No clinically relevant or statistical differences between the control and WBV groups were observed in all outcome measures Both groups showed statistically significant improvements at study completion as compared to baseline levels in all outcome measures |

Table II-2. Overview of Selected Whole-Body Vibration (Vertical Vibration (Powerplate)) Studies in Aging Adults

| Study | Subjects & Age | Duration | Parameters | Study Design | Main Outcome Measures | Results |
|---------------------------------|---|----------|--|--|---|--|
| Vertical Vibration (Powerplate) | | | | | | |
| Bautmans et al, 2005 | Nursing home residents (n = 24) Mean Age = 77 | 6 weeks | 30-40 Hz 3 sessions/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 Tinetti (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 | Communitydwelling men older than 60 years (n=97) Mean Age + 68 | 1 year | 35-40 Hz 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 |

TableII-2. Overview of Selected Whole-Body Vibration (Vertical Vibration (Powerplate)) Studies in Aging Adults (continue)

| Study | Subjects & Age | Duration | Parameters | Study Design | Main Outcome Measures | Results |
|---------------------------------|--|----------|---|---|--|--|
| Vertical Vibration (Powerplate) | | | | | | |
| 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 |
| Verschueren et al, 2004 | Community-dwelling postmenopausal women (n = 70) Mean Age = 64) | 24 weeks | 35-40 Hz 3 sessions/wk each session = up to 30min 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 |

Table II-3. Overview of Selected Whole-Body Vibration (Vertical Vibration (low-magnitude)) Studies in Aging Adults

| Study | Subjects & Age | Duration | Parameters | Study Design | Main Outcome Measures | Results |
|------------------------------------|--|----------|--|---|--|---|
| Vertical Vibration (low-magnitude) | | | | | | |
| Rubin et al, 2004 | Community-dwelling post-menopausal women (n = 70) Mean Age = 57 | 1 year | 30 Hz 14 sessions/wk 2 sessions/day each session = 10 min | Control--standing on placebo (no vibration) machine that emits audible sound WBV Intervention--WBV on vibrating machine that emits audible sound | Bone mineral density (BMD) at proximal femur, lumbar spine | Significant effect of compliance on efficacy of the intervention, especially at the lumbar spine With subjects in the highest compliance quartile, WBV group versus the placebo group showed near significant net relative benefit in BMD at the femoral neck and lumbar spine |

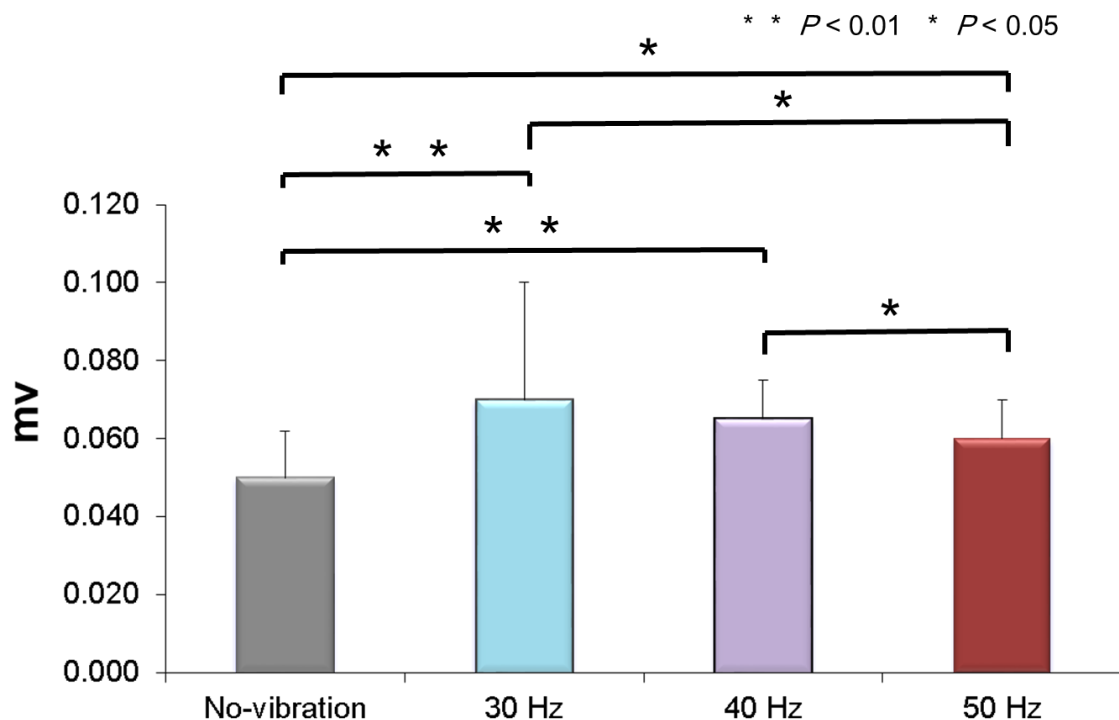


Fig. II-2. Electromyograph root mean square (EMG rms) average values of vastus lateralis recorded during different vibrational frequencies

(Cardinale & Lim, 2003)

2. 中年・高齢者への全身振動トレーニングの効果

Lam et al. (2012) は、中年・高齢者を対象に WBVT を用いることの効果を、バランス能力、移動能力、転倒の危険性の観点から調査したシステマティックレビュー (13 編に基づくメタアナリス) を行った。その結果、Tinitti Assessment Tool スコアのうち、total score, Tinitti balance score (バランス能力) かつ Timed up and go (TUG) で評価された移動能力に対して有意な改善が得られたが、Tinitti gait score (歩行能力) の結果では改善傾向が見られなかったと報告した。さらに、Roelants et al. (2004) は閉経期女性 (58~74 歳) を対象として、WBVT が骨密度に及ぼす影響を調査したところ、24 週間、週 2 回の実践により、従来の筋力トレーニングと比べ、

等速性膝伸展筋力及び動的筋力が有意に向上したことを確認した（それぞれ、16.5%、10.6%向上）。また、股関節部骨密度も WBVT 群では有意に増加（0.90%）したが、筋力トレーニング群は有意な増加はみとめられなかったとした（0.60%）。また、骨粗鬆症を有する中高齢女性（58~74 歳）を対象として、WBVT 群、筋力トレーニング群、コントロール群の 3 群で比較した結果、6 週間、週 3 回の WBVT の実践で股関節部骨密度（Bone Mineral Density）は有意に増加（0.93%）した。しかし、筋力トレーニング群とコントロール群は股関節部骨密度の増加が見られなかった（それぞれ、-0.60%、-0.62%）と報告されている（Verschueren et al., 2004）。これらの結果は WBVT が中年・高齢女性の転倒及び骨折のリスク因子を変化させうるトレーニング方法である可能性を示唆している。

また、42 名の老人ホームの高齢者を対象とした 6 週間、週 3 回の介入により、バランス能力及び TUG がそれぞれ 29.0%、33.1%改善したことが報告されている（Bruyere et al., 2005）。これは、理学療法を実践したコントロール群と比較して有意に高い改善率であった。さらに、Bogaerts et al. (2007) は 60~80 歳の中年・高齢者を対象とした研究で、WBVT とフィットネストレーニングを一年間実践した場合の効果を比較検討した。その結果、等尺性筋力、瞬発性筋力、筋肉量は WBVT 群（それぞれ、9.8%、10.9%、3.4%）とフィットネストレーニング群（それぞれ、13.1%、9.8%、3.4%）の両群において有意に増加した。しかし、有意な群間差はみとめられなかった。一方で、実践時間に着目すると WBVT 群（40 分間）はフィットネス群（90 分間）に比して短時間であるにもかかわらず同様の結果が得られた。このことから、WBVT は長時間の運動が困難な身体的に虚弱な高齢者に対しても実践可能なトレーニングとなる可能性があると考えられる。

Pollock et al. (2012) は要介護の高齢者（77 名、 80.0 ± 8.6 歳）を WBVT 群（8 週間/週 3 回）と非振動群に割り付け効果を比較した。その結果、WBVT 群の方が移

動能力 (38.0% vs. 20.0%) や歩行能力 (36.0% vs. 18.1%) の向上率が大きくなることを確認した。また, Alvarez-Barbosa et al. (2014) は老人ホームの高齢者 (80~98 歳) を対象とし, 8 週間, 週 3 回の WBVT を実践したところ, TUG (11.8%), 30 秒間椅子立ち上がり (36.3%), Euro QOL (5.3%) が, それぞれ向上したことが報告されている。しかしながら, 老人ホームの高齢者 (62 名, 83.2 ± 8.0) を対象とし, 12 週間, 週 3 回の WBVT を実践する群と, 通常の日常生活を行うように指示したコントロール群とを比較した結果, 転倒リスクの関連因子であるバランス能力, 移動能力, 歩行能力について有意な差がみとめられないことを示した報告もある (Beudart et al., 2013)。さらに, 近年, 脳卒中患者を対象とした WBVT の有効性に関する研究が注目されている。WBVT を実践した WBVT 群 (6 週間/週 3 回) と通常の日常生活を行うことを指示したコントロール群を比較した結果, WBVT 群のみ, 等尺性膝伸展筋力及び等速性膝屈曲筋力に有意な向上が見られたと報告されている (Tankisheva et al., 2014)。特に, 麻痺側に対して, より大きな改善が得られた。従って, WBVT は, 脳卒中の発生による不自由な方にも有効性が高く安全に実践可能なトレーニングであると考えられる。

以上のことから, WBVT は高齢者かつ有疾患者に対しても実践可能なトレーニング方法であると考えられる。

第6節 膝痛もしくは膝OAを有する中年・高齢者への全身振動トレーニングの効果

膝OAを有する中高齢女性を対象としたWBVTに関する研究において筋力及びバランス能力が有意に向上することが示唆されている (Salmon et al., 2012)。Trans et al. (2009) は膝OAを有する女性を対象とし、WBVTを実践(8週間/週2回)した結果、筋力やバランスの能力の向上が確認された。しかし、この研究で使用されたWBVマシンは各測定項目についてそれぞれ(筋力: WBVマシン, バランス能力: WBVバランスボード)異なる機序であった。一方、WBVTの改善率は他のトレーニング方法と比べて、顕著に優れているわけではなかった。しかし、自宅にて筋力トレーニングを行ったコントロール群と比較するとWBVT群ではより高い参加率が確認され、かつ脱落者が一人もいなかったことから、膝痛を有する中年・高齢者にとって継続実践しやすいトレーニング方法であることが示唆された。

また、Avelar et al. (2011) による膝OAを有する高齢者を対象とした研究で、WBVTにより実践したWBVT群とコントロール群の間に身体機能や主観的膝機能について有意差は見られなかったが、全ての項目においてWBVTの実践(週3回/12週)について有効性が高い傾向がみられた。さらに、膝OAを有する中年・高齢者がWBVTを実践することで、等速性膝伸展筋力(2.2%)、レッグプレスパワー(8.8%)、階段昇降能力(12.8%)が向上した研究も報告されている。

以上の先行研究から、WBVTの実践は性別、年齢にかかわらず、膝機能もしくは運動器機能の向上に効果的である可能性が認められる。また、多くの先行研究においてWBVT群はコントロール群と比較して継続率や参加率が高く、かつ脱落者が少ないことが報告されており、膝痛を有する中年・高齢者にとって適切なトレーニング方法となる可能性が高い。

第 III 章 検討手順

第 1 節 検討課題の設定

慢性膝痛を有する中年・高齢者を対象として、WBVT の実践が運動器機能に及ぼす影響を検証するため、本研究では「高齢者の運動器機能」及び「WBVT の有効性」の 2 つのフェーズを設定した (Fig. III)。対象者の運動器機能の実態調査、WBVT の効果検証である。本博士論文では、下図に示したように 3 つの課題を設定した。

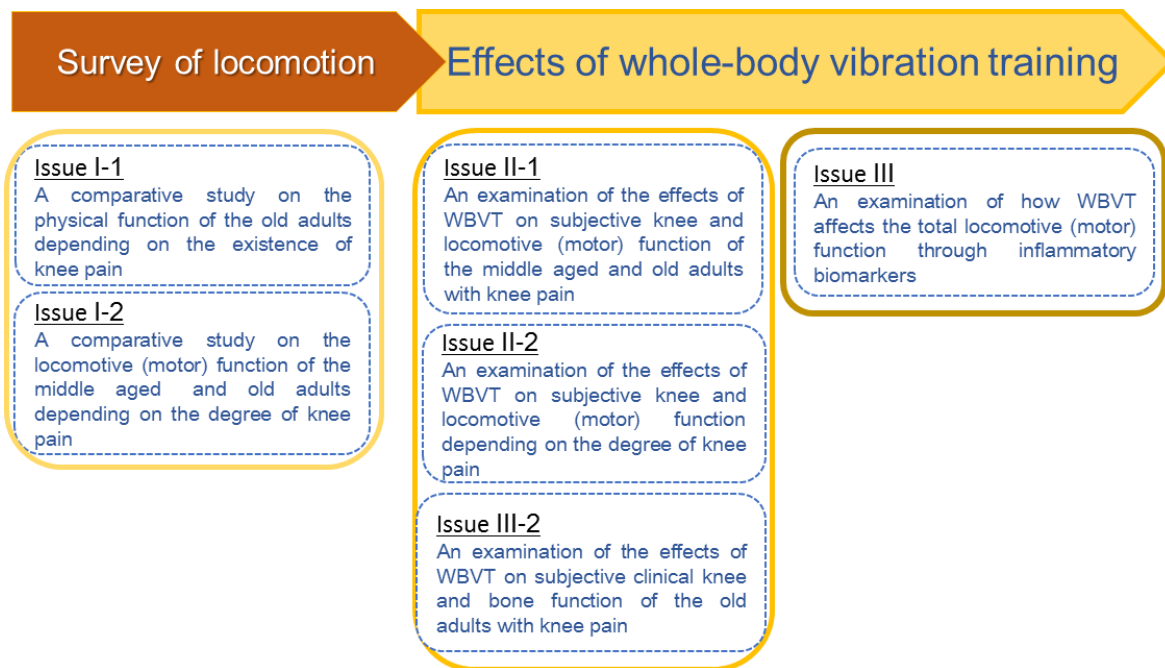


Fig. III. The scheme of the doctoral thesis procedure

課題 I-1: 地域在住高齢者における膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響

膝痛は椅子立ち上がり動作, 階段昇降能力かつ歩行能力などの日常生活動作が困難となり, 生活の質を低下させる要因として知られている。さらに, 膝痛の主な原因は加齢が挙げられる。加齢に伴う膝痛の発生は生活質の低下のみならず, 社会活動参加の低下及び閉じこもりなどにより, 心理的面にまで悪影響を及ぼすことが知られている。そこで本課題では, 地域在住高齢者を対象とした膝痛有無の実態調査及び膝痛を有した場合はどのように運動器機能に影響を与えているかについて詳細な検討を行う。

課題 I-2: 膝痛を有する中年・高齢者における膝 OA の重症度が運動器機能に及ぼす影響

先述したように, 膝痛はさまざまな日常生活動作が困難になることが知られている。K-L グレードⅡ以上 (中程度) の多くの者が階段昇降能力の困難を訴え, 一步ずつの昇降になるが, 軽症群は階段の下がりて困難を訴える者が多い。このように膝 OA の重症度により困難な動作が異なることが知られている。以上のことから, 本課題では膝 OA の重症度別に運動器機能の状態を調査する。

課題Ⅱ-1: 全身振動トレーニングが膝痛を有する中年・高齢者の運動器機能及び心理機能に及ぼす影響

これまで, 高齢者及び有患者を対象として WBVT の効果に関する検討が欧米を中心として行われてきた (van Nes et al., 2006; Segal et al., 2013)。しかし, 日本人

65 歳以上の高齢者の約 60%が膝に何らかの異常を生じることが知られているものの日本人を対象とした研究は極めて少ない。

そこで本課題では、膝痛を有する日本人中年・高齢者を対象として、WBVT が主観的膝機能を含む運動器機能に及ぼす影響について詳細な検討を行うこととする。

課題Ⅱ-2: 膝 OA の重症度別にみた全身振動トレーニングの効果

膝 OA の症状が重度の場合、手術治療を検討されるものの、大半は手術治療より保存的治療（運動療法、理学療法など）のみを望む者が多い。さらに、保存的治療として OARSI では筋力トレーニングを推奨している。しかし、膝 OA が重度に進行した者は筋力トレーニングの実践が困難になる（Segal et al., 2010）。

そこで本課題では膝 OA の重症度別に全身振動トレーニングの効果を検討し、加えて、膝 OA 重症者にとって適切なトレーニング方法となるプログラムを作成する。

課題Ⅱ-3: 全身振動トレーニングが膝痛を有する高齢者の骨密度に及ぼす影響

加齢に伴い骨機能が急激に低下することが知られている。さらに、膝機能と関連がある骨密度の低下は高齢者の生活の質（Quality of Life: QoL）と直接関連があることも報告されている（村木, 2012）。膝 OA を有する高齢者は骨機能にも変化があり（Burnett et al., 2015）、骨量（Bobinac et al., 2003）、骨密度（Zysset et al., 1994; Johnston et al., 2010）と関連があることが知られている。また、Verschueren et al.（2004）は閉経期の高齢女性を対象とした WBVT の効果を検証した結果、骨密度が向上したことを報告していることから、WBVT の実践による骨密度の向上が期待されると同時に、それに伴って膝機能にも良好な結果が得られることが期待できる。

以上のことから本課題では、WBVT が膝痛を有する高齢者の骨機能に及ぼす効果について詳細に検討する。

課題Ⅲ：炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニズムに関する検討

膝痛の原因はまだ明確に明らかになっていないが、一つの原因として膝関節の炎症が知られている。

本課題では、運動器機能と炎症バイオマーカーとの関連性を検討し、WBVT による効果のメカニズムについて検討を加える。

第2節 研究の限界

本研究では得られた結果を一般化することを目指しているが、対象者の選定、運動プログラム等に関する限界が存在する。

1. 対象者選定の限界（課題Ⅱ- 1, 2）

本研究は厳正なランダム化比較研究ではなく、元々、WBVT 群のみで設定されたため対象者数に偏りが生じている。さらに、対象者が女性のみであり、男性への適用の効果は不明である。

2. 膝痛判定基準に対する限界

対象者募集の受付は電話で行った。そのため、膝痛の判定基準として、参加希望者の主観的判断に従って‘膝痛あり’、‘膝痛なし’と判定した。

この理由から、膝痛の有無及び痛みの程度はあくまでも対象者の主観的基準によるものである。

3. コントロール群の運動プログラム設定の限界

コントロール群の運動介入方法の基準として、WBVT にて使用した同様な筋力トレーニングを用意し、実践頻度（週3回）をお知らせした。しかし、自宅で行ったため実践頻度に個人差が反映される可能性を除外できない。

4. 膝 OA の重症度別の検討の際サンプルサイズの限界

第VII章において必要なサンプルサイズは 63 名となる。しかしこれは、WBVT 群のみを検討することを想定したサンプルサイズのため、3 群で分散分析をするためにはサンプルサイズをさらに増やして再検討することが望ましい。また、本研究課題ではコントロール群において膝 OA の重症度別の検討は出来なかったため、今後コントロール群と比較することも必要があるだろう

5. 定義に伴う限界

第 I 章，第 3 節において本研究課題で使用する用語を定義した。本博士論文により得られた知見は，この定義の範囲内で検討し，導き出されるものである。

第 IV 章 課題I-1: 地域在住高齢者における膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響

第 1 節 諸言

平成22年度、国民生活基礎調査（厚生労働省，2010）によると，我が国の高齢者が要介護になる原因の第4位が骨折・転倒，第5位が関節疾患となっており，これら二つを合わせれば第2位の認知症とほぼ同等の割合となる。さらに，要支援となる原因疾患の第1位は関節疾患であり，介護予防の一層の推進を掲げた新健康フロンティア戦略（文部科学省，2007）においても，高齢者の骨・関節系の痛みへの対策は重要視されている。また，我が国の65歳以上の女性の有訴率第2位は「手足の関節が痛む」であり，5人に1人は関節症に悩んでいる状況である（厚生労働省，2010）。以上のことから65歳以上の女性において関節疾患の予防，改善は介護予防の観点から重要な課題である。

50歳以上の地域在住者を対象に膝痛がQoLに与える影響を検討した結果，痛みの発生もしくは継続的な痛みはQoLを低下させるが，痛みを軽減させることでQoLが向上することが報告されている（Croft et al., 2005）。さらに，その痛みは椅子立ち上がり動作，階段昇降，歩行動作などの日常生活動作を制限するだけでなく（辻ら，2011），一人で食事を用意することや公共交通機関を利用して外出する場合などの手段的日常生活動作（Instrumental activities of daily living: IADL）を低下させるリスクや，抑うつと関連すること（古川，2007）が報告されている。このように，膝痛は高齢者の身体面のみならず心理面に対しても良好な状態を維持する上で極めて重要な阻害因子である。

そこで本研究課題では，地域在住高齢者における膝痛の有無が運動器機能に及ぼす

影響について、詳細に検討を行った。

第2節 方法

1. 対象者

2014年2月に茨城県笠間市の住民基本台帳から系統的抽出法に基づき抽出された65～85歳の地域在住高齢者に対し、同年7月に実施する調査への参加を郵送により呼びかけた。調査に参加した198名のうち膝痛以外の複数の痛みを有する高齢者40名を除外し、158名を分析対象者とした。

研究遂行に先立って、全対象者に研究の目的及び測定に関する説明を十分に行い、書面によるインフォームドコンセントを得た。なお、本研究は筑波大学体育系倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 測定項目

(1) 基本的属性

対象者の基本的属性として、以下の調査を行った。

1) 膝痛

膝の痛みが半年以上続く、階段の昇降や膝の曲げ伸ばしの際、痛みを有する状態で問診により調査した。

2) 年齢

調査日の問診調査により、年齢を調査した。

3) 形態測定（身長，体重）

身長は，裸足の状態で踵・臀部・背部を尺柱につけ，耳眼水平面を保った状態で床面から頭頂点間の鉛直距離を 0.1 cm 単位で測定した。また，体重は，裸足，着衣の状態では体組成（タニタ:MC-980A）を用いて 0.1 kg 単位で測定した。

4) Body mass index (BMI)

BMI は，次式「体重 (kg) / 身長² (m)」により算出し，0.1 kg/m² 単位で測定した。

(2) 身体機能テスト（パフォーマンステスト）

日常生活動作に必要な身体機能を反映し得る評価項目として，5 回椅子立ち上がり時間，5 m 通常歩行時間，Timed up and go (TUG)，開眼片足立ち時間の計 4 項目をテストした。各テストの評価方法は，次の通りである。

1) 5 回椅子立ち上がり時間

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腰掛けさせた。合図とともに椅子から立ち上がり，直立姿勢をとらせ，再び椅子に腰掛ける動作を最大努力で素早く 5 回繰り返させた。合図をしてから 5 回目の直立姿勢をとるまでの時間を計測した。原則として十分な間隔を空けた 2 試行としたが，身体的な諸事由等により 1 試行にとどまる場合もあった。2 回測定を行った者に対しては，短い方の記録を採用した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で記録した。

2) 5 m 通常歩行時間

全長 11 m の歩行路を普段通りの早さで歩くように教示した。歩行路の両端 3 m を予備路とし、中間 5 m 歩行した際に要した時間をストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最良値を記録した。

3) Timed up and go (以下 TUG)

椅子に腰かけた状態から合図とともに立ち上がり、3 m 前方のコーンを回って再び椅子に腰かけるまでの動作を最大速度で行うよう教示した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最良値を記録した。

4) 開眼片足立ち時間

両手を腰に当て、片方の足を床面から離れた状態でできるだけ長く立位を保持するよう教示した。足を上げた時点から、バランスが崩れた時点までの時間を計測し、最大値 60 s とした。バランスが崩れたとみなす基準として、腰に当てた手が離れる、上げた足が地面に着地する、支持脚が移動する場合と定義した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最長値を記録した。

(3) 心理状態

心理状態の評価には、Brink et al. (1982) の Geriatric Depression Scale (GDS) を Sheikh and Yesavage (1986) が縮小化した短縮版 GDS を使用した。日本版は矢富 (1994) によって作成され、信頼性及び妥当性がみとめられている。各項目の合計が短縮版 GDS の得点となり、点数が高いほど抑うつ傾向の可能性が高くなる。得点の範囲は 0~15 点であり、6 点以上が「抑うつ傾向あり」と診断される (Herrmann

et al., 1996)。なお、本研究課題では 15 項目の短縮版 GDS によって算出された点数を GDS 得点と定義した。

3. 統計解析

すべてのデータは平均値 ± 標準偏差で表記した。2 群間の比較には、対応のない t 検定を行った。また、膝痛あり群と膝痛なし群間における平均値の差異の大きさの程度を推定するため、効果量 (effect size: ES) として Cohen's d (Cohen 1988) を次式により算出した。

$$d = \frac{\text{“(膝痛あり群の平均値 - 膝痛なし群の平均値) / 2 群を統合した標準偏差”}}{}$$

すべての統計処理は、統計解析ソフト IBM SPSS Statistics 21.0 を用い、統計的有意水準は 5%未満とした。

第3節 結果

1. 対象者の特徴

Table IV-1 対象者の特徴を示した。膝痛の有無に関して有意差がみとめられた項目はなかった。

Table IV-1 Descriptive data of subjects

| | | ALL | | | | MEN | | | | WOMEN | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------|----------|-----------------------|----|--------------------------|----|----------|
| | | Knee pain (n = 24) | | No knee pain (n = 134) | | P-value* | Knee pain (n = 11) | | No knee pain (n = 79) | | P-value* | Knee pain (n = 13) | | No knee pain (n = 55) | | P-value* |
| | | Mean | SD | Mean | SD | | Mean | SD | Mean | SD | | Mean | SD | Mean | SD | |
| Age | years | 78.1 ± 5.5 | 75.4 ± 4.5 | 0.18 | 78.5 ± 5.8 | 75.8 ± 4.8 | 0.18 | 77.7 ± 5.5 | 74.6 ± 3.8 | 0.07 | | | | | | |
| Height | cm | 155.5 ± 11.1 | 157.2 ± 8.5 | 0.36 | 165.0 ± 7.4 | 162.8 ± 5.7 | 0.36 | 147.5 ± 6.0 | 149.2 ± 4.5 | 0.36 | | | | | | |
| Body weight | kg | 57.9 ± 11.7 | 56.6 ± 9.0 | 0.09 | 66.9 ± 9.7 | 61.2 ± 8.1 | 0.09 | 50.2 ± 2.6 | 50.0 ± 5.5 | 0.91 | | | | | | |
| Body mass index | kg/m ² | 24.5 ± 2.5 | 23.1 ± 2.6 | 0.11 | 24.5 ± 2.5 | 23.1 ± 2.6 | 0.11 | 23.0 ± 2.6 | 22.5 ± 2.5 | 0.47 | | | | | | |
| Bilateral pain | n (%) | 10 (41.7%) | - | - | 5 (45.5%) | - | - | 5 (38.5%) | - | - | | | | | | |

SD: standard deviation

* P value from student's *t*-test, *P* < 0.05

2. 膝痛の有病率

Fig. IVに地域在住高齢者の膝痛有病率を示した。全体的膝痛を有する者は15.2%であった。また、男女別で有病率は男性が12.2%、女性が19.1%であった。

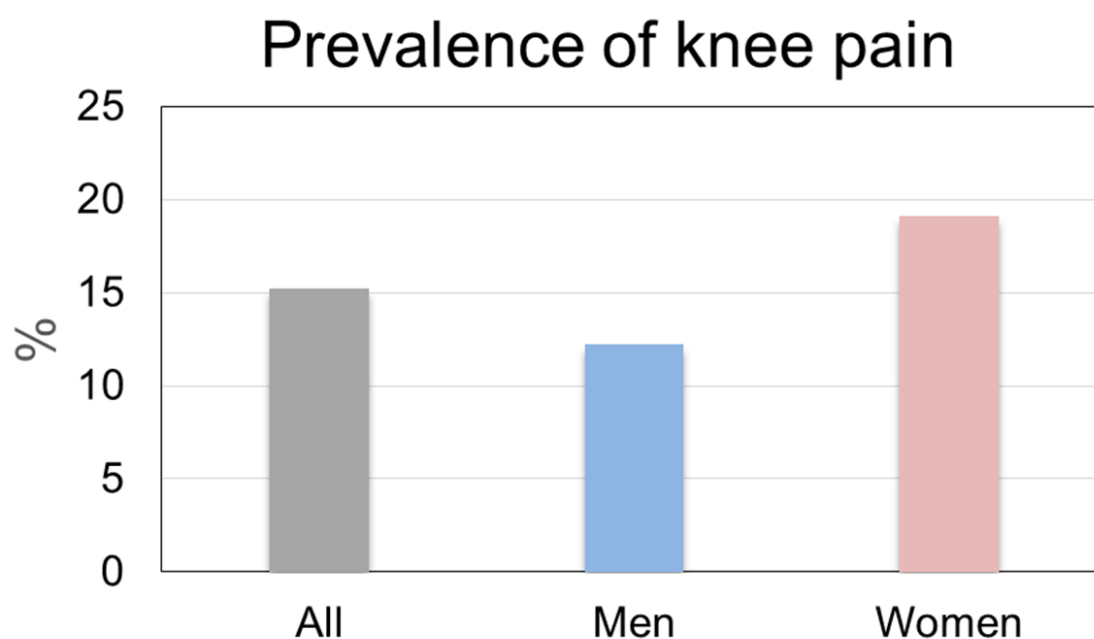


Fig. IV. The prevalence of knee pain in community-dwelling elderly

3. 心身機能の検討

Table IV-2, 3, 4に膝痛の有無と身体機能及び心理状態の関連性を示した。性を分けて分析した結果 (I-2) では5回椅子立ち上がり時間 ($P < 0.01$), 5 m 通常歩行時間 ($P=0.01$) 及び TUG ($P=0.03$) において膝痛あり群が膝痛なし群よりも長い (不良な) 値を示し、いずれも群間に有意差がみとめられた。また、性別に分析した結果 (I-3, 4) 女性のみが5回椅子立ち上がり時間 ($P=0.04$), 5 m 通常歩行 ($P=0.01$) と TUG ($P=0.02$) において有意差がみとめられた。一方、心理状態を表す GDS 得点はいずれの群においても有意差がみとめられなかった。 ($P=0.20-0.73$)

Table IV-2. Measurement comparisons in the physical performance and mental state between knee pain and no knee pain (all participants)

| | | Knee pain (n = 24) | | No knee pain (n = 134) | | Effect size Cohen's <i>d</i> | <i>P</i> -value * |
|--------------------------------|-------|--------------------|----|------------------------|----|---------------------------------|-------------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Physical performance | | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 8.79 ± 3.39 | | 7.58 ± 1.61 | | 0.46 | < 0.01 |
| 5-m habitual walk | sec. | 4.03 ± 1.06 | | 3.65 ± 0.59 | | 0.44 | 0.01 |
| Timed up and go | sec. | 6.53 ± 2.62 | | 5.94 ± 1.02 | | 0.30 | 0.03 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 31.4 ± 20.5 | | 34.2 ± 20.8 | | 0.14 | 0.55 |
| Mental state | | | | | | | |
| GDS | score | 3.5 ± 2.4 | | 2.5 ± 2.6 | | 0.40 | 0.73 |

SD: standard deviation

Cohen's *d*: 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = medium, 0.8 ≤ large

* *P* value from student's *t*-test, *P* < 0.05

GDS: geriatric depression scale

Table IV-3. Measurement comparisons in the physical performance and mental state between knee pain and no knee pain (the case of men)

| | | Knee pain (n = 11) | | No knee pain (n = 79) | | Effect size Cohen's <i>d</i> | <i>P</i> -value * |
|--------------------------------|-------|--------------------|----|-----------------------|----|---------------------------------|-------------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Physical performance | | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 8.30 ± 1.50 | | 7.50 ± 1.58 | | 0.52 | 0.12 |
| 5-m habitual walk | sec. | 3.64 ± 0.76 | | 3.60 ± 0.54 | | 0.06 | 0.82 |
| Timed up and go | sec. | 5.98 ± 1.09 | | 5.81 ± 1.09 | | 0.16 | 0.64 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 34.5 ± 19.8 | | 33.8 ± 20.2 | | 0.04 | 0.91 |
| Mental state | | | | | | | |
| GDS | score | 3.3 ± 2.1 | | 2.3 ± 2.4 | | 0.45 | 0.20 |

SD: standard deviation

Cohen's *d*: 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = medium, 0.8 ≤ large

* *P* value from student's *t*-test, *P* < 0.05

GDS: geriatric depression scale

Table IV-4. Measurement comparisons in the physical performance and mental state between knee pain and no knee pain (the case of women)

| | | Knee pain (n = 13) | | No knee pain (n = 55) | | Effect size Cohen's <i>d</i> | <i>P</i> -value* |
|------------------------------------|-------|--------------------|----|-----------------------|----|---------------------------------|------------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | | |
| <i>Physical performance</i> | | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 9.23 ± 4.52 | | 7.65 ± 1.68 | | 0.46 | 0.04 |
| 5-m habitual walk | sec. | 4.37 ± 1.19 | | 3.74 ± 0.65 | | 0.66 | 0.01 |
| Timed up and go | sec. | 6.98 ± 1.87 | | 6.12 ± 0.92 | | 0.58 | 0.02 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 28.4 ± 21.6 | | 34.8 ± 21.9 | | 0.29 | 0.36 |
| <i>Mental state</i> | | | | | | | |
| GDS | score | 3.7 ± 2.7 | | 2.8 ± 0.4 | | 0.46 | 0.20 |

SD: standard deviation

Cohen's *d*: 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = medium, 0.8 ≤ large

* *P* value from student's *t*-test, *P* < 0.05

GDS: geriatric depression scale

第4節 考察

Table IV-2, 3, 4 に示した結果から、高齢者における膝痛の有無は5回椅子立ち上がり時間、5 m 通常歩行時間、TUG で評価される身体機能に影響を及ぼすことがみとめられた。この動作は機能的な日常生活動作の遂行に関して重要な評価項目であることから、膝痛は日常生活動作の遂行を困難にさせる。Hirano et al. (2014) は膝痛の有無が移動能力や椅子から立ち上がる動作に影響を及ぼすことを報告しており、本研究から得られた結果が先行研究の結果と同様な傾向を示したことから、膝痛の有無が様々な動作に支障を及ぼすことが再確認された。一方で、開眼片足立ち時間においては有意差がみとめられなかった。本検討における開眼片足立ち時間は、軸足を対象者自身が選択する方法で測定を行った。そのため、対象者は膝痛がない足を軸足としたと想定され、膝痛の有無が開眼片足立ち時間の結果に反映されなかったため、有意差がみとめられなかったと考えられる。

また、心理状態の評価に用いた GDS の結果にも有意差が認められなかった理由として、本検討の対象者の特徴が大きく影響したと考えられる。膝痛を有する者を対象として抑うつと膝痛の関連性を調査した先行研究では、膝痛の有無よりも、痛みの程度が抑うつに関連すると報告されている (Creamer et al., 1999^A; Creamer et al., 1999^B; Brandt et al., 2000; Kim et al., 2011)。一方、本研究の対象者は、自ら測定会に参加を希望した高齢者が大半で、健常な高齢者が多く、さらに、膝痛を有していても極度に痛みが強い者は含まれていないと考えられる。このことから、軽度な膝痛により、心理状態に与える影響は小さかった可能性がある。また、先行研究によると、高齢者に対して膝痛の有病率は50%を超えることが事実である。しかし、Fig. IVに示しているように、本研究課題の対象者に対しては少ない有病率が確認された(12.1~19.1%)。この結果から一言えることは、強い痛みを有する高齢者は自ら測定会に参加してない可能性が高いと考えられる。すなわち、先述したように膝痛を有すると椅子立ち上がり動作、歩行能力などが困難もしくは低下する傾向がある場合、それと関連がある測定会に参加し難い。この点も本研究課題における対象者選定の限界として考慮するべきだと考えられる。

また、男女別に調査した結果、男性はいずれの項目においても有意差が認められなかった。一方、女性は5回椅子立ち上がり時間、5 m 通常歩行時間及び TUG におい

て有意差がみとめられた。膝 OA を有する高齢女性の大腿四頭筋の筋力は、膝 OA のグレードにかかわらず、健常な女性高齢者よりも低いことが報告されている（健常な女性高齢者の大腿四頭筋の筋力が約 22%高い）（Palmieri-Smith et al., 2010）。

また、Muraki et al. (2009) は、膝 OA を有する男性高齢者は膝 OA のグレードが高いほど痛みが強くなり、膝筋力が低下することを述べた。すなわち、女性は膝痛の有無が、男性は膝痛の程度が筋力に影響を与えるといえるだろう。本研究課題における主な限界は、痛みの有無や痛みの程度の調査は対象者の主観に委ねられていた。そのため、同じ痛みでも医学的な診断結果に基づくものではなく、各々の対象者が認識している痛みの程度が反映された可能性が高いと考えられる。

第 5 節 要約

本課題では、膝痛の有無や痛みの程度が心身機能に及ぼす影響を検討した。その結果、膝痛の有無は 5 回椅子立ち上がり時間、5 m 通常歩行時間、TUG で評価される身体機能と深く関連することが示唆された。特に、女性において、5 回椅子立ち上がり時間、5 m 通常歩行時間及び TUG で有意差がみとめられ、男性より女性においてより多くの関連性がみとめられた。さらに、GDS の結果はいずれの群においても有意差は認められなかった。

第V章 課題I-2: 膝痛を有する中年・高齢者における膝 OA の重症度が運動器機能及び心理機能に及ぼす影響

第1節 緒言

加齢に伴う膝痛の原因として膝 OA がよく知られており、膝 OA の進行により膝痛も強くなることが一般的である。特に、膝 OA が中度以上になると階段昇降動作の困難を訴える事例が多く、一歩ずつの昇降となる可能性が高いと言われる。膝 OA に対して痛みが発生するメカニズムは関節包の骨棘など関節軟骨周辺での摩擦による骨膜炎、変形や拘縮に伴う関節周囲の筋腱付着部炎、罹患軟骨下骨の骨髄内静脈のうっ血などが主な原因として知られている（古賀, 2008）。

一方、日本人を対象とした研究で、Yoshimura et al. (2009) は X 線撮影により評価した変形グレード（0-IV: グレードが低いほど良好）別に痛みを調査した結果、男性は膝 OA のグレードが高いほど膝痛が強いことが確認され、女性では変形グレード II の場合に膝痛が最も強いと報告している。また、変形がみられなかった（変形グレード 0-I）女性の約 20%にも膝痛がみられたことから、女性においては、膝痛は変形グレードの影響を受けない、もしくは少ないことも報告されているため、膝 OA の有無と膝 OA 重症度別にそれぞれ検討する必要があると考えられる。

そこで本研究では、膝痛を有する中年・高齢者を対象に膝 OA の重症度と運動器機能との関連性を横断的に検討することとした。

第2節 方法

1. 対象者

本検討には2012年1月から3月（1回目）と2014年7月から12月（2回目）に実施した膝痛改善運動教室対象者のベースライン時における測定データを用いた。1回目の対象者は50歳から75歳の中年・高齢者29名（平均年齢: 62.1 ± 5.5 歳）であり、2回目の対象者は65歳から86歳の高齢女性52名（平均年齢: 71.2 ± 5.5 歳）であった。いずれも募集は茨城県地域情報紙で行い、ペースメーカー使用者、急性疾患、重症糖尿病の既往歴を有する者、自立的歩行が困難な者を募集除外とした。

研究遂行に先立って、全対象者に研究の目的及び測定に関する説明を十分に行い、書面によるインフォームドコンセントを得た。本研究は筑波大学体育系倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 測定項目

(1) 基本的属性

対象者の基本的属性として、以下の調査を行った。

1) 膝痛

膝の痛みが1年以上続く、階段の昇降や膝の曲げ伸ばしの際、痛みを有する状態で問診により調査した。

2) 年齢

プレテスト日の問診調査により、年齢を調査した。

3) 形態測定（身長、体重）

身長は、裸足の状態で踵・臀部・背部を尺柱につけ、耳眼水平面を保った状態で床面から頭頂点間の鉛直距離を0.1 cm単位で測定した。また、体重は、裸足、着衣の

状態で体組成（タニタ：MC-980A）を用いて 0.1 kg 単位で測定した。

4) Body mass index (BMI)

BMI は、次式「体重 (kg) / 身長² (m)」により算出し、0.1 kg/m² 単位で測定した。

(2) 身体機能テスト（パフォーマンステスト）

日常生活動作に必要な身体機能を反映し得る評価項目として、5 回椅子立ち上がり時間、5 m 通常歩行時間、TUG、開眼片足立ち時間の計 4 項目をテストした。各テストの評価方法は、次の通りである。

1) 5 回椅子立ち上がり時間

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腰掛けさせた。合図とともに椅子から立ち上がり、直立姿勢をとらせ、再び椅子に腰掛ける動作を最大努力で素早く 5 回繰り返させた。合図をしてから 5 回目の直立姿勢をとるまでの時間を計測した。原則として十分な間隔を空けた 2 試行としたが、身体的な諸事由等により 1 試行にとどまる場合もあった。2 回測定を行った者に対しては、短い方の記録を採用した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で記録した。

2) 5 m 通常歩行時間

全長 11 m の歩行路を普段通りの早さで歩くように教示した。歩行路の両端 3 m を予備路とし、中間 5 m 歩行した際に要した時間をストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最良値を記録とした。

3) TUG

椅子に腰かけた状態から合図とともに立ち上がり、3 m 前方のコーンを回って再び椅子に腰かけるまでの動作を最大速度で行うよう教示した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最良値を記録とした。

4) 開眼片足立ち時間

両手を腰に当て、膝痛がある足を軸とし、もう一方の足を床面から離れた状態でできるだけ長く立位を保持するよう教示した。なお、両側に膝痛がある場合は、より痛みが強い足を軸とした。足を上げた時点から、バランスが崩れた時点までの時間を計測し、最大値 60 s とした。バランスが崩れたとみなす基準として、腰に当てた手が離れる、上げた足が地面に着地する、支持脚が移動する場合と定義した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最長値を記録とした。

(3) 心理状態

心理状態の評価には、Brink et al. (1982) の Geriatric Depression Scale (GDS) を Sheikh and Yesavage (1986) が縮小化した短縮版 GDS を使用した。日本版は矢富 (1994) によって作成され、信頼性及び妥当性が確認されている。各項目の合計が短縮版 GDS の得点となり、点数が高いほど抑うつ傾向である可能性が高くなる。得点の範囲は 0~15 点であり、6 点以上が「抑うつ傾向あり」と診断される (Herrmann et al., 1996)。なお、本研究では 15 項目の短縮版 GDS によって算出された点数を GDS 得点と定義した。

(4) 膝関節筋力・筋パワー

膝関節周囲の最大トルク、平均パワーの測定には、多用途筋機能評価運動装置 BIODEX SYSTEM 3 (Biodex Medical Systems) を使用した。測定は 3 試行を行い、以下の 5 項目の評価を行った。等尺性 (0 deg/s) 膝関節伸展最大トルクに加え、等速性 (60 deg/s) 膝関節伸展・屈曲及び等速性 (60 deg/s) それぞれにおける最大トルク、平均パワーを評価した (Fig. V-1, 2)。以後それぞれ、膝関節伸展等尺性最大トルク、膝関節伸展等速性最大トルク、膝関節伸展等速性平均パワー、膝関節屈曲等速性最大トルク、膝関節屈曲等速性平均パワーと記す。

膝関節周囲の筋力・筋パワーは等尺性 (0 deg/s) 伸展、等速性 (60 deg/s) 伸展、

等速性 (60 deg/s) 屈曲の順で測定し、各試行間には 5 分間以上の安静時間を設けた。背もたれの角度は 100 deg とし、胸部、腹部、大腿部、足首をベルトにより固定した。また、対象者の身体的負担を考慮し、測定者に脱力させた状態で重力補正を行った。なお、これらの評価方法は片足のみの測定でも良好な信頼性及び、妥当性が確認されている (Salem et al., 2000; Newman et al., 2006)。

等尺性伸展の試行においては、膝関節角度を 120 deg とし、3 sec. 間の最大努力発揮を求める方法 (Suetta et al., 2007) を用いた。等速性の試行における膝関節可動域はおよそ 90 deg (屈曲位) から 180 deg (完全伸展位) (Akima et al., 2001; Symons et al., 2005) とした。各試行の前に練習として 2 回行い、本測定ではいずれの試行も連続した 3 回の最大努力発揮を求め、測定者は全力を促す声かけを行った。測定器に内蔵されたソフトウェア (Biodex Advantage Software Ver. 3.03) によりフィルターを掛けた後、3 試行それぞれにおける最大トルク (Nm) 及び、等速性の 2 試行における平均パワー (W) を記録した。これらの値は体重の影響を受けることを考慮して (Divies and Dalsky, 1997; Minini et al., 2007), 以降の分析に体重 (kg) で除した値 (Nm/kg, W/kg) を用いることとした。

なお、測定前に対象者は、立位による下肢を中心とした静的、かつ動的なストレッチを実践した。

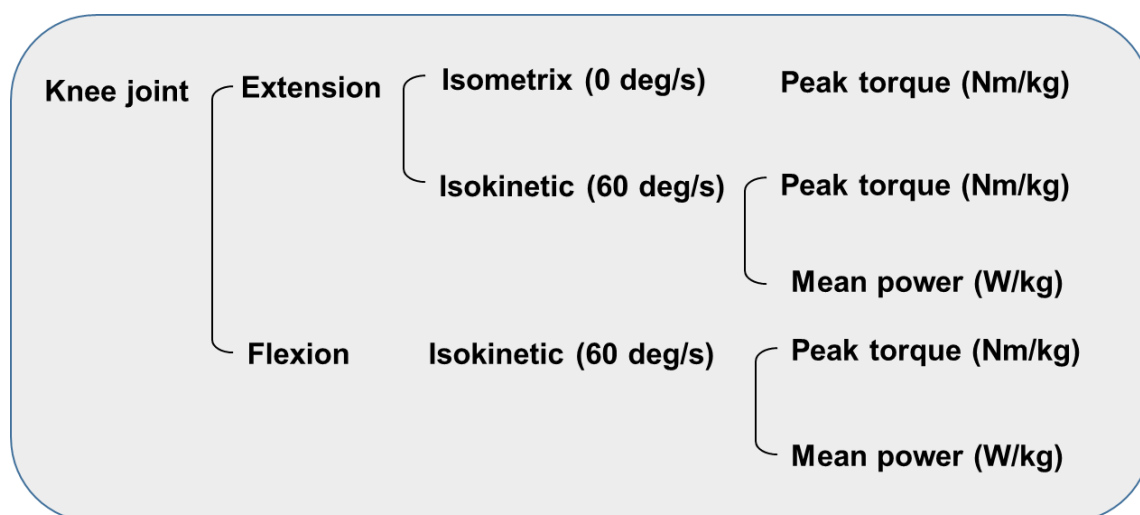


Fig. V-1. Lower limb muscular strength and muscle power evaluation items using Biodex system



Fig. V-2. Participants performing an isometric • isokinetic knee test

4. 統計解析

K-L分類に基づく（痛みがある膝もしくは痛みが最も強い膝を基準）X線画像評価を行ったところ，0期（正常）：40名，I期（微小な骨棘形成が疑われる）：11名，II-IV期（軽度OA-高度OA）：30名であった。以上の結果から本研究では，Ciolac et al. (2011)の先行研究を基に，変形なし群（グレード0），軽症群（グレードI），高度群（グレードII-IV）の3群に割り付けた。

すべてのデータは平均値 ± 標準偏差で表記し，変形の重症度別（3群間）の比較には，一要因分散分析を用い，有意差がみとめられた場合，多重比較検定を行った。多重比較検定ではBonferroni法を採用した。更に，膝OAの重症度による各測定項目の変動をみるためトレンド分析 (trend analysis) を行った。すべての統計処理は，統計解析ソフトIBM SPSS Statistics 21.0を用い，統計的有意水準は5%未満とした。

第3節 結果

1. 対象者の特徴

Table V-1に対象者の特徴を示した。膝 OA の重症度に関して有意差がみとめられた項目は年齢，体重及び肥満度指数 (body mass index: BMI) の3項目であった。

Table V-1. Descriptive data of subjects

| | | All (n = 81) | | Normal (K·L = 0) (n = 6) | | Doubtful (K·L = I) (n = 34) | | Severe (K·L ≤ II) (n = 41) | | P value* |
|---------------------------|-------------------|------------------------------|----|-----------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------------------|----|-------------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | |
| Age | years | 67.8 ± 6.6 | | 62.0 ± 4.4 | | 66.3 ± 6.6 | | 70.0 ± 6.1 | | < 0.01 |
| Height | cm | 155.8 ± 8.2 | | 153.6 ± 8.2 | | 157.1 ± 7.3 | | 155.1 ± 8.8 | | 0.45 |
| Body weight | kg | 58.5 ± 11.1 | | 49.5 ± 1.7 | | 57.2 ± 11.4 | | 60.8 ± 11.0 | | 0.04 |
| Body mass index | kg/m ² | 24.1 ± 3.4 | | 21.5 ± 2.6 | | 26.3 ± 3.7 | | 25.3 ± 2.9 | | < 0.01 |
| Sex ratio (male : female) | n (%) | 15 : 66 (18.5%) : (81.5%) | | 1 : 5 (17.5%) : (82.5%) | | 6 : 28 (27.3%) : (72.7%) | | 8 : 33 (16.7%) : (83.3%) | | 0.97 ^a |
| Bilateral pain | n (%) | 31 (38.3%) | | 4 (79.4%) | | 11 (18.2%) | | 16 (46.7%) | | 0.28 ^a |

SD: standard deviation

* P value from one way ANOVA, P < 0.05

^a P value from chi-square test, P < 0.05

2. 運動器機能及び心理機能の検討

Table V-2 及び Fig.V-3 に, 膝 OA の重症度別の運動器機能及び心理機能との関連性を示した。身体パフォーマンスでは, TUG ($P=0.03$) 及び開眼片足立ち時間 ($P<0.01$) において有意差が認められた。一方, 5回椅子立ち上がり時間 ($P=0.27$), 5m 通常歩行時間 ($P=0.21$) においては有意差が認められなかった。多重比較検定の結果, TUG 及び開眼片足立ち時間のいずれの項目においても中度群と重度群の間において有意差 ($P<0.05$) が認められた。また, 下肢筋力・筋パワーについては等尺性膝関節伸展最大トルク ($P=0.02$), 等速性膝関節伸展最大トルク ($P<0.01$), 等速性膝関節伸展平均パワー ($P<0.01$) で有意差が認められた。多重比較検定の結果, 中度群と高度群との間に有意差が認められた ($P<0.05$)。その他, 等速性膝関節屈曲最大トルク ($P=0.29$) 及び等速性膝関節屈曲平均パワー ($P=0.07$) においては有意差が認められなかった。さらに, GDS においても有意差が認められなかった ($P=0.12$)。

一方, 膝 OA の重症度による各測定項目の変動をみるためトレンド分析 (trend analysis) を行った結果, 開眼片足立ち時間のみ有意な変動がみられた (trend $P=0.04$) (Fig.V-3)。

Table V-2. Measurement comparisons in the physical performance, knee strength, power and mental state in each group

| | | All (n = 81) | | Normal (K·L = 0) (n = 6) | | Doubtful (K·L = I) (n = 34) | | Severe (K·L ≤ II) (n = 41) | | P-value* | Bonferroni ⁺ |
|------------------------------------|-------|-----------------|----|-----------------------------|----|--------------------------------|----|-------------------------------|----|------------------|-------------------------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | Mean | SD | | |
| Physical performance | | | | | | | | | | | |
| 5 times sit-to-stand | sec. | 7.27 ± 1.82 | | 7.26 ± 1.95 | | 6.88 ± 1.36 | | 7.58 ± 2.09 | | 0.27 | |
| 5 m habitual walk | sec. | 3.79 ± 0.57 | | 3.89 ± 0.58 | | 3.66 ± 0.52 | | 3.89 ± 0.60 | | 0.21 | |
| Timed up and go | sec. | 5.87 ± 0.83 | | 5.96 ± 0.72 | | 5.58 ± 0.62 | | 6.09 ± 0.93 | | 0.03 | II < III |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 40.7 ± 21.3 | | 52.7 ± 15.5 | | 47.3 ± 18.6 | | 33.7 ± 22.0 | | < 0.01 | II > III |
| Knee strength and power | | | | | | | | | | | |
| Isometric extension peak torque | Nm/kg | 1.58 ± 0.50 | | 1.31 ± 0.73 | | 1.76 ± 0.53 | | 1.48 ± 0.40 | | 0.02 | II > III |
| Isokinetic extension peak torque | Nm/kg | 1.16 ± 0.47 | | 1.15 ± 0.57 | | 1.34 ± 0.44 | | 1.01 ± 0.43 | | < 0.01 | II > III |
| Isokinetic extension average power | w/kg | 0.61 ± 0.26 | | 0.57 ± 0.25 | | 0.73 ± 0.27 | | 0.70 ± 0.22 | | < 0.01 | II > III |
| Isokinetic flexion peak torque | Nm/kg | 0.72 ± 0.29 | | 0.58 ± 0.23 | | 0.77 ± 0.31 | | 0.70 ± 0.28 | | 0.29 | |
| Isokinetic flexion average power | w/kg | 0.39 ± 0.17 | | 0.34 ± 0.94 | | 0.44 ± 0.18 | | 0.35 ± 0.15 | | 0.07 | |
| Mental state | | | | | | | | | | | |
| GDS | score | 4.0 ± 3.2 | | 6.2 ± 4.6 | | 3.4 ± 2.8 | | 4.2 ± 3.0 | | 0.12 | |

SD: standard deviation

* P value from one-way ANOVA, P < 0.05

⁺ multiple comparisons were made using Bonferroni post hoc test

GDS: geriatric depression scale

I: Normal, II: Doubtful, III: severe

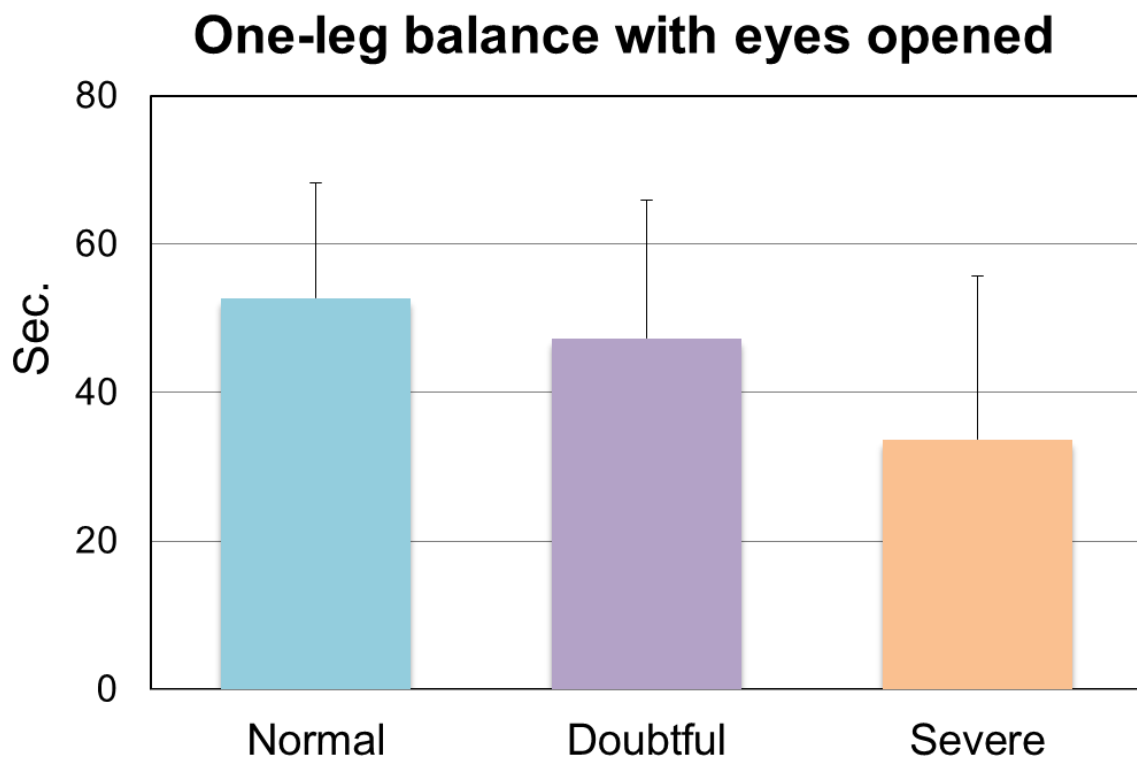


Fig. V-3. Trend analysis depending on the degree of Kellgren-Lawrence grade

第4節 考察

膝痛を有する中年・高齢者を対象として膝 OA の重症度別に運動器機能及び心理機能について検討した。その結果、運動器機能では TUG, 開眼片足立ち時間, 等速性膝関節伸展最大トルク, 等尺性膝関節伸展最大トルク・平均パワー ($P \leq 0.03$) においてのみ群間の有意差が認められたものの, それ以外の項目においては有意差が認められなかった。さらに, 開眼片足立ち時間は重度群になるほど有意に悪化することも確認された。

TUG は歩行能力や動的バランス, 敏捷性などを総合した functional mobility (機能的移動能力) を評価することができると言われている (Podsiadlo & Richardson, 1991)。また, 日常生活活動 (activities of daily living) の低下や転倒と強く関連する評価項目であることから, TUG の結果が低値 (時間が長い) となる, 膝 OA が重度の者ほど日常生活活動の低下や転倒発生のリスクが高くなる可能性がある。また, 静的バランスの評価項目である開眼片足立ち時間についても有意な値が得られた。特に, 膝 OA が重度になるほど静的バランス能力が低くなれることもトレンド分析から言える。また, 膝関節伸展筋力の低下は, 椅子から立ち上がり動作 (大森ら, 2004) や歩行能力 (西嶋, 2004) と高い関連があり, さらに転倒リスクも高くなることが報告されている (Moreland et al., 2004)。

勝田 (1993) によると膝 OA がなくても, 加齢に伴い下肢筋の低下は認められ, 特に膝関節屈曲筋力より膝関節伸展筋力の低下率がより大きいと言われている。本研究で, 膝関節筋力・筋パワーの測定では, 等尺性膝関節伸展最大トルク及び等速性膝関節伸展最大トルク・平均パワーの 3 項目において有意差が認められた。

一方, 等速性膝関節屈曲最大トルク・平均パワーについては有意差が認められなかった。この結果から, 膝 OA が重度の者ほど膝関節伸展筋力や筋パワーが低下し, 結果として複合的動作能力である TUG にも影響を与えた可能性が考えられる。さらに, 膝 OA の重症度と膝関節屈曲の最大トルクと平均パワーの関連が低いことが認められた。膝 OA 患者の中, “正座” が出来ないもしくは困難となると訴える人が多く, あるいは膝関節屈曲の筋力・筋パワーよりは柔軟性 (可動域) がより重要であるかもしれない。

膝筋力・筋パワーで有意差が認められた項目（等尺性及び等速性膝関節伸展最大トルク，等速性膝関節伸展平均パワー）の主動作筋は大腿四頭筋である。一方，大腿四頭筋の筋力強化が膝痛の軽減や起立歩行能改善に有効であるという臨床的研究が報告されている。Slemenda et al. (1997) の研究によると膝 OA の女性は健常な女性と比べ大腿四頭筋の筋力が 15~18%低いことが知られている。本研究の結果は基本的には先行研究を支持するものであると言える。しかし，有意差が認められたのはすべて軽症群と重症群の間であり，膝 OA なし群との間には有意差は認められなかった。その理由として，膝 OA なし群の対象者 6 名のうち 5 名が女性であり，さらに，唯一の男性は BMI が 18.8kg/m² と痩せ傾向であったことから，筋力発揮特性が健常者と比べて弱かった可能性を否定できなかったことが考えられる。

また，心理状態を評価する GDS では有意差が認められなかった。先行研究から膝痛の有無より痛みの程度が抑うつに関連があると報告されている (Creamer^{A)} et al., 1999; Creamer^{B)} et al., 1999; Brandt et al., 2000; Kim et al., 2011)。しかし，同様な対象者で膝痛の程度により同じ分析を行った結果 (データなし) 膝痛の程度が強いほどうつ傾向がみられ，心理面へも改善のためには膝 OA より膝痛の改善が最も重要であると考えられる。

第 5 節 要約

本研究課題では，膝 OA の重症度と運動器機能との関連性について検討した。その結果，膝 OA の状態が重度になるほど開眼片足立ち時間及び TUG の値が低いことが確認された。

また，膝筋力・筋パワーも軽度群よりは重度群が弱いことが確認された。しかし，膝筋力・筋パワーの一部の項目に対して膝 OA なし群の方が重度群より低値を示したことから，その点に関しては今後再検討が必要であると考えられる。なお，心理状態を表す GDS 得点は膝 OA の重症度と有意な関連性はみられなかった。

第VI章 課題II-1: 全身振動トレーニングが膝痛を有する中年・高齢女性の運動器機能及び心理機能に及ぼす影響

第1節 緒言

日本では高齢化が急速に進み、運動器の加齢性疾患が急増している。中でも、高齢者が要支援の認定を受ける要因として最も多いのは関節疾患である（厚生労働省，2012）。日本人中年・高齢女性の約 60-80%は膝関節に変化をきたし，さらに，その半数は痛みを有している。また，これらの割合は同年代の男性の 2 倍以上であることが知られている（Muraki et al., 2009）。膝痛は階段昇降，歩行，椅子立ち上がり動作などの日常生活動作の遂行を困難にするだけでなく（Altman, 1986），介護施設への入所の必要性を高めると報告されている（Hirano et al., 2013）。以上のことから，膝痛及び膝 OA を有する女性への適切な対処は，要支援・要介護化予防の観点から非常に重要である。

国際関節学会議（Osteoarthritis Research Society International: OARSI）は，膝痛を有する者への対処法として筋力トレーニングを推奨している（Zhang et al., 2008）。近年，新たな筋力トレーニング方法として，WBVT が注目されている。このトレーニングの特徴は，反射的な筋収縮（緊張性振動反射）が引き起こされるために受動的なトレーニングを可能とすることやバーベルなどの負荷をかけずとも静的に体重を委ねることでトレーニング効果が期待できることである。その主な原理は以下の二点である。第一に，高速振動により生じる加速度により，通常重力加速度（ 9.8 m/s^2 ）を上回る重力場が作り出されることである（van der Meer G, 2011）。筋力トレーニング時に発揮される力は，加速度に質量を乗じて決定される。第二に，緊張性振動反射と呼ばれる反射的な機序により，筋の収縮が不随意的かつ持続的になされることである（東原ら，2009）。これらの特徴により，従来のマシントレーニングに馴染みがなかったり，痛みにより動的なトレーニングに抵抗があったりする有疾患者や高齢者に対し，WBVT は心身の両面から負荷を軽減しつつ，身体機能の向上を最大限に引き出す可能性を秘めたトレーニング方法である。

これまで、膝 OA 患者を対象とした WBVT の効果に関する報告が、欧米を中心に散見される (Avelar et al., 2011; Simao et al., 2012)。それらの報告では、膝 OA 患者が WBVT を実践することにより、膝痛やこわばりが緩和し、日常生活動作の遂行に対する困難感が軽減することや、バランス能力や歩行能力が改善することが示唆されている (Simao et al., 2012)。一方、膝関節が変形する際、欧米人は X 脚の者が多いことに比べ、日本人は O 脚の者が多い。いわゆる膝関節の内側に大きな負担がかかり、関節の軟骨が磨耗や変形が起りやすくなり、痛みへと発展もしやすくなることが知られている (岩谷ら, 2006)。よって、O 脚の膝 OA は膝痛に対する予防がさらに重要であると考えられる。しかしながら、日本人中年・高齢者を対象とした報告はほとんどなされておらず、WBVT の安全性や効果について十分に明らかにされていない。

この背景から本課題では、慢性膝痛を有する中年・高齢者に適した WBVT プログラムを作成し、そのプログラムを 8 週間の実践により、運動器機能及び心理機能に及ぼす影響を検討することとした。

第2節 方法

1. 対象者

膝痛緩和を目的とした WBVT 教室を筑波大学内にて開催した。募集から決定、調査完了までのフローチャートは Fig. VI-1 に示した。

膝痛を有する中年・高齢女性を対象とした WBVT の有効性を対応のある t 検定を用いて検討するにあたり、必要なサンプルサイズの見積もりを行った。The Cochrane collaboration (Fransen and McConnell, 2008) の先行研究に基づき、 $\alpha = 0.05$, Power $(1 - \beta) = 0.80$, effect size = 0.50 とし、繰り返しのある測定間の相関係数 $r = 0.70$ (辻ら, 2012) と仮定した検定力分析を行ったところ、本研究に必要なサンプルサイズは 26 名となった。

また、対象者の募集は地域情報誌に募集記事を掲載し、茨城県つくば市及びその隣の市町村に在住し、過去 1 ヶ月以内に片膝もしくは両膝に痛みを感じる機会がある、さらに、2012 年 1 月 16 日～3 月 9 日まで週 3 回 (月, 水, 金) の運動教室に参加できる女性 (50～75 歳) を対象とし、電話による受付を行った。申し込みがあった 80 名のうち、教室の参加条件 (医師から運動を禁止されていない、杖や車椅子などの補助具を必要としない、会場までの交通手段が確保できている、事前説明会・測定会に参加可能である) に適合した者が 47 名であった。研究期間中に約 20% (6 名) がドロップアウトすると想定し 32 名を抽選により選出した。その後 2 名がキャンセル、1 名が医師による運動禁忌 (関節リウマチによる膝痛と診断) となったため、29 名が WBVT の対象となった。また、15 名の落選者に対してコントロール (自宅エクササイズ) 群としての参加を促したところ、最終的に 9 名が研究に参加した。

なお、WBVT 群は全身振動機器の台数の都合上及び安全性の確保のため、1 教室あたり約 10 名の教室を 3 教室 (A クラス: 9 名, B クラス: 10 名, C クラス: 10 名) 開催した。また、コントロール群は教室開始時及び 4 週目に資料を配布し、実践方法を教示した。

なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て実施した (体 26-24 号)。また、すべての対象者には、調査協力を拒否しても不利益を被らないこと、デ

ータは研究以外には使用しないこと、プライバシーを保護することについて文書と口頭で説明を行い、本人署名による同意書を得た。なお、研究終了後、コントロール群に属した対象者 9 名全員に対して、WBVT 群と同様のプログラムを提供した。

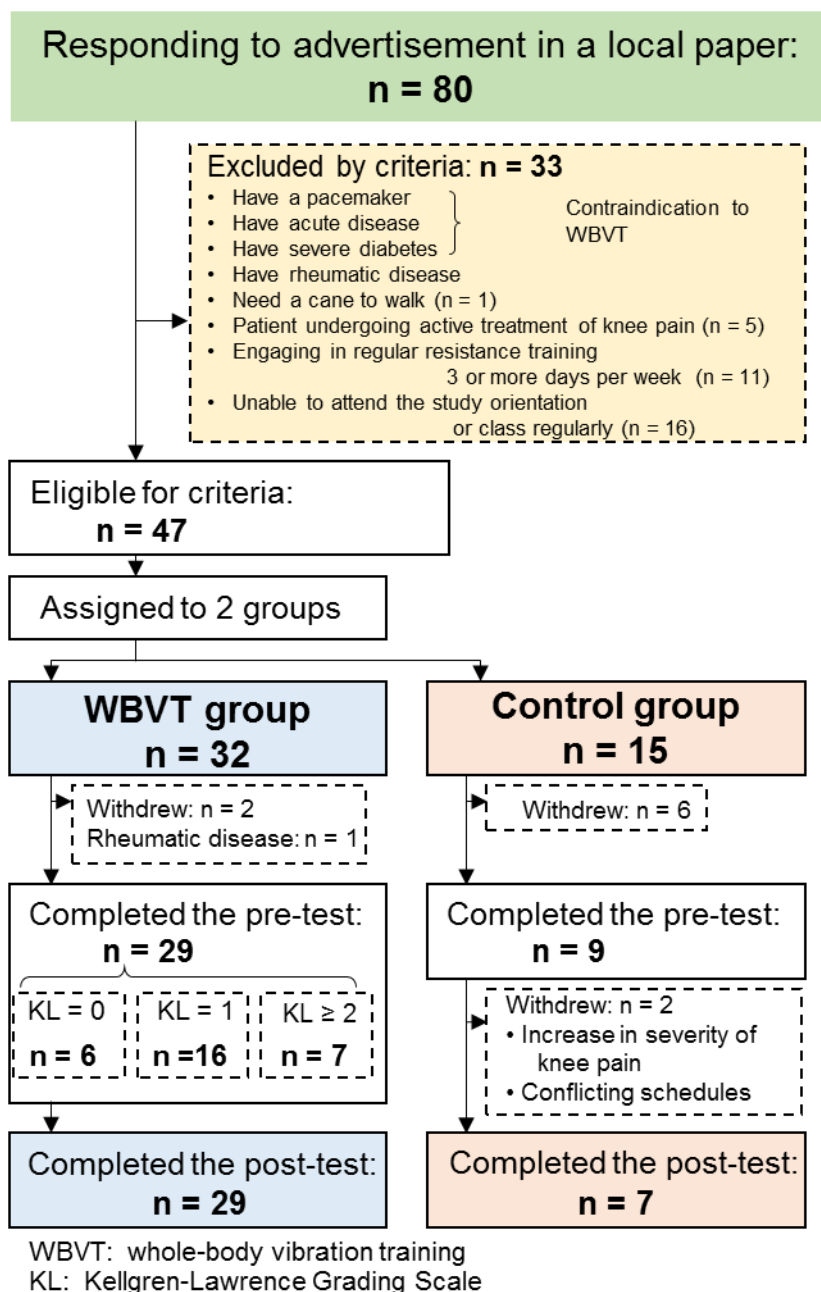


Fig. VI-1. Flow of subjects through trial

(2) 対象者の通院状況

Fig. VI-2 に、過去及び現在の膝痛による病院の通院状況を示した。WBVT 群は 82% が「過去通院の経験がある」、18%は「通院したことがない」と回答した。一方、コントロール群は 22%が「通院したことがない」と答え、それ以外は「過去にしたことがある」が 33%、「現在も通院している」が 45%だった。

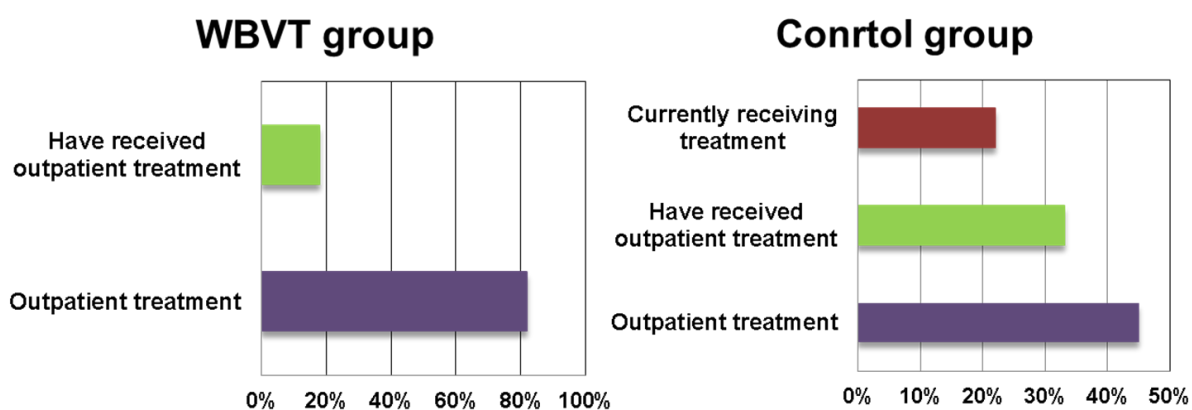


Fig. VI-2. Outpatient treatment of subjects

2. 測定項目

本研究では、プレ・ポストテストにおいて、基本的属性、膝機能、膝筋力・筋パワー、身体パフォーマンステスト、質問紙調査による評価を行った。詳細は、以下のとおりである。

(1) 基本的属性

対象者の基本的属性として、以下の調査を行った。

1) 膝痛

膝の痛みが1年以上続く、階段の昇降や膝の曲げ伸ばしの際、痛みを有する状態で問診により調査した。

2) 年齢

プレテスト日の問診調査により，年齢を調査した。

3) 身長

身長は，裸足の状態で踵・臀部・背部を尺柱につけ，耳眼水平面を保った状態で床面から頭頂点間の鉛直距離を 0.1 cm 単位で測定した。

4) 体重

体重は，裸足，着衣の状態で体組成計（タニタ：MC-980A）を用いて 0.1 kg 単位で測定した。

5) Body mass index (BMI)

BMI は，次式「体重 (kg) / 身長² (m)」により算出し，0.1kg/m² 単位で測定した。

6) 膝関節症の現・既往歴

問診により，「現在までに膝関節痛症と診断されたり，治療を受けたりしたことがありますか」の問題に対し，「はい」と回答した者を「膝関節症あり」とカテゴリー化した。また，膝痛の有無及び程度を調査した。

7) 通院状況

問診により，通院状況を調査した。

(2) 膝機能

全ての対象者に対して，以下の質問紙により，主観に基づく膝機能を調査した。

1) WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index)

付録 A)

1988 年，Bellamy et al. (1988) によって開発された患者立脚型，自記記入式の

評価方法であり，主に膝 OA 及び変形性股関節症の治療効果判定に用いられている。膝 OA による痛みや生活上の不自由に対する主観的評価を測定する尺度で，疼痛（5 項目），こわばり（2 項目），機能（17 項目）の 3 要素計 24 項目の設問に回答する。日本語版においては，過去 48 時間以内に経験した膝の痛み（5 項目），こわばり（2 項目），日常行動の困難度（17 項目）の 3 要素 24 項目の設問に「痛みまたは障害はない」から「極度の痛みまたは極度に困難」までの 5 段階の選択肢が設けられている。この WOMAC 日本語版は，良好な信頼性，妥当性が確認されている（Hashimoto et al., 2003）。最低 0 点から最高が 96 点で点数が低いほど良好を表す。

2) 日本版変形性膝関節症患者機能評価表 (Japanese Knee Osteoarthritis Measure: JKOM) 付録 B)

日本運動器リハビリテーション学会や日本整形外科学会，日本臨床整形外科学会が中心となり作成した日本人の膝 OA に特化した患者立脚型自己記入式の QoL 評価尺度で，2005 年から臨床に導入されている（岩谷，2006）。日本の生活環境において膝 OA 患者が経験している痛みやこわばり，日常生活状態，普段の生活，健康状態を 5 段階で尋ねる 25 の設問と，痛みの程度を尋ねる visual analog scale (VAS) により構成される自記式の疾患特異型 QoL 尺度である (Fig. VI-3)。全国の整形外科医療施設における調査により，信頼性，妥当性が検証されている。

評価は，VAS を除く各設問に対する最も良好な状態に該当した場合を 0 点，最も不良な状態に該当した場合を 4 点とし，中間はそれぞれの順序に応じて 1，2，3 点とする。総点を JKOM スコアとする。最低 0 点から最高が 100 点で点数が低いほど良好を表す。WOMAC との並行テストで相関が強いことが検証されている。なお，本研究でも，WOMAC と JKOM の相関係数は $r = 0.930$ (Akai et al., 2005) と非常に強かった。

「Composition of knee joint symptoms evaluation criteria」

- ◆ Degree of knee pain **numerical evaluation with VAS**
- ◆ Knee pain and stiffness ... 8 questions
- ◆ Conditions in daily life ... 10 questions
- ◆ Usual activities 5 questions
- ◆ Health conditions 2 questions

Fig. VI-3. Composition and scoring method of JKOM
(Japanese Knee Osteoarthritis Measure)

(3) 膝伸展及び屈曲筋力・筋パワー

膝伸展及び屈曲の評価として、等尺性及び等速性最大トルクを、膝伸展及び屈曲筋パワーの評価として、等速性平均パワーを、それぞれ測定した。これらの測定はいずれも、Biodex System 3 (Biodex Medical Systems) を用いて行った。膝伸展及び屈曲筋力・筋パワーの測定については、第IV章第2節にて記した方法と同様に行った。また、詳細な試行は Fig. V-1 にて示した。

(4) 身体機能テスト (パフォーマンステスト)

日常生活動作に必要な運動器機能を反映し得る評価項目として、開眼片足立ち時間、長座位前屈、長座位起立時間、5回椅子立ち上がり時間、TUG、5m通常歩行時間、Functional reach、全身選択反応時間の計8項目をテストした。各テストの評価方法は、次の通りである。

1) 開眼片足立ち時間

両手を腰に当て、片方の足（左右は問わない）を床面から離れた状態でできるだけ長く立位を保持するよう教示した。足を上げた時点から、バランスが崩れた時点まで

の時間を計測し、最大値 60 s とした。バランスが崩れたとみなす基準として、腰に当てた手が離れる、上げた足が地面に着地する、支持脚が移動する場合と定義した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、軸にした足は膝痛がある足で、両方で膝痛がある場合は少しでも膝痛の強い方とした。最長値を記録とした。軸にした足は膝痛を有する足とし、両側に膝痛を有する場合は少しでも膝痛の強い方の足を軸にし、最良値を記録とした。

2) 長座体前屈

壁に臀部と背中をつけ、長座位姿勢を取らせた。両手を伸ばし、手のひらを長座位前屈計(竹井機器工業社製)の上においたまま、膝を曲げないよう上体を前屈させた。このときの長座位前屈計の移動距離を 0.1 cm 単位で 2 回計測し、最大値を記録とした。

3) 長座位起立時間

長座位姿勢をとらせ、合図とともに最大努力で素早く立ち上がるように教示した。立ち上がり方法については、日常生活での立ち上がり方法を再現するよう教示した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し、最短値を記録とした。

4) 5 回椅子立ち上がり時間

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腰掛けさせた。合図とともに、椅子から立ち上がり直立姿勢をとらせ、再び椅子に腰掛ける動作を最大努力で素早く 5 回繰り返させた。合図をしてから 5 回目の直立姿勢をとるまでの時間を計測した。原則として十分な間隔を空けた 2 試行としたが、身体的な諸事由等により 1 試行にとどまる場合もあった。2 回測定を行った者に対しては、短い方の記録を採用した。ストップウォッチにより 0.01 s 単位で、記録した。

5) TUG

椅子に腰かけた状態から合図とともに立ち上がり、3 m 前方のコーンを回って再び椅子に腰かけるまでの動作を最大速度で行うよう教示した。ストップウォッチにより

0.01 s 単位で 2 回計測し，最短値を記録とした。

6) 5 m 通常歩行時間

全長 11 m の歩行路を普段通りの早さで歩くように教示した。歩行路の両端 3 m を予備路とし，中間 5 m 歩行した際に要した時間をストップウォッチにより 0.01 s 単位で 2 回計測し，最良値を記録とした。

7) Functional reach

壁に対して横向きに立ち，進展させた両腕を肩の高さまで前方に上げ，その時点で第 3 指の先端を 0 cm とした。最大努力で上体を前傾し，両腕の指先が前方に移動した距離を 1 cm 単位で 2 回計測し，最大値を記録とした。計測時，かかとを浮かさないよう教示した (Fig. VI-4)。

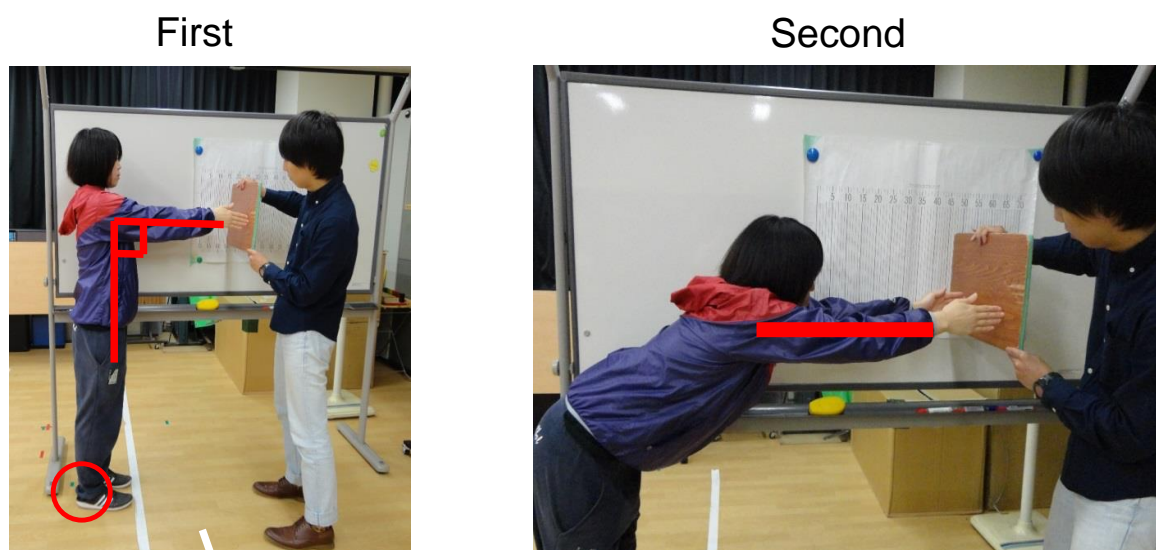


Fig. VI-4. Pictures of functional reach

8) 全身選択反応時間

上下左右の 4 ヲ所の光源が設置された発光器 (ヤガミ: SW-4) を使用し，発光器が点灯したのと同じ方向のマットに最大努力で素早く片足ずつ移動するよう教示した。0.001 s 単位で 12 回(4 方向×3 回)計測，各方向の最長値を除いた 8 回の平均値を記録した。

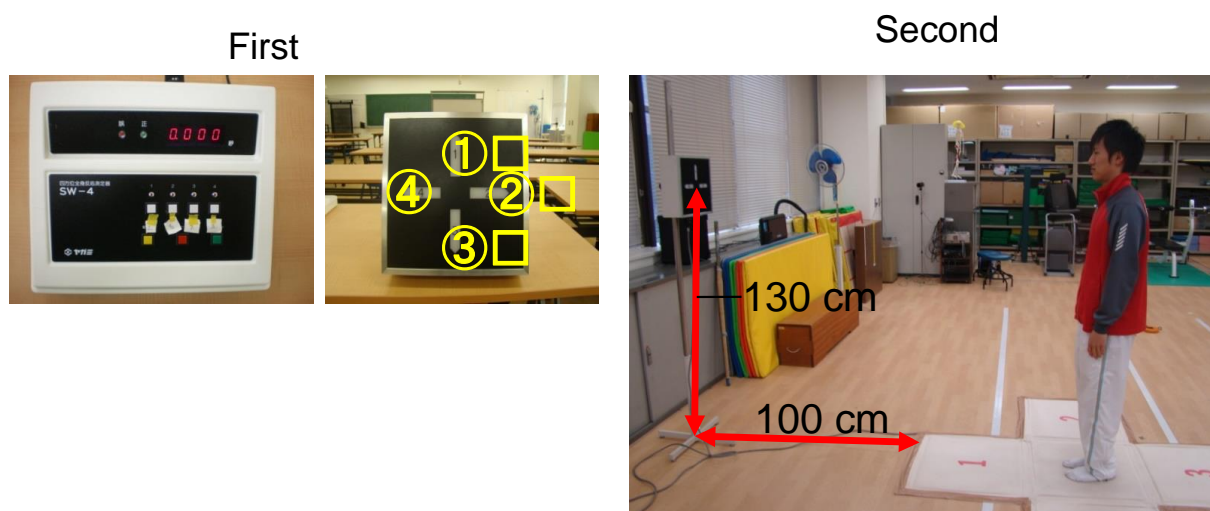


Fig. VI-5. Whole-body choice reaction time

(5) 日本整形外科学会変形性膝関節症治療成績判定基準（Japanese Orthopaedic Association Score: JOA score）^{付録C)}

1998年に日本整形外科学会膝OA治療成績判定基準委員会が開発した、治療者が行う膝OA患者の運動器機能の障害の程度を評価する尺度である。膝OA患者の膝痛による歩行及び階段昇降能の障害程度、可動域、腫脹の重症度を関節別に点数評価する。疼痛・歩行能、疼痛・階段昇降能、屈曲角度及び強直・高度拘縮、腫脹の4領域について、表現された状態に最も近い選択肢を選ぶ。最も不良な状態は0点、最も良好な状態は100点である。膝OA患者の機能障害を移動能力への影響の強さから評価した尺度で、他の生活面への配慮はないが治療による移動能力の改善を測定することはできる。また、医師立脚型の評価でありながらVASとは相関が低く、患者の持つ微妙な状態については評価が困難である（瀬戸ら、2005）。

(6) 質問紙調査

基本属性（教育年数、等価所得、世帯人数）及び下記の1)、2)の質問項目に関する調査紙はWBVT群、及びコントロール群それぞれ、教室の説明会時に配布し、調査当日に回収した。3)の質問項目に関する調査用紙は調査当日に配布・回収を行っ

た。なお、未記入者または不十分であった質問紙に対しては、誘導のないように留意し、可能な限り補完を行った。

1) 身体活動量

身体活動量の評価には、高齢者の身体活動に関する疫学研究で広く使われている Physical Activity Scale for the Elderly (PASE) (Washburn et al., 1993) を用いた。日本版は、Hagiwara et al. (2008) によって作成され、信頼性及び妥当性が確認されている。PASE の設問は、過去 7 日間における 1 日の平均実践時間を算出する。家庭内活動は、過去 7 日間で実践したか否かで評価する。各身体活動要素の実践時間(または実践の有無)に項目負荷を乗じたものが、身体活動得点であり、各身体活動得点を合算したものが PASE 得点となる。PASE の得点化アルゴリズムは、加速度計、ダイアリー、自覚的身体活動評価の調査結果をもとに作成されている (Washburn et al., 1993)。得点の最低点は 0 点であり、満点はない。なお、本研究では、総活動 (PASE) 得点に加え、活動様式別に身体活動得点を算出し、それぞれ、余暇活動得点、家庭内活動得点、仕事関連活動得点と定義した。

2) 抑うつ状態

抑うつ状態の評価には、Brink et al. (1982) の Geriatric Depression Scale (GDS) を Sheikh and Yesavage (1986) が縮小化した短縮版 GDS を使用した。日本版は矢富 (1994) によって作成され、信頼性及び妥当性が確認されている。各項目の合計が短縮版 GDS の得点となり、点数が高い方ほど抑うつ傾向である可能性が高くなる。得点の範囲は 0~15 点であり、6 点以上が「抑うつ傾向あり」と診断される (Herrmann et al., 1996)。なお、本研究では 15 項目の短縮版 GDS によって算出された点数を GDS 得点と定義した。

2. 教室内容

WBVT 群ならびにコントロール群のいずれも、実施期間は 8 週間 (平成 24 年 1 月 16 日~3 月 9 日) とした。

(1) WBVT 群

1) WBV マシン

本研究で使用した WBV マシンは、プラットフォームが 3 次元振動する VV マシン (Power Plate® Pro5: POWER PLATE International LTD, London, UK) であった (Fig. VI-6)。ストレッチング (準備運動)、自重負荷による筋力トレーニング (メイン運動)、リラクセーション (整理運動) のいずれも、WBV マシンを使用して行った。

2) WBVT のプログラム

WBVT 群には、ストレッチング、筋力トレーニング、リラクセーションを含めた 45 分間のプログラムを、週 3 回、8 週間にわたり提供した。提供したプログラムを Fig. VI-7, Table. VI-1 に示した。ストレッチングは、ハムストリング、アキレス腱、体側部、腰背部などの身体の全般的な部位のストレッチングを 10 分間行った。筋力トレーニングは、スクワット、膝曲げ伸ばし、フロントランジなど的大腿四頭筋の強化を中心とし、加えて、カーフレイズや腹筋、ブリッジなどその周囲の筋の強化を組み合わせたプログラムを 20 分間行った。リラクセーションは大腿四頭筋、ハムストリング、肩などの部位を中心に 15 分間行った。メインエクササイズである筋力トレーニングは、負荷を徐々に高めるような姿勢を提供するなど、トレーニングの強度を漸増させた。ストレッチング及び筋力トレーニングは、いずれも周波数 30 Hz、振幅 2.5 mm (Low)、30 s /セットに設定し、セット数はストレッチングが 1 セット、筋力トレーニングは 2 セットとした。リラクセーションは周波数 40 Hz、振幅 2.5 mm (Low)、60 s /セットとし、1 セット行った。なお、筋力トレーニングはいずれも関節の動きを伴わない等尺性筋収縮による筋力発揮様式とした。



POWER PLATE Pro 5 (POWER PLATE International, London, UK)

Vibration: 25-50 Hz

Amplitude of vibration: 2-4 mm

Fig. VI-6. Whole-body vibration machine






| | | | | | | |
|----------------------------|---|---|--|---|---|---|
| Warm-up |  |  |  |  |  |  |
| | W1. Hamstring stretch | W2. Calf stretch | W3. Side stretch | W4. Quadriceps stretch | W5. Back relaxer | W6. Hip stretch |
| Resistance training |  |  |  |  |  |  |
| | R1. Squat | R2. Calves | R3. Sit-up | R4. Up and down | R5. Pelvic bridge | R6. Front lunge |
| Cool-down |  |  |  |  | | |
| | C1. Calf massage | C2. Hamstring massage | C3. Quadriceps massage | C4. Back massage | | |

Fig. VI-7. Whole-body vibration training position of each exercise

Table VI-1. Characteristics of the Whole-body vibration training program

| Week | | Measurement items | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|----------------|-------|--|---|
| 0 | Pre-test | <ul style="list-style-type: none"> • Self-reported knee function (JKOM) • Physical performance test | | | | | |
| 9 | Post-test | <ul style="list-style-type: none"> • Physical Activity for the Elderly (PASE) | | | | | |
| Week | Exercise category | Exercise | Position (Fig. 2) | Frequency (Hz) | s/set | Number of set(s) | |
| 1, 2 | Warm-up (6 exercises) | • Hamstring stretch | W1 | 30 | 30 | 1 (each leg) | |
| | | • Calf stretch | W2 | 30 | 30 | 1 (each leg) | |
| | | • Side stretch | W3 | 30 | 30 | 1 (each side) | |
| | | • Quadriceps stretch | W4 | 30 | 30 | 1 (each leg) | |
| | | • Back relaxer | W5 | 30 | 30 | 1 | |
| | | • Hip stretch | W6 | 30 | 30 | 1 (each side) | |
| | Resistance training (4 exercises) | • Squat | R1 | 30 | 30 | 1 (1st week) → 2 (2nd week) | |
| | | • Calves | R2 | 30 | 30 | 1 → 2 | |
| | | • Sit-up | R3 | 30 | 30 | 1 → 2 | |
| | | • Up and down | R4 | 30 | 30 | 1 (each leg) → 2 | |
| | | Cool-down (3 exercises) | • Calf massage | C1 | 40 | 60 | 1 |
| | | | • Hamstring massage | C2 | 40 | 60 | 1 |
| • Quadriceps massage | C3 | | 40 | 60 | 1 | | |
| 3, 4 | Warm-up | (The same 6 exercises as the 1st and 2nd week.) | | | | | |
| | Resistance training (5 exercises) | • Pelvic bridge | R5 | 30 | 30 | 1 (3rd week) → 2 (4th week) | |
| | | Cool-down | (The same 4 exercises as the 1st and 2nd week.) | | | | |
| | 5 → 8 | Warm-up | (The same 6 exercises as the 1st and 2nd week.) | | | | |
| Resistance training (6 exercises) | | • Front lunge | R6 | 30 | 30 | 1 (each leg) (5th week) → 2 (6-8th week) | |
| | | Cool-down | (The same 4 exercises as the 1st and 2nd week.) | | | | |

The vibration amplitudes of all exercise programs were set to low (2.5 mm).

(2) コントロール群

コントロール群に対しては、2012年1月16日から3月11日までの期間、自宅でのエクササイズの実践を促した。WBVT群の種目と類似させたストレッチ(4項目)と筋力トレーニング(6項目)を提供した。教室開始時及び第4週目に資料を配布し、実践方法を教示した。自宅エクササイズの実践状況を運動日誌に記録させた。

3. 統計解析

各検討課題における統計解析方法は下記のとおりである。検定力分析を除くすべての分析は、SPSS 21.0 for Windows を用い、統計的有意水準は5%未満に設定した。検定力分析には、G*Power 3.1.3 を用いた。

(<http://www.phycho.uniduesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3/>)

ベースラインにおける WBVT 群及びコントロール群の群間差の比較には、対応のない t 検定ならびに χ^2 検定を行った。

8週間の教室前・後における各測定値の比較には、時間経過(プレテスト vs. ポストテスト)とプログラム(WBVT vs. コントロール)の影響を検討するため、二要因分散分析(一要因のみ対応あり)を行った。なお、ポストテストに欠席したコントロール群の2名のデータに関しては、プレテストの値をポストテストの値として代入する、intention to treat (ITT) 解析を行った。有意な交互作用がみとめられた場合、群ごとに時間の単純主効果の検定を行った。また、教室前・後における効果量(Cohen's d)として、プレテストからポストテストの値を減じ、2度の測定を統合した標準偏差で除した値の絶対値を群ごとに算出した(Cohen et al., 1992)。 d の判定基準は、0.2-0.49: 小さい, 0.50-0.79: 中程度, 0.8以上: 大きいとした。

第3節 結果

1. 対象者の特性

対象者の特徴を Table VI-2~6 WBVT 群とコントロール群の特徴を示した。WBVT 群とコントロール群において群間に有意差がみとめられた項目は WOMAC のこわばりと PASE の余暇活動時間であった。

Table VI-2 Descriptive data of subjects

| | | Control (n = 9) | WBVT (n = 29) | P[†] |
|-----------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------|
| Age | years | 60.9 ± 4.6 | 62.1 ± 5.5 | 0.56 |
| Height | cm | 154.2 ± 4.3 | 153.9 ± 5.8 | 0.87 |
| Body weight | kg | 54.8 ± 6.8 | 56.2 ± 10.0 | 0.70 |
| Body mass index | kg/m ² | 23.5 ± 2.9 | 24.2 ± 3.8 | 0.63 |
| Affected side | Bilateral (%) | 2 (22.2%) | 15 (15.7%) | 0.12 |

[†] P value from Student's *t*-test

WBVT: whole-body vibration training

Table VI-3 Descriptive data of knee function and physical performance

| | | Control (n = 9) | WBVT (n = 29) | P† |
|--|-------|----------------------------|--------------------------|-------------|
| Self-reported knee function (JKOM) | | | | |
| Total score (25-100) | score | 41.0 ± 17.1 | 42.3 ± 12.1 | 0.80 |
| Degree of pain-visual analogue scale (0-100) | mm | 27.2 ± 25.0 | 24.8 ± 23.1 | 0.79 |
| Pain and stiffness in knees (0-32) | score | 15.2 ± 5.3 | 15.3 ± 5.2 | 0.95 |
| Condition in daily life (0-40) | score | 14.1 ± 7.2 | 14.1 ± 4.3 | 0.98 |
| General activities (0-20) | score | 7.1 ± 3.5 | 8.3 ± 2.7 | 0.30 |
| Health condition (0-8) | score | 4.6 ± 1.7 | 4.6 ± 1.5 | 0.91 |
| Self-reported knee function (WOMAC) | | | | |
| Total score (0-96) | score | 14.3 ± 16.9 | 11.5 ± 10.9 | 0.56 |
| Pain subscale (0-20) | score | 2.8 ± 3.0 | 2.9 ± 2.4 | 0.90 |
| Stiffness subscale (0-8) | score | 2.3 ± 1.2 | 1.2 ± 1.4 | 0.04 |
| Physical function (0-68) | score | 9.2 ± 13.2 | 7.4 ± 7.7 | 0.60 |
| Physical performance | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 6.82 ± 1.38 | 6.84 ± 1.38 | 0.97 |
| 5-m habitual walk | sec. | 3.49 ± 0.40 | 3.75 ± 0.45 | 0.13 |
| Timed up and go | sec. | 5.39 ± 0.76 | 5.77 ± 0.70 | 0.16 |
| Standing time from a long sitting position | sec. | 2.53 ± 0.51 | 2.79 ± 0.80 | 0.37 |
| Sit and reach | cm | 32.4 ± 11.3 | 35.4 ± 7.7 | 0.37 |
| Functional reach | cm | 31.6 ± 6.1 | 31.6 ± 5.0 | 0.99 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 47.6 ± 15.8 | 53.5 ± 11.1 | 0.22 |
| 4-way choice reaction time | ms | 993 ± 65 | 1029 ± 106 | 0.34 |

† P value from Student's *t*-test

WBVT: whole-body vibration training

JKOM: Japanese Knee Osteoarthritis Measure, A lower score equals to less symptoms

WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, A lower score equals to less

Table VI-4 Descriptive data of knee strength and power

| | | Control | WBVT | <i>P</i> [†] |
|---------------------------------------|-------|---------------|---------------|-----------------------|
| Target knee joint | | n = 11 | n = 44 | |
| <i>Knee strength and power</i> | | | | |
| Isometric extension peak torque | Nm/kg | 1.53 ± 0.37 | 1.44 ± 0.52 | 0.60 |
| Isokinetic extension peak torque | Nm/kg | 1.15 ± 0.30 | 1.16 ± 0.45 | 0.96 |
| Isokinetic extension average power | W/kg | 0.67 ± 0.19 | 0.64 ± 0.28 | 0.75 |
| Isokinetic flexion peak torque | Nm/kg | 0.66 ± 0.13 | 0.53 ± 0.23 | 0.11 |
| Isokinetic flexion average power | W/kg | 0.45 ± 0.11 | 0.36 ± 0.17 | 0.10 |

[†] *P* value from Student's *t*-test
 WBVT: whole-body vibration training

Table VI-5 Descriptive data of physical activity and mental state

| | | Control (n = 9) | WBVT (n = 29) | <i>P</i> [†] |
|----------------------------------|-------|--------------------|------------------|-----------------------|
| Total score | score | 85.1 ± 39.9 | 104.3 ± 41.5 | 0.93 |
| Leisure times | score | 10.5 ± 7.9 | 23.3 ± 17.7 | < 0.01 |
| Household | score | 67.1 ± 30.5 | 81.0 ± 32.5 | 0.63 |
| Occupational | score | 7.4 ± 20.4 | 7.5 ± 20.2 | 0.98 |
| <i>Mental state (GDS)</i> | | | | |
| Total score | score | 4.5 ± 2.8 | 3.3 ± 2.4 | 0.47 |

[†] *P* value from Student's *t*-test
 WBVT: whole-body vibration training
 PASE: Physical Activity Scale for the Elderly
 GDS: Geriatric Depression Scale

Table VI-6 Characteristic clinical knee functions of different degree of knee pain

| | | No knee pain (14 joints) | Knee pain (44 joints) | <i>P</i>[†] |
|--|-------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| <i>Clinical knee function (JOA)</i> | | | | |
| Total (0-100) | score | 83.5 ± 12.3 | 95.4 ± 5.7 | 0.08 |
| Pain on walking (0-30) | score | 26.5 ± 4.9 | 29.3 ± 2.7 | 0.01 |
| Pain on ascending or descending (0-25) | score | 18.1 ± 5.2 | 23.6 ± 2.3 | 0.01 |
| Range of motions (0-35) | score | 31.7 ± 3.9 | 33.9 ± 2.1 | < 0.01 |
| Joint effusion (0-10) | score | 7.3 ± 3.1 | 8.6 ± 2.3 | 0.03 |

[†] *P* value from Student's *t*-test, [‡] *P* value from one way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training

JOA: The Japanese Orthopaedic Association score

2. WBVT に対する教室参加者の印象及び教室参加率の検討

WBVT に対する印象を Fig. VI-8 に示した。調査の結果、最初の印象は 4.41 点(10.0 満点) だったが、最後には 9.14 点となり、非常に好印象を受けたことが分かった。さらに、教室の参加率は A クラスが 97.2%、B クラスが 94.2%、C クラスが 95.0% であり、全体の参加率は 95.5%であった。一方、コントロール群の自宅運動実践率は 71.8%であった。

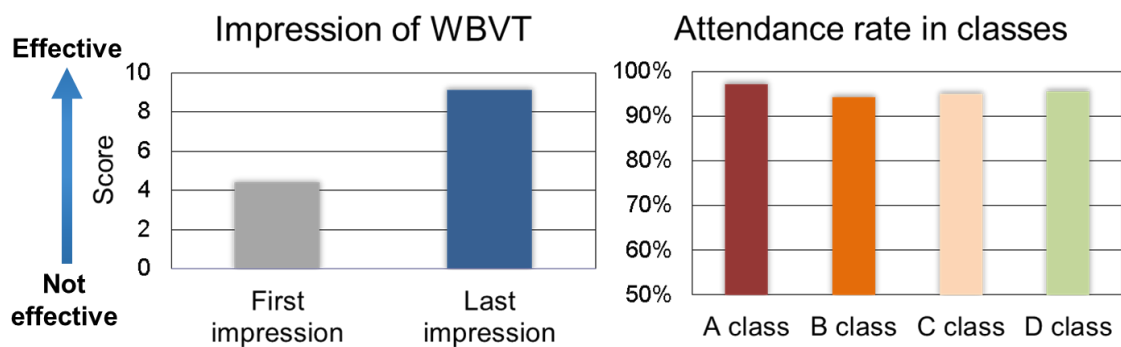


Fig. VI-8. Impression of WBVT and attendance rates in class

3. 膝機能に与える効果

教室前・後の測定調査時における、群ごと (WBVT 群とコントロール群) の主観的膝機能評価の結果を Table VI-7 に示した。有意な交互作用が確認された項目は JKOM の合計 ($P = 0.04$) と日常生活状態 ($P = 0.03$) であった。有意な交互作用が認められた項目について単純主効果を確認したところ、WBVT 群においては有意な変化が見られたが ($P < 0.01$, $P = 0.02$), コントロール群においては有意な変化は見られなかった ($P = 0.66$, $P = 0.29$) (Table VI-7, Fig. VI-9)。さらに、有意な交互作用が認められた項目について WBVT 群の効果量は $d = 0.27-0.40$ であった。

Table VI-7 Knee function measurements by groups at prior to and after 9 weeks training

| | | Week | WBVT (n = 29) | | | | Control (n = 9) | | | | Interaction (Time x Group) P-value | Main effect of time P-value |
|--|-------|------|---------------|------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|------|----------------------|--------------------------|--|-----------------------------------|
| | | | Mean | SD | P-value [†] | Effect size Cohen's d | Mean | SD | P-value [†] | Effect size Cohen's d | | |
| Self-reported knee function (JKOM) | | | | | | | | | | | | |
| Total | score | 0 | 17.3 ± 12.1 | < 0.01 | 0.40 | 16.0 ± 17.1 | 0.66 | 0.06 | 0.04 | | | |
| | | 9 | 12.5 ± 11.8 | | | 17.1 ± 18.0 | | | | | | |
| Degree of Pain-visual analogue | mm | 0 | 24.8 ± 23.1 | | 0.24 | 27.2 ± 25.0 | | 0.03 | | 0.59 | 0.59 | |
| | | 9 | 19.9 ± 18.5 | | | 27.9 ± 31.1 | | | | | | |
| Pain and stiffness in knees | score | 0 | 7.3 ± 5.2 | | 0.38 | 7.2 ± 5.3 | | 0.04 | | 0.10 | 0.10 | |
| | | 9 | 5.4 ± 4.7 | | | 7.0 ± 6.1 | | | | | | |
| Condition in daily life | score | 0 | 4.1 ± 4.3 | 0.02 | 0.27 | 4.1 ± 7.2 | 0.29 | 0.04 | 0.03 | | | |
| | | 9 | 2.9 ± 4.4 | | | 5.1 ± 7.2 | | | | | | |
| General activities | score | 0 | 3.3 ± 2.7 | | 0.45 | 2.1 ± 3.5 | | 0.03 | | 0.14 | 0.14 | |
| | | 9 | 2.2 ± 2.2 | | | 2.0 ± 3.7 | | | | | | |
| Health condition | score | 0 | 2.6 ± 1.5 | | 0.50 | 2.6 ± 1.7 | | 0.19 | | 0.07 | 0.51 | |
| | | 9 | 1.9 ± 1.3 | | | 2.9 ± 1.5 | | | | | | |
| Self-reported knee function (WOMAC) | | | | | | | | | | | | |
| Total | score | 0 | 11.5 ± 10.9 | | 0.26 | 14.3 ± 17.0 | | 0.10 | | 0.67 | 0.05 | |
| | | 9 | 8.8 ± 9.7 | | | 12.6 ± 16.7 | | | | | | |
| Pain subscale | score | 0 | 2.9 ± 2.4 | | 0.17 | 2.8 ± 3.0 | | 0.20 | | 0.85 | 0.21 | |
| | | 9 | 2.5 ± 2.4 | | | 2.2 ± 3.0 | | | | | | |
| Stiffness subscale | score | 0 | 1.2 ± 1.4 | | 0.08 | 2.3 ± 1.2 | | 0.27 | | 0.09 | 0.09 | |
| | | 9 | 1.1 ± 1.3 | | | 1.7 ± 1.1 | | | | | | |
| Physical function | score | 0 | 7.4 ± 7.7 | | 0.24 | 9.2 ± 13.2 | | 0.04 | | 0.08 | 0.08 | |
| | | 9 | 5.7 ± 6.6 | | | 8.7 ± 12.9 | | | | | | |

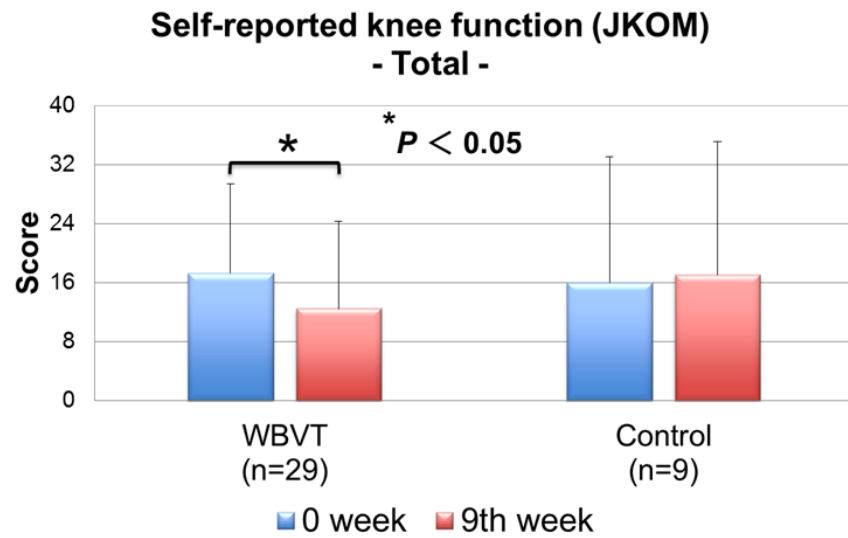
Cohen's d: 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = medium, 0.8 ≤ large

†: simple main effect of time group, $P < 0.05$

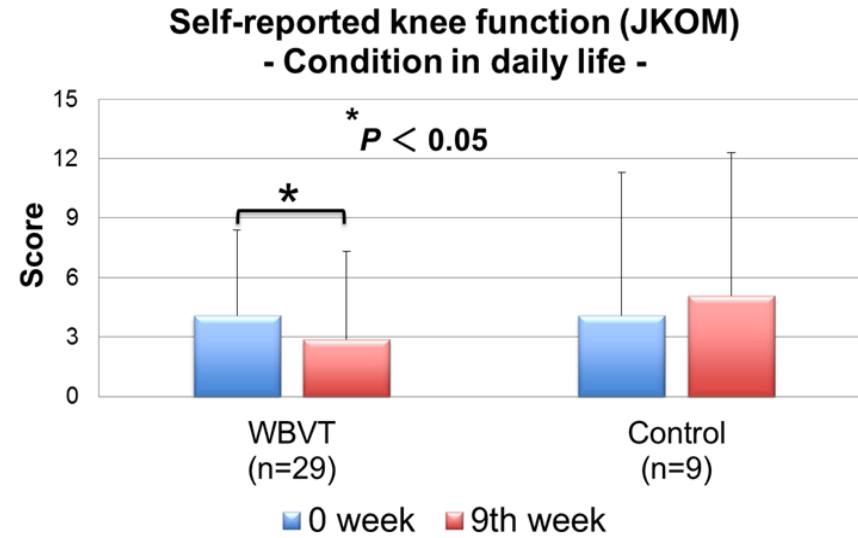
WBVT: whole-body vibration training

JKOM: Japanese Knee Osteoarthritis Measure, A lower score equals to less symptoms

WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, A lower score equals to less symptoms



(a) Total



(b) Condition in daily life

Fig. VI-9. Knee function measurements by groups at prior to and 9 weeks training: (a) total, (b) condition in daily life.

4. 客観的膝機能に与える効果 (WBVT 群のみ)

WBVT 群のみで「膝痛あり群」及び「膝痛なし群」における教室前・後の客観的膝機能評価を Table VI-8 及び Fig. VI-10 に示した。膝痛を有する膝について、ほぼすべての項目において有意な改善 ($P < 0.01$, $P = 0.03$) が見られたが可動域及び腫脹の項目に関しては有意な改善がみとめられなかった ($P = 0.10$, 0.13)。また、有意な改善が確認された項目の効果量は $d = 0.51-0.61$ であった。

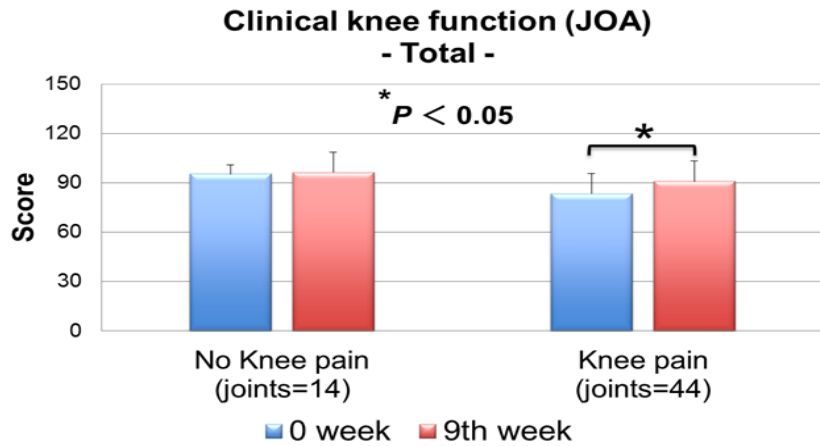
Table VI-8 Clinical knee function measurements by WBVT group at prior to and after 9 weeks training

| | | Week | No knee pain (joints = 14) | | | | Knee pain (joints = 44) | | | |
|--|-------|------|----------------------------|------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------|------------------------------|---------------------------------|
| | | | Mean | SD | <i>P</i> -value [†] | Effect size Cohen's <i>d</i> | Mean | SD | <i>P</i> -value [†] | Effect size Cohen's <i>d</i> |
| <i>Clinical knee function (JOA)</i> | | | | | | | | | | |
| Total | score | 0 | 95.4 ± 5.7 | 0.47 | 0.18 | 83.5 ± 12.3 | < 0.01 | 0.61 | | |
| | | 9 | 96.4 ± 5.7 | | | 91.0 ± 12.2 | | | | |
| Pain on walking | score | 0 | 29.3 ± 2.7 | 0.67 | 0.14 | 26.5 ± 4.9 | < 0.01 | 0.61 | | |
| | | 9 | 29.6 ± 1.3 | | | 28.9 ± 2.6 | | | | |
| Pain on ascending or descending | score | 0 | 23.6 ± 2.3 | 0.17 | 0.34 | 18.1 ± 5.2 | 0.02 | 0.51 | | |
| | | 9 | 24.3 ± 1.8 | | | 20.9 ± 5.7 | | | | |
| Range of motions | score | 0 | 33.9 ± 2.1 | 0.67 | 0.21 | 31.7 ± 3.9 | 0.12 | 0.35 | | |
| | | 9 | 34.3 ± 1.8 | | | 33.0 ± 3.6 | | | | |
| Joint effusion | score | 0 | 8.6 ± 2.3 | 1.00 | 0.00 | 7.3 ± 3.1 | 0.13 | 0.33 | | |
| | | 9 | 8.6 ± 3.1 | | | 8.3 ± 3.0 | | | | |

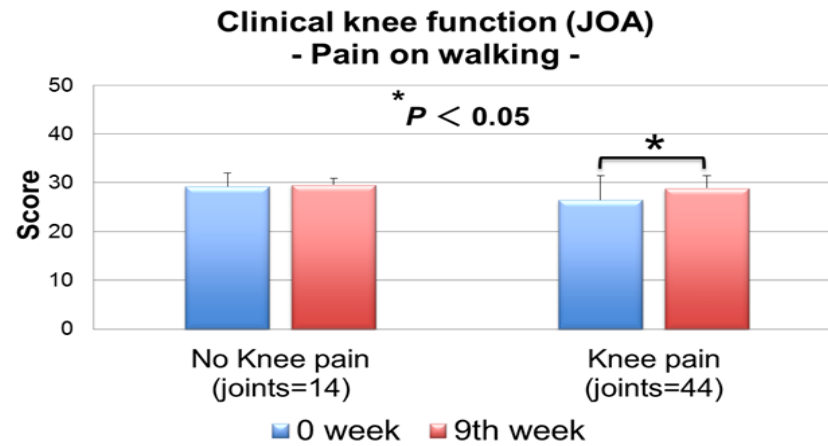
Cohen's *d*: 0.20~0.49 = small, 0.50~0.79 = medium, 0.8 ≤ large

[†]: *P* value from paired *t*-test, *P* < 0.05

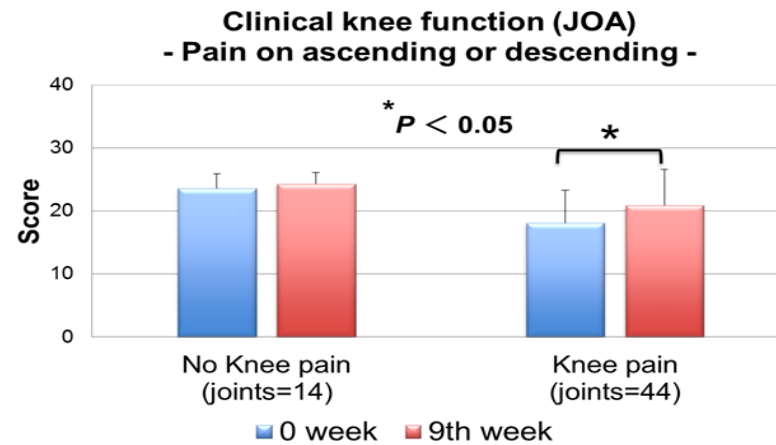
JOA: The Japanese Orthopaedic Association score. A higher score equals to less symptoms



(a) Total



(b) Pain on walking



(c) Pain on ascending or descending

Fig. VI-10. Clinical knee function measurements by WBVT group at prior to and 9 weeks training:
(a) total, (b) pain on walking, c) pain on ascending or descending

5. 膝関節筋力・筋パワーに与える効果

教室前・後の調査時における，群ごと（WBVT 群とコントロール群）の膝筋力・筋パワー評価の結果を Table VI-9 に示した。有意な交互作用が認められた項目はなかった（ $P=0.15-0.91$ ）。また，いずれの項目についても有意な時間の主効果が確認された（ $P<0.01$ ， $P=0.02$ ）。さらに，全ての項目において WBVT 群とコントロール群の効果量はそれぞれ $d=0.24-0.73$ 及び $d=0.45-1.09$ であった。

Table VI-9 Knee strength and power measurements by groups at prior to and after 9 weeks training

| | Week | WBVT (n = 29) | | | Control (n = 9) | | | Interaction (Time × Group) <i>P</i> -value | Main effect of time <i>P</i> -value |
|---------------------------------------|-------|---------------|-------------|---------------------------------|-----------------|------|---------------------------------|--|---|
| | | Mean | SD | Effect size Cohen's <i>d</i> | Mean | SD | Effect size Cohen's <i>d</i> | | |
| <i>Knee strength and power</i> | | | | | | | | | |
| Isometric extension peak torque | Nm/kg | 0 | 1.44 ± 0.52 | 0.67 | 1.43 ± 0.29 | 1.09 | 0.91 | < 0.01 | |
| | | 9 | 1.78 ± 0.49 | | 1.78 ± 0.35 | | | | |
| Isokinetic extension peak torque | Nm/kg | 0 | 1.16 ± 0.45 | 0.24 | 1.11 ± 0.30 | 1.01 | 0.25 | 0.02 | |
| | | 9 | 1.26 ± 0.40 | | 1.38 ± 0.23 | | | | |
| Isokinetic extension average power | W/kg | 0 | 0.64 ± 0.28 | 0.49 | 0.65 ± 0.20 | 1.01 | 0.65 | < 0.01 | |
| | | 9 | 0.77 ± 0.25 | | 0.82 ± 0.13 | | | | |
| Isokinetic flexion peak torque | Nm/kg | 0 | 0.53 ± 0.23 | 0.73 | 0.68 ± 0.09 | 0.45 | 0.15 | < 0.01 | |
| | | 9 | 0.68 ± 0.18 | | 0.73 ± 0.13 | | | | |
| Isokinetic flexion average power | W/kg | 0 | 0.36 ± 0.17 | 0.73 | 0.46 ± 0.01 | 0.92 | 0.27 | < 0.01 | |
| | | 9 | 0.47 ± 0.13 | | 0.53 ± 0.09 | | | | |

Cohen's *d*: 0.20~0.49 = small, 0.50~0.79 = medium, 0.8 ≤ large

†: simple main effect of time group, *P* < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

6. パフォーマンステストに与える効果

教室前・後の調査時における，群ごと（WBVT 群とコントロール群）のパフォーマンステストの結果を Table VI-10 及び Fig. VI-11 に示した。有意な交互作用が確認された項目は TUG ($P = 0.01$) と長座起立時間 ($P = 0.04$) であった。有意な交互作用が認められた項目について単純主効果を確認したところ，WBVT 群においては有意な変化が見られたが ($P < 0.01$)，コントロール群においては有意な変化は見られなかった ($P = 0.52, 0.77$)。有意な時間の主効果が確認された項目は 5 回椅子立ち上がり時間及び長座体前屈であった。さらに，有意な交互作用が認められた項目について WBVT 群の効果量は $d = 0.85-1.00$ となり効果量は大きいと判定された。

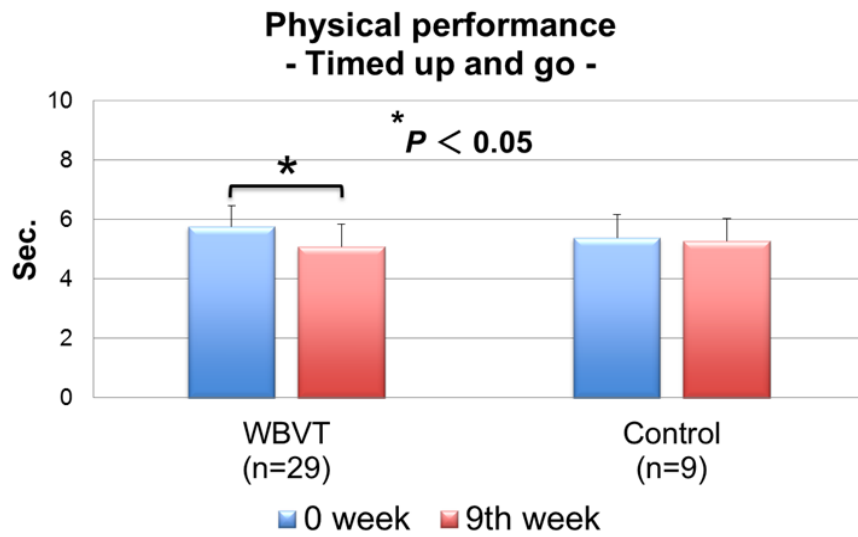
Table VI-10 Physical performance measurements by groups at prior to and after 9 weeks training

| | | Week | WBVT (n = 29) | | | | Control (n = 9) | | | | Interaction (Time x Group) P-value | Main effect of time P-value |
|--|------|------|---------------|------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|------|----------------------|--------------------------|--|-----------------------------------|
| | | | Mean | SD | P-value [†] | Effect size Cohen's d | Mean | SD | P-value [†] | Effect size Cohen's d | | |
| Physical performance | | | | | | | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 0 | 6.84 ± 1.38 | | 0.96 | 6.82 ± 1.38 | | 0.35 | 0.21 | < 0.01 | | |
| | | 9 | 5.55 ± 1.31 | | | 6.14 ± 2.38 | | | | | | |
| 5-m habitual walk | sec. | 0 | 3.75 ± 0.45 | | 0.32 | 3.49 ± 0.40 | | 0.39 | 0.98 | 0.39 | | |
| | | 9 | 3.59 ± 0.56 | | | 3.34 ± 0.37 | | | | | | |
| Timed up and go | sec. | 0 | 5.77 ± 0.70 | < 0.01 | 1.00 | 5.39 ± 0.76 | 0.52 | 0.16 | < 0.01 | | | |
| | | 9 | 5.09 ± 0.66 | | | 5.27 ± 0.77 | | | | | | |
| Standing time from a long sitting position | sec. | 0 | 2.79 ± 0.80 | < 0.01 | 0.85 | 2.53 ± 0.51 | 0.77 | 0.07 | 0.04 | | | |
| | | 9 | 2.20 ± 0.58 | | | 2.47 ± 1.01 | | | | | | |
| Sit and reach | cm | 0 | 35.4 ± 7.7 | | 1.11 | 32.4 ± 11.3 | | 0.52 | 0.05 | < 0.01 | | |
| | | 9 | 45.0 ± 9.5 | | | 38.3 ± 11.2 | | | | | | |
| Functional reach | cm | 0 | 31.6 ± 5.0 | | 0.25 | 31.6 ± 6.1 | | 0.33 | 0.10 | 0.73 | | |
| | | 9 | 32.8 ± 4.6 | | | 29.8 ± 4.6 | | | | | | |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 0 | 53.5 ± 11.1 | | 0.19 | 47.6 ± 15.8 | | 0.39 | 0.14 | 0.59 | | |
| | | 9 | 50.8 ± 17.1 | | | 53.4 ± 13.5 | | | | | | |
| 4-way choice reaction time | ms | 0 | 1029 ± 106 | | 0.34 | 993 ± 65 | | t | 0.40 | 0.24 | | |
| | | 9 | 993 ± 107 | | | 973 ± 96 | | | | | | |

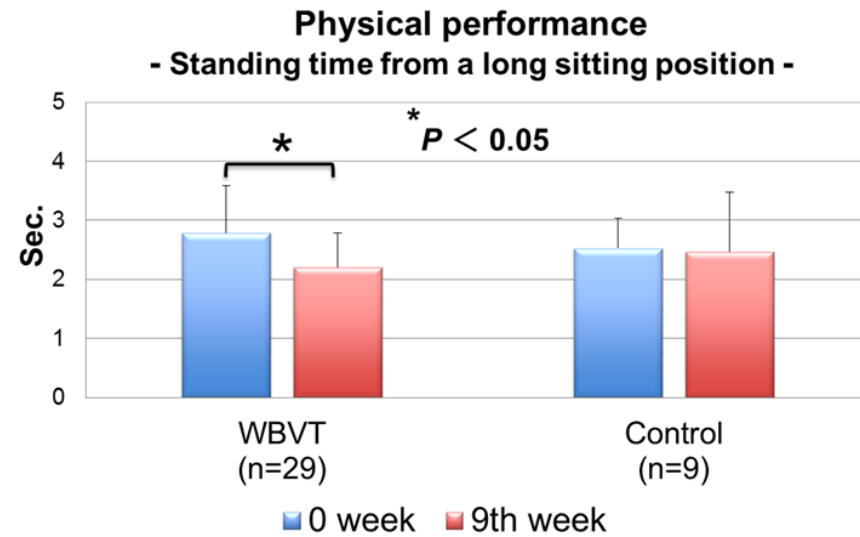
Cohen's d: 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = medium, 0.8 ≤ large

[†]: simple main effect of time group, *P* < 0.05

WBVT: whole-body vibration training



(a) Timed up and go



(b) Standing time from a long sitting position

Fig. VI-11. Physical performance measurements by groups at prior to and 9 weeks training:
(a) Timed up and go, (b) standing time from a long sitting position.

7. 身体活動及び心理状態に与える効果

教室前・後の調査時における，群ごと（WBVT 群とコントロール群）の身体活動量及び心理状態の結果を Table VI-11 及び Fig. VI-12 に示した。有効な交互作用が確認された項目は PASE（余暇活動）（ $P=0.01$ ）と GDS（ $P=0.02$ ）であった。有意な交互作用が認められた項目について単純主効果を確認したところ WBVT 群において有意な変化が見られたが（ $P<0.01$ ），コントロール群においては有意な変化が見られなかった（ $P=0.23, 0.54$ ）。さらに，有意な交互作用が認められた項目について WBVT 群の効果量は，それぞれ $d = 0.46, 0.75$ となり効果量は大きいと判定された。

Table VI-11 Physical activity and mental state measurements by groups at prior to and after 9 weeks training

| | | Week | WBVT (n = 29) | | | | Control (n = 9) | | | | Interaction (Time × Group) P-value | Main effect of time P-value |
|---------------------------------|-------|------|---------------|------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------|-------|----------------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|
| | | | Mean | SD | P-value [†] | Effect size Cohen's <i>d</i> | Mean | SD | P-value [†] | Effect size Cohen's <i>d</i> | | |
| Physical activity (PASE) | | | | | | | | | | | | |
| Total score | score | 0 | 85.1 ± 39.9 | | 0.13 | 104.3 ± 41.5 | | -0.12 | 0.47 | 0.96 | | |
| | | 9 | 90.5 ± 41.4 | | | 99.5 ± 35.1 | | | | | | |
| Leisure times | score | 0 | 10.5 ± 7.9 | < 0.01 | 0.75 | 23.3 ± 17.7 | 0.23 | -0.24 | 0.01 | | | |
| | | 9 | 17.8 ± 11.1 | | | | | | | | 18.9 ± 19.0 | |
| Household | score | 0 | 67.1 ± 30.5 | 0.00 | | 81.0 ± 32.5 | | -0.24 | 0.37 | 0.36 | | |
| | | 9 | 67.1 ± 32.1 | | | | | | | | 72.7 ± 36.1 | |
| Occupational | score | 0 | 7.4 ± 20.4 | | -0.02 | 0.0 ± 0.0 | | 6.14 | 0.23 | 0.44 | | |
| | | 9 | 5.7 ± 17.8 | | | | | | | | 8.0 ± 24.0 | |
| Mental state (GDS) | | | | | | | | | | | | |
| Total score | score | 0 | 4.5 ± 2.8 | < 0.01 | 0.46 | 3.3 ± 2.4 | 0.54 | -0.12 | 0.02 | | | |
| | | 9 | 3.3 ± 2.2 | | | | | | | | 3.7 ± 2.6 | |

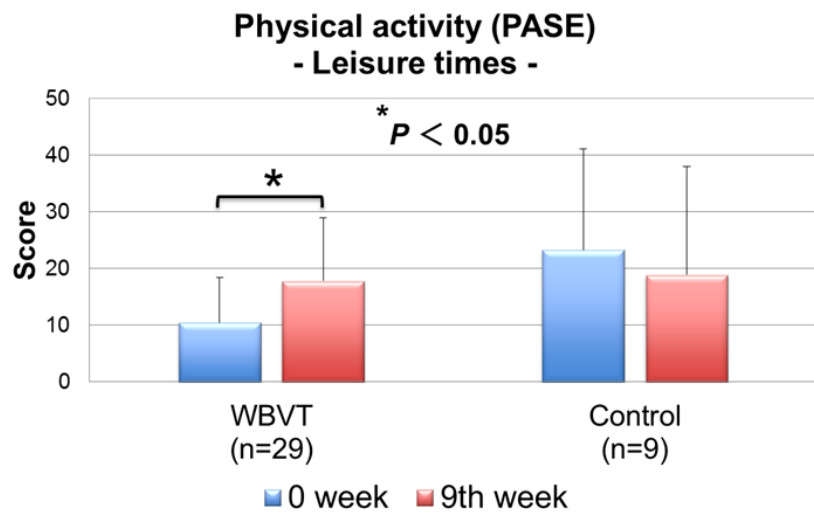
Cohen's *d*: 0.20–0.49 = small, 0.50–0.79 = medium, 0.8 ≤ large

[†]: simple main effect of time group, *P* < 0.05

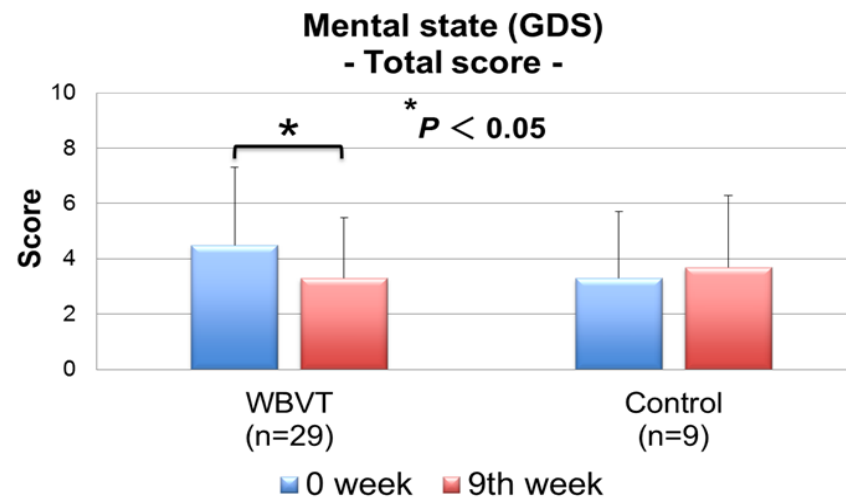
WBVT: whole-body vibration training

PASE: Physical Activity Scale for the Elderly

GDS: Geriatric Depression Scale



(a) Physical activity



(b) Mental state

Fig. VI-12. Physical activity and mental state measurements by groups at prior to and 9 weeks training:
(a) physical activity, (b) mental state.

第4節 考察

1. WBVT の実践が膝痛を有する中年・高齢者の膝機能に及ぼす影響

本研究では、膝痛を有する日本人中年・高齢女性における8週間(週3回)のWBVT実践が膝機能に及ぼす影響を検討した。その結果、膝機能としてJKOMの下位尺度2項目(日常生活の状態及び合計)($P = 0.03-0.04$)において有意な交互作用がみられ、単純主効果検定の結果、WBVT群のみ有意な向上がみとめられた。

先述したようにWBVTは大きくVVマシンとRVマシンにて大別されているがそれぞれの特徴として、RVマシンはシーソーのように振動するため、長時間かつ多様なトレーニングの動作が難しいものの、VVマシンは3次元で振動するもので身体に負担せず筋力トレーニングが可能であり、有疾患者もしくは高齢者などの虚弱者の運動方法としての有効性が期待されている。VVマシンを用いたWBVTの実践により膝機能向上が得られた理由として、プラットフォームの微細振動に伴い発生する加速度(acceleration)の影響が挙げられる(Roelants et al., 2004)。筋力トレーニング時に発揮される力(force: F)は質量(mass: m)に加速度(acceleration: a)を乗じた次式により定義される($F = ma$)。従来型の筋力トレーニングでは、質量を変化させることで発揮する力を増減させるが、加速度トレーニングでは振動数と振幅によって加速度を変化させ、力の生成量を調節すると言われている(Roelants et al., 2004)。すなわち、従来型の筋力トレーニングで使用するような負荷(重り)は不要であり、自らの体重を委ねるだけでも十分なトレーニング効果の獲得が期待できる。Roelants et al., (2006)は、スクワット動作中の表面筋電図(electromyography: EMG)をWBVマシンによる振動ありと振動なしで比較検討した。その結果、振動ありでは高い筋活性が観察された(17.5~57.5%)。本研究で有意な効果が得られた項目は、すべてが筋力の機能によって判定される項目であった。例えば、JKOMで有意差が認められた「日常生活の状態」調査項目における階段の昇降能力、立ち上がり動作能力は身体パフォーマンステストの中でもTUGや長座起立時間と強く関連がある。一方で、同じ主観的膝機能評価であるWOMACについては有意な改善が認められなかった。

Avelar et al. (2011) は膝 OA 患者を対象として、主観的膝機能 (WOMAC) に及ぼす WBVT (週 3 回, 12 週間) の効果を検証した。その結果, WOMAC の各項目において 26%-34%の向上が見られ, それらは従来型の筋力トレーニングを行った群と同程度の改善であることを確認した。本研究においては, 同じ WOMAC ではないものの, JKOM の「合計得点」及び「日常生活の状態」において, それぞれ 27.7% ($d=0.40$), 29.3% ($d=0.27$) の改善がみられ, 先行研究と同程度の効果が得られた。WBVT と同様な姿勢で行ったコントロール群は有意な改善が見られなかったものの, WBVT 群のみ有意に膝機能が改善した理由として, JKOM の下位尺度である「膝の痛み (JKOM-degree of pain-visual analogue)」の改善が考えられる。いずれの群においても有意差は見られなかったものの, WBVT 群のみ膝痛の改善傾向が見られた (24.7→19.9 mm)。この結果から言えることは, WBVT 実践により膝痛が改善し, 日常生活に必要な動作の動きまでも改善されたと考えられることである。実際に本研究で調査した PASE でも余暇活動量がコントロール群より有意に増加したことが示唆された。以上の結果は, WBVT の実践により膝痛が軽減したため, 余暇活動の増加と共に日常生活の質にも良好な改善が得られたことを示唆しているのではないだろうか。しかし, WOMAC においては有意な交互作用はみられなかった。この理由として, WOMAC の回答は「やや煩雑」であること (古賀, 2008) に加えて, 日本人向けに作成した JKOM の方が高い信頼性や妥当性があることも一因してと考えられるかもしれない。

著者が知る限り, WBVT 実践が中高年者の膝機能に及ぼす影響を客観的に調査・評価した研究は本研究が初めてとなる。WBVT 実践しか検討していないという限界はあるものの, 「痛みがある膝関節」群において, 有意な改善が見られたことは, WBVT は膝痛があっても筋力トレーニング実践が可能であることを示唆している。先行研究 (Patel et al., 2010) によると膝 OA 患者を対象として筋力トレーニングを実践した結果, 多数の参加者が痛みの悪化により脱落したと報告している。また, JOA の結果からは痛みがある膝にも好ましい改善が見られることを確認した。つまり, これらの結果は膝機能が左右で不均衡だったものが教室後には, 均衡化に向けて改善する傾向にあったことを意味している。膝機能の左右の不均衡は, 歩行や起立, バランス能力に悪影響を及ぼすといわれているが (Thomas et al., 2002), 本研究において

WBVT により膝機能が左右で均衡化されたことは、身体機能の向上の一つの要因になっていると考えられる。

これらの結果から、WBVT は主観的膝機能のみならず客観的膝機能においても一定の効果を得ることができ、膝機能を改善させる方法として有効であることが示された。しかし、本研究の検討対象は WBVT 群のみであったことから、コントロール群に対する有効性については検討ができなかった。これに関しては、今後さらなる検討が必要である。

2. WBVT の実践が膝痛を有する中年・高齢者の下肢機能に及ぼす影響

本研究では、膝痛を有する日本人中年・高齢女性における 8 週間(週 3 回)の WBVT 実践が下肢を中心とした身体機能に及ぼす影響を検討した。その結果、身体機能として TUG ($P=0.01$) 及び長座位起立時間 ($P=0.04$)、身体活動では余暇活動 ($P=0.01$)、心理面を評価する GDS ($P=0.02$) において有意な交互作用がみられ、単純主効果検定の結果、WBVT 群においてのみ有意な向上が認められた。本結果から、膝 OA 及び膝痛を有する日本人中年・高齢女性における WBVT の実践は、下肢を中心とした身体機能の改善に有効であることや、余暇活動の増加や心理面の改善にも効果的であることが示唆された。

本研究では下肢を中心とした身体機能の評価するために 8 項目の身体パフォーマンステストを行った。その結果、WBVT 群において立ち上がり動作、敏捷性、動的バランス能力などの日常生活動作の遂行に必要な 2 項目 (TUG, 長座位起立時間) に有意な交互作用が認められた。これらの結果は、WBVT の実践が膝機能の向上に寄与し、延いては身体機能の向上につながったことを示唆している。その理由として、膝機能の改善が認められた者は、そうでない者と比較して、5 回椅子立ち上がり時間 (-1.49 vs. -1.02 s)、5 m 通常歩行時間 (-0.08 vs. 0.01 s)、TUG (-0.73 vs. -0.55 s)、長座位起立時間 (-0.76 vs. -0.35 s)、functional reach (1.3 vs. 1.0 s) においてより大きな好ましい変化を示した (付録 D 参考)。さらに、膝関節筋力・筋パワーにおいても有意な交互作用は見られなかったものの、すべての項目において時間の主効果が認められた。

辻ら (2012) は、本研究と同様なマシンを用いて高齢者 (男性 19 名, 女性 28 名, 年齢 65 ~75 歳) を対象に WBVT (週 3 回, 9 週間) の効果を検証した。その結果, 5 回椅子立ち上がり時間, TUG, 5 m 通常歩行時間及び長座位起立時間において 7.4~22.4 %の向上が見られたことを報告している。これは, 全身振動マシンを使わず WBVT 群と同様の動作を真似してトレーニングを行ったコントロール群 (5.7~22.7%) より高い改善率であった。また, WBVT (週 2 回, 8 週間) の実践は, 健常な高齢者の歩行速度 (+14.9%) 及び歩行幅 (+6.5%) を向上させることから, 歩行能力の向上にも効果的であることが確認されている (Kawanabe et al., 2007)。Bruyere et al. (2005) は, 老人ホームに入所している高齢者を対象として, WBVT の実践が TUG (+33.1%) 及び Berg Balance Scale (+29.0%) において改善させたことを報告している。これらのことから, WBVT の実践は主に下肢機能を中心とした身体機能の向上に有効であり, 本研究においても先行研究と同様の傾向が見られたと考えられる。

また, 高齢者を対象とした研究ではないものの, van den Tillaar (2006) は平均年齢 21.5 歳の 19 名 (男性 7 名, 女性 12 名) の健常な大学生を対象とした研究で, WBVT (週 3 回, 4 週間) の実践により柔軟性が約 30%向上したことを報告している。この理由として, 血流が改善したことで筋温の上昇ならびに筋弾性の向上が得られ, 関節可動域が広がったことや, 反射的な主動筋の収縮 (伸張反射) に伴う拮抗筋の弛緩 (Ia 抑制) により即時的な柔軟性の向上が惹起されることが考えられる。さらに, 継続的な WBVT の実践を通して痛みに対する抑制反応が起こり, 疼痛閾値の拡充や痛覚の鈍化により柔軟性の向上が得られた (van den Tillaar, 2006) と考えられる。しかし, 本研究で柔軟性評価項目として調査した JOA の「可動域」及び身体パフォーマンステストの「長座位前屈」に対しては有意な変化がみとめられなかった。その理由の一つは, 先行研究の対象者は平均年齢が 21.5 歳で, 身体的効果が得られやすい年齢であるものの本研究では中年・高齢者を対象とし, 特に高齢者の柔軟性は向上しにくいことが知られている。膝痛を有する高齢者は, 靭帯及び筋肉と骨を結合する腱の弾力が低下し, 関節が固まることが知られている (古賀ら, 2008)。これらの理由から, 膝痛を有する中年・高齢女性を対象とした本研究では柔軟性向上の効果が得られにくかったのかもしれない。

Lamet et al. (2012) は、高齢者を対象としたシステマティックレビューにおいて、WBVT によりバランス能力が改善すると報告しているが、本研究では静的バランスを評価する開眼片脚立ち時間において有意な改善が認められなかった。期待された結果が得られなかった要因の一つとして、WBVT 群の教室前調査の平均秒数が 53.0 秒（満点を 60 秒としてそれ以上は続けさせなかった）と、多くの者が満点に近い結果であったため天井効果が強く影響したことが挙げられる。そのため、本研究の結果から WBVT の実践が静的バランスへ与える影響については十分に検討ができなかった。また、WBVT は下肢筋力及び筋パワーに優れた効果があると報告されている (Bosco et al., 1999; Issurin et al., 1994; Issurin et al., 1999; Torvinen et al., 2002)。

一方、本研究において、下肢筋力・筋パワーでは有意な交互作用は認められず、いずれも有意な時間の主効果が認められた。これらの項目における教室前・後の WBVT 群の効果量は中程度の値を示した。しかし、コントロール群に関しては、AT と同程度、もしくはより大きい値を示した。コントロール群の運動プログラムの内容は、O'Reilly et al. (1999) により、外来通院の膝 OA 群を対象として指導した自宅エクササイズプログラム（筋力トレーニング）とほぼ一致しており、膝機能の向上及び筋力の向上が確認された。しかし、コントロール群において下肢筋力は向上したものの、逆に膝痛は悪化するという結果が得られた。一方、WBVT 群は両項目において少なくとも悪化はせず、むしろ改善傾向が確認された。これらの結果から WBVT は下肢筋力及び筋パワーの向上のみならず、膝痛の改善にも効果が得られる可能性がある。また、このような結果は、膝痛を有する高齢女性を対象とした 8 週間の WBVT の介入によって膝機能と下肢筋力・筋パワーが向上したという先行研究 (Trans et al., 2009) の報告内容と一致する。

WBVT の実践により下肢筋力及び筋パワーの向上効果が得られる理由を WBVT の原理から説明すると以下のようなになる。まず、一つめの理由として考えられるのはプラットフォームの微細振動に伴い発生する加速度 (acceleration) の影響である (Van et al., 2011)。筋力トレーニング時に発揮される力 (force: F) は質量 (mass: m) に加速度 (acceleration: a) を乗じて定義される ($F = ma$)。

従来型の筋力トレーニングでは質量 m を変化させることで負荷 F を調節するが、WBVT では、振動数 (Hz) と振幅 (mm) によって加速度 a を変化させ、力 F の生

成量を調節する。例えば、体重 70 kg の負荷重量を課した場合、発揮される力は次式「 $F = (70 \text{ [kg]} \times 70 \text{ [m/s}^2]) \times 9.81 \text{ [m/s}^2]$ (重力加速度)」により、およそ 1400 N となる。一方、VV マシンを振動数 40 Hz、振幅 4 mm に設定して振動させた場合の加速度は最大で 50.0 m/s² であり (van der Meer et al., 2011)、そのプラットフォーム上で体重 70 kg の人が立位を保持する場合、発揮される力は次式「 $F = (70 \text{ [kg]} \times 50 \text{ [m/s}^2])$ 」より 3500 N となり、前述の例を大きく (2.5 倍) 上回る。二つめの理由として考えられるのは、緊張性振動反射と呼ばれる反射的な機序によるものである。

VV マシンを使用した WBVT の主要な特徴は (東原ら, 2009)、振動により筋の収縮が不随意的かつ維持的になされるところにある。本研究と同様の VV マシンを使用した先行研究において 58~74 歳の女性を対象に週 3 回の WBVT を中心とした介入を行ったところ、トレーニング開始 12 週間後に等尺性及び等速性膝伸展トルクがおよそ 12% 向上したことを報告している (Roelants et al., 2004)。また、VV マシンを用いて行った国内の研究では 65 歳~75 歳の高齢者を対象とし、9 週間の介入において、等速性膝伸展平均パワー及び屈曲最大トルクがおよそ 9% 向上したことを報告している (辻ら, 2012)。

なお、本研究では、非常に高い参加率を示し、かつ脱落者が一人も出なかったことから、膝痛を有する日本人中年・高齢女性において WBVT は十分な安全性を有しており、かつ対象者にとって受け入れられやすいトレーニング方法であったことが示された。

第 6 節 要約

本課題では、WBVT が膝痛を有する日本人中年・高齢女性を対象に、運動器機能にもたらす効果について検討した。その結果、WBVT は膝痛を有する中年・高齢女性の主観的膝機能及び客観的膝機能に有意な効果をもたらすことが示唆された。さらに、膝関節筋力及び筋パワーの向上が可能であることも確認され、結果的に「膝痛なし」の膝機能と同様のレベルまで改善できる可能性を見出した。日常生活動作と関連する TUG 及び長座起立時間にも有意な改善が認められ、教室前より教室後の日常生活動作の遂行が楽になり、余暇活動が増えたと推察された。さらに、心理機能に対す

る良好な効果も確認された。

第VII章 課題II-2: 膝 OA の重症度別にみた全身振動トレーニングの効果

第1節 緒言

膝 OA の保存療法として大腿四頭筋を中心とし、その周辺の筋力を向上させる筋力トレーニングが推奨されている。筋力トレーニングは先述したように薬物治療のような副作用がない上に、薬物治療と同様な効果が得られることで幅広く普及されている。一方で、筋力トレーニングは腫脹が起きやすい現状がある。これらのことから、筋力トレーニングは膝 OA を有する者に対して必要があるものの、膝 OA の重度の者には腫脹の発生リスクが高くなる可能性が考えられる。近年 WBVT は短時間でさらに負荷を増加させず筋力トレーニングと同等の効果が得られると報告されている (van der Meer, 2011)。また、膝 OA の重症度により、筋力トレーニングの実践によって得られる効果が異なることが示唆されており、軽度であるほど効果が得られやすいとする報告もある (Fransen & McConnell, 2008)。しかしながら、WBVT においては膝 OA の重症度を考慮に入れた検討は、著者の知る限りおこなわれていない。

そこで本研究では、膝 OA 及び膝痛を有する日本人中年・高齢女性における運動器機能及び心理機能を膝 OA 重症度別に検討することとした。

第2節 方法

1. 対象者

Kellgren-Lawrence グレードによる膝 OA の症状別群分けを Fig.VII-1 示した。WBVT 群 (29 名) を対象として、Kellgren-Lawrence (K-L) 分類 (Fig. IV-2) に基づく (痛みがある膝を基準) X 線画像評価を行ったところ、0 期 (正常) : 17 関節 (12 名/「右: 11」・「左: 6」), I 期 (関節裂隙の狭小化と骨棘形成が疑われるもの) : 28 関節 (17 名/「右: 13」・「左: 15」), II 期 (明らかな骨棘形成があり、関節裂隙の狭小化の可能性があるもの) : 5 関節 (4 名/「右: 2」・「左: 3」), III 期 (中等度の骨棘形成が多数あり、関節裂隙の狭小化の可能性があるもの) : 5 関節 (4 名/「右: 1」・「左: 4」), IV 期 (大きな骨棘形成があり、関節裂隙が顕著であり、骨硬化が重度で骨変形が明らかであるもの) : 3 関節 (2 名/「右: 2」・「左: 1」) であった。以上の結果から本研究では、Ciolac et al. (2011) の先行研究を基に、変形なし群 (グレード 0), 軽症群 (グレード I), 重症群 (グレード II-IV) の 3 群に割り付けた。

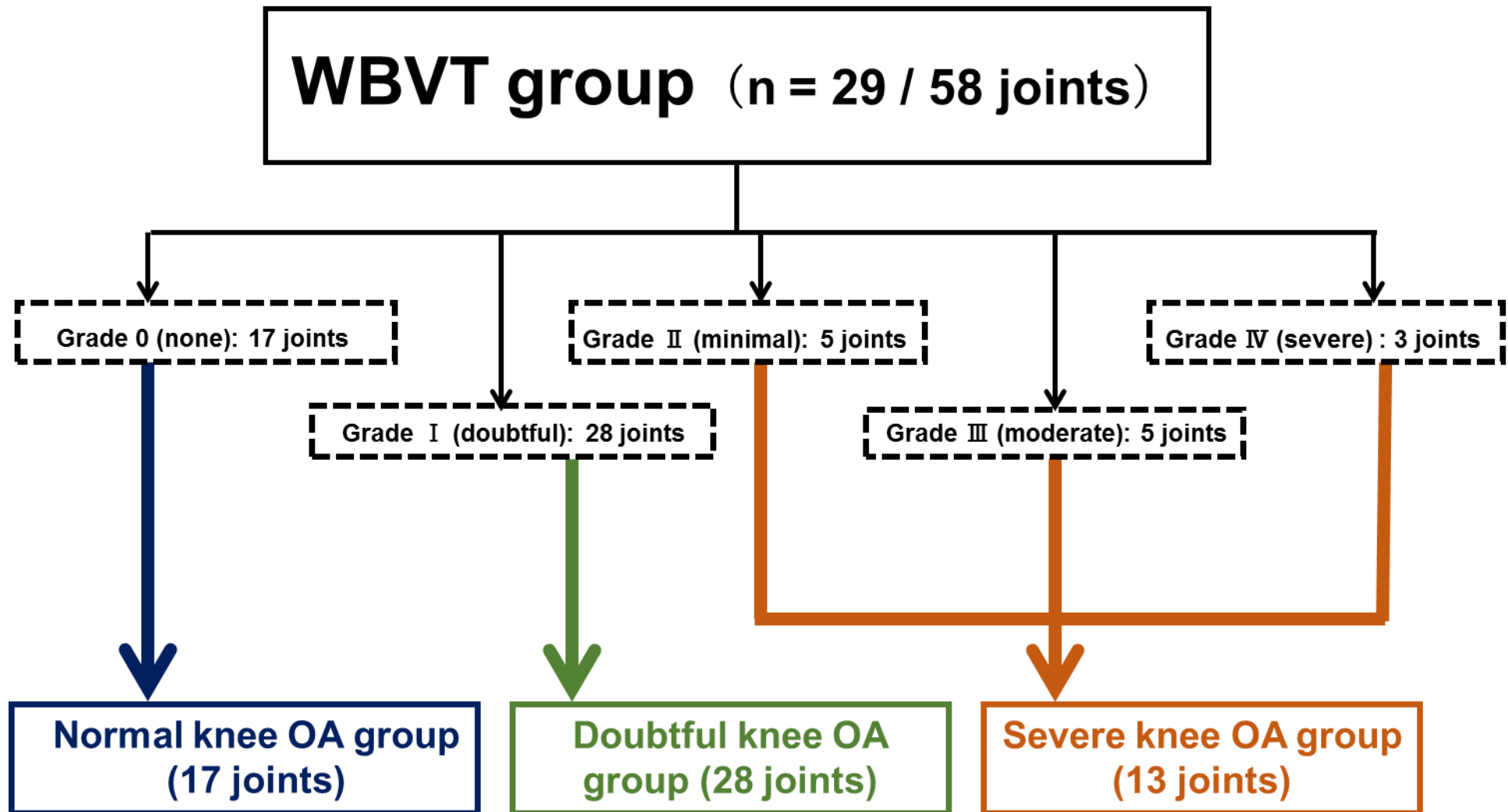


Fig. VII-1. Flow of subjects through trial (Kellgren-Lawrence grade)

2. 測定項目

下記の内容は課題Ⅱ-1と同様である。

- (1) 基本的属性
- (2) 膝機能
- (3) 膝伸展及び屈曲筋力・筋パワー
- (4) 身体機能テスト（パフォーマンステスト）
- (5) 質問紙調査
- (6) 医学的膝機能評価（整形外科医による診察）※WBVT群のみ実施

1) 単純 X 線（教室前のみ実施）

単純 X 線を用いて① 骨棘形成，② 関節裂隙狭小化，③軟骨下骨の骨硬化，④ 膝関節アライメント変化の 4 項目を評価した。それらに基づく膝 OA の病期分類（変形の重症度の診断）として，Kellgren and Lawrence（1957）が提唱した Kellgren-Lawrence 分類（Fig. VII-2）による評価を行った。

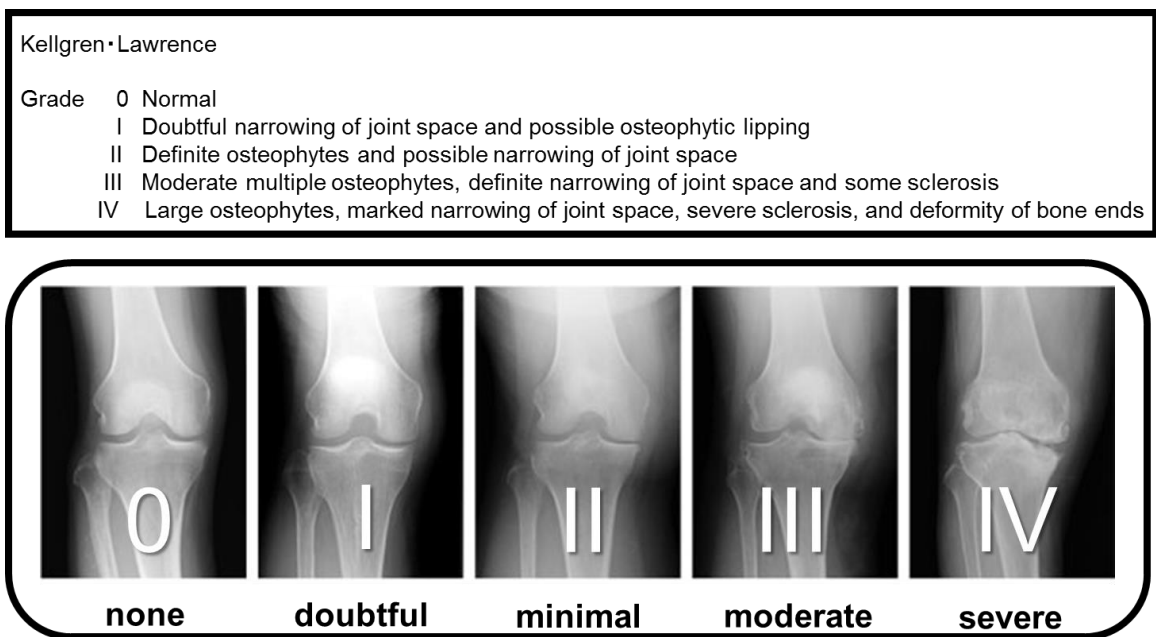


Fig. VII-2. The classification of Kellgren-Lawrence system

2) 日本整形外科学会変形性膝関節症治療成績判定基準 (Japanese Orthopaedic Association Score: JOA score) 付録 E)

1998年に日本整形外科学会膝OA治療成績判定基準委員会が開発した、治療者が行う膝OA患者の運動機能の障害の程度を評価する尺度である。膝OA患者の膝痛による歩行及び階段昇降能の障害程度、可動域、腫脹の重症度を関節別に点数評価する。「疼痛・歩行能」、「疼痛・階段昇降能」、「屈曲角度及び強直・高度拘縮」、「腫脹」の4領域について、表現された状態に最も近い選択肢を選ぶ。最も不良な状態は0点、最も良好な状態は100点である。膝OA患者の機能障害を移動能力への影響の強さから評価した尺度で、他の生活面への配慮はないが治療による移動能力の改善を測定することはできる。また、医師立脚型の評価でありながらVASとは相関が低く、患者の持つ微妙な状態については評価が困難である(瀬戸ら, 2005)。

4. 統計解析

各検討課題における統計解析方法は下記のとおりである。検定力分析を除くすべての分析は、SPSS 21.0 for Windowsを用い、統計的有意水準は5%未満に設定した。単純X線画像に基づく膝OAの重症度別の検討における、ベースラインでの3群間

(KL = 0 群, KL = 1 群, KL \geq 2 群) の比較には, 一元配置分散分析を用いた。各群の教室前・後の比較は, ウィルコクソンのマン・ホイットニーの U 検定を用いた。また, 各群の効果を比較するため, 教室前・後の変化量を算出し, それらをクラスカル・ウォリス (Kruskal- Wallis) の H 検定を用いて比較した。

第3節 結果

1. 対象者の特性

対象者の特徴を Table VII-1~5 WBVT 群とコントロール群の特徴を示した。WBVT 群とコントロール群において群間に有意差が認められた項目は WOMAC のこわばりと PASE の余暇活動時間であった。

Table VII-1 Descriptive data of subjects

| | | WBVT | | | |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | | Normal (K-L = 0) (17 joints) | Doubtful (K-L = 1) (28 joints) | Severe (K-L ≥ 2) (13 joints) | P [†] |
| Age | years | 61.5 ± 3.7 | 60.8 ± 6.3 | 65.6 ± 3.4 | 0.15 |
| Height | cm | 152.7 ± 7.0 | 155.3 ± 5.4 | 151.6 ± 5.6 | 0.32 |
| Body weight | kg | 49.5 ± 1.8 | 57.2 ± 11.3 | 59.8 ± 8.8 | 0.15 |
| Body mass index | kg/m ² | 21.8 ± 2.3 | 24.1 ± 4.3 | 26.3 ± 2.4 | 0.09 |
| Affected side | Bilateral (%) | 3 (50.0%) | 8 (50.0%) | 4 (57.1%) | 0.95 |

[†] P value from Student's *t*-test, [‡] P value from one-way ANOVA
WBVT: whole-body vibration training, K-L: Kellgren-Lawrence grade

Table VII-2 Descriptive data of knee function and physical performance

| | | WBVT | | | P [‡] |
|--|-------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | | Normal (K-L = 0) (17 joints) | Doubtful (K-L = 1) (28 joints) | Severe (K-L ≥ 2) (13 joints) | |
| Self-reported knee function (JKOM) | | | | | |
| Total score (25-100) | score | 39.8 ± 4.0 | 39.5 ± 8.1 | 50.9 ± 19.8 | 0.10 |
| Degree of pain-visual analogue scale (0-100) | mm | 27.0 ± 26.4 | 19.9 ± 16.3 | 34.0 ± 32.9 | 0.41 |
| Pain and stiffness in knees (0-32) | score | 14.8 ± 1.9 | 13.9 ± 3.6 | 19.0 ± 8.3 | 0.09 |
| Condition in daily life (0-40) | score | 12.7 ± 1.2 | 13.3 ± 3.0 | 17.1 ± 7.1 | 0.09 |
| General activities (0-20) | score | 8.0 ± 1.8 | 7.5 ± 2.3 | 10.3 ± 3.5 | 0.07 |
| Health condition (0-8) | score | 4.3 ± 1.0 | 4.8 ± 1.4 | 4.4 ± 2.1 | 0.75 |
| Self-reported knee function (WOMAC) | | | | | |
| Total score (0-96) | score | 10.0 ± 5.2 | 8.9 ± 7.1 | 18.7 ± 18.2 | 0.13 |
| Pain subscale (0-20) | score | 2.7 ± 1.2 | 2.6 ± 2.0 | 3.9 ± 3.7 | 0.48 |
| Stiffness subscale (0-8) | score | 1.2 ± 1.3 | 0.9 ± 0.9 | 2.1 ± 2.1 | 0.14 |
| Physical function (0-68) | score | 6.2 ± 3.9 | 5.5 ± 4.8 | 12.7 ± 12.8 | 0.11 |
| Physical performance | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 6.81 ± 1.38 | 6.69 ± 1.38 | 7.23 ± 1.51 | 0.70 |
| 5-m habitual walk | sec. | 3.92 ± 0.56 | 3.73 ± 0.46 | 3.67 ± 0.36 | 0.60 |
| Timed up and go | sec. | 5.78 ± 0.69 | 5.64 ± 0.62 | 6.09 ± 0.86 | 0.38 |
| Standing time from a long sitting position | sec. | 2.73 ± 0.72 | 2.59 ± 0.67 | 3.31 ± 1.02 | 0.14 |
| Sit and reach | cm | 36.9 ± 9.8 | 34.5 ± 6.9 | 36.2 ± 8.6 | 0.78 |
| Functional reach | cm | 31.0 ± 3.8 | 32.3 ± 4.5 | 30.6 ± 7.1 | 0.74 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 50.3 ± 16.2 | 56.3 ± 8.4 | 49.8 ± 11.7 | 0.34 |
| 4-way choice reaction time | ms | 1006 ± 127 | 1015 ± 109 | 1080 ± 72 | 0.35 |

[‡] P value from one-way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training, K-L: Kellgren-Lawrence grade

JKOM: Japanese Knee Osteoarthritis Measure, A lower score equals to less symptoms

WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, A lower score equals to less symptoms

Table VII-3 Descriptive data of knee strength and power

| | | WBVT | | | P [‡] |
|------------------------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | | Normal (K-L = 0) (17 joints) | Doubtful (K-L = 1) (28 joints) | Severe (K-L ≥ 2) (13 joints) | |
| Target knee joint | | n = 12 | n = 21 | n = 11 | |
| Knee strength and power | | | | | |
| Isometric extension peak torque | Nm/kg | 1.25 ± 0.46 | 1.54 ± 0.61 | 1.44 ± 0.35 | 0.32 |
| Isokinetic extension peak torque | Nm/kg | 1.02 ± 0.48 | 1.29 ± 0.47 | 1.05 ± 0.32 | 0.16 |
| Isokinetic extension average power | W/kg | 0.55 ± 0.28 | 0.73 ± 0.30 | 0.55 ± 0.18 | 0.11 |
| Isokinetic flexion peak torque | Nm/kg | 0.46 ± 0.20 | 0.59 ± 0.25 | 0.49 ± 0.22 | 0.25 |
| Isokinetic flexion average power | W/kg | 0.31 ± 0.14 | 0.40 ± 0.18 | 0.33 ± 0.16 | 0.29 |

[‡] P value from one-way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training

K-L: Kellgren-Lawrence grade

Table VII-4 Descriptive data of physical activity and mental function

| | | WBVT | | | P [‡] |
|---------------------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | | Normal (K-L = 0) (17 joints) | Doubtful (K-L = 1) (28 joints) | Severe (K-L ≥ 2) (13 joints) | |
| Physical activity (PASE) | | | | | |
| Total score | score | 90.3 ± 44.6 | 85.2 ± 36.4 | 78.2 ± 41.3 | 0.72 |
| Leisure times | score | 11.6 ± 8.4 | 11.6 ± 8.2 | 6.7 ± 4.9 | 0.99 |
| Household | score | 68.1 ± 32.9 | 66.7 ± 28.9 | 66.8 ± 31.9 | 0.99 |
| Occupational | score | 10.6 ± 25.3 | 6.9 ± 18.7 | 4.6 ± 16.6 | 0.72 |
| Mental function (GDS) | | | | | |
| Total score | score | 3.9 ± 1.9 | 4.6 ± 2.8 | 4.9 ± 3.8 | 0.65 |

‡ P value from one-way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training, K-L: Kellgren-Lawrence grade

PASE: Physical Activity Scale for the Elderly

GDS: Geriatric Depression Scale

Table VII-5 Descriptive data of clinical knee functions

| | | WBVT | | | P [‡] |
|--|-------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|
| | | Normal (K-L = 0) (n = 6) | Doubtful (K-L = 1) (n = 16) | Severe (K-L ≥ 2) (n = 7) | |
| Clinical knee function (JOA) | | | | | |
| Total (0-100) | score | 78.3 ± 9.3 | 84.7 ± 8.8 | 82.9 ± 17.0 | 0.51 |
| Pain on walking (0-30) | score | 25.0 ± 4.5 | 27.5 ± 3.2 | 25.0 ± 7.1 | 0.36 |
| Pain on ascending or descending (0-25) | score | 17.5 ± 6.1 | 18.8 ± 3.9 | 17.1 ± 7.6 | 0.77 |
| Range of motions (0-35) | score | 30.3 ± 4.5 | 31.6 ± 4.0 | 32.9 ± 3.9 | 0.46 |
| Joint effusion (0-10) | score | 5.8 ± 2.0 | 6.9 ± 3.1 | 7.9 ± 3.9 | 0.52 |

‡ P value from one-way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training, K-L: Kellgren-Lawrence grade

JOA: The Japanese Orthopaedic Association score, A higher score equals to less symptoms

1. 膝 OA の重症度別にみた膝機能への効果

教室前・後における，群ごと（膝 OA の重症度別の比較）の WOMAC 及び JKOM の結果を Table VII-6 に示した。教室前・後の変化量を群内で比較したところ，膝 OA なし群においては 7 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.02$)，軽症群においては 5 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01-0.04$)，重症群においては 4 項目 ($P = 0.01-0.04$) において有意な変化が認められた。なお，教室前・後の変化量を群間で比較したところ，WOMAC（痛み）において有意差が確認され ($P = 0.02$)，多重比較検定の結果，膝 OA なし群と重症群の間に有意差が認められた ($P < 0.01$)。

Table VII-6 Comparisons in measurements variables with a knee function in each group at prior to and after 9 weeks training (Only WBVT group)

| | | All (n = 29, Joint = 58) | | Normal (K-L = 0) (Joint = 17) | | Doubtful (K-L = I) (Joint = 28) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 13) | | P-value* | Bonferroni [§] |
|--|-------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|-------------------------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | | |
| Self-reported knee function (JKOM) | | | | | | | | | | | |
| Total | score | -5.0 | < 0.01 | -7.0 | < 0.01 | 16.0 | < 0.01 | -6.00 | 0.04 | 0.23 | |
| Degree of Pain-visual analogue | mm | -5.0 | 0.05 | -7.0 | 0.02 | 27.2 | 0.70 | -6.00 | 0.28 | 0.16 | |
| Pain and stiffness in knees | score | -2.0 | < 0.01 | -3.0 | < 0.01 | 7.2 | 0.25 | -2.00 | 0.01 | 0.10 | |
| Condition in daily life | score | -1.0 | < 0.01 | -1.0 | < 0.01 | 4.1 | 0.01 | 0.00 | 0.75 | 0.06 | |
| General activities | score | -1.0 | < 0.01 | 0.0 | 0.12 | 2.1 | 0.01 | -1.00 | 0.02 | 0.72 | |
| Health condition | score | -5.0 | < 0.01 | -1.0 | 0.64 | 2.6 | < 0.01 | 0.00 | 0.76 | 0.051 | |
| Self-reported knee function (WOMAC) | | | | | | | | | | | |
| Total | score | -2.0 | < 0.01 | -4.0 | < 0.01 | 0.0 | 0.08 | -2.0 | 0.05 | 0.07 | |
| Pain subscale | score | -1.0 | 0.11 | -1.0 | < 0.01 | -0.5 | 0.73 | 0.0 | 0.52 | 0.02 | I > III |
| Stiffness subscale | score | 0.0 | 0.33 | 0.0 | 0.19 | 0.0 | 0.94 | -1.0 | 0.65 | 0.32 | |
| Physical function | score | -2.0 | < 0.01 | -2.0 | < 0.01 | -1.0 | 0.04 | -1.0 | 0.02 | 0.33 | |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from one-way ANOVA, P < 0.05

[§]: multiple comparisons were made using Bonferroni hoc test

WBVT: whole-body vibration training

JKOM: Japanese Knee Osteoarthritis Measure, A lower score equals to less symptoms

WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, A lower score equals to less symptoms

2. 膝 OA の重症度別にみた臨床的膝機能への効果

教室前・後における，群ごと（膝 OA の重症度別の比較）の客観的膝評価である JOA の結果を Table VI-7 に示した。教室前・後の変化量を群内で比較したところ，膝 OA なし群においては 2 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01$)，軽症群においては 3 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01$) において有意な変化が認められた。しかし，重症群においては有意な変化が認められなかった。一方，JOA（痛み・階段昇降）において有意差が確認され ($P < 0.01$)，多重比較検定の結果，膝 OA なし群と重症群の間に有意差が認められた ($P < 0.01$)。

Table VII-7 Comparisons in measurements variables with a clinical knee function in each group at prior to and after 9 weeks training (Only WBVT group)

| | | All (n = 29, Joint = 58) | | Normal (K-L = 0) (Joint = 17) | | Doubtful (K-L = I) (Joint = 28) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 13) | | P-value* |
|-------------------------------------|-------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Clinical knee function (JOA) | | | | | | | | | | |
| Total | mm | 5.0 | < 0.01 | 5.0 | < 0.01 | 2.5 | < 0.01 | 10.0 | 0.13 | 0.42 |
| Pain on walking | score | 0.0 | < 0.01 | 0.0 | 0.46 | 0.0 | < 0.01 | 0.0 | 0.11 | 0.68 |
| Pain on ascending or descending | score | 0.0 | < 0.01 | 5.0 | < 0.01 | 0.0 | 0.16 | 0.0 | 0.76 | < 0.01 |
| Range of motions | score | 0.0 | 0.02 | 0.0 | 0.18 | 0.0 | 0.01 | 0.0 | 0.56 | 0.14 |
| Joint effusion | score | -5.0 | 0.051 | 0.0 | 0.16 | 0.0 | 0.48 | 0.0 | 0.13 | 0.32 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from one-way ANOVA, P < 0.05

§: multiple comparisons were made using Bonferroni hoc test

WBVT: whole-body vibration training

JOA: The Japanese Orthopaedic Association score, A higher score equals to less symptoms

3. 膝 OA の重症度別にみたパフォーマンステストへの効果

教室前・後における，群ごと（膝 OA の重症度別の比較）のパフォーマンステストの結果を Table VII-8 に示した。教室前・後の変化量を群内で比較したところ，膝 OA なし群においては 4 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.02$)，軽症群においては 5 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01-0.02$)，重症群においては 4 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.02$) に有意な変化が認められた。なお，教室前・後の変化量を群間で比較したところ，有意差は認められなかった ($P = 0.10-0.77$)。

Table VII-8 Comparisons in measurements variables with a physical performance in each group at prior to and after 9 weeks training (Only WBVT group)

| | | All (n = 29, Joint = 58) | | Normal (K-L = 0) (Joint = 17) | | Doubtful (K-L = I) (Joint = 28) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 13) | | P-value* |
|--|------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Physical performance | | | | | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | -1.22 | < 0.01 | -0.83 | < 0.01 | -1.35 | < 0.01 | -2.16 | < 0.01 | 0.15 |
| 5-m habitual walk | sec. | -0.20 | 0.05 | -0.20 | 0.12 | -0.31 | 0.70 | 0.15 | 0.28 | 0.16 |
| Timed up and go | sec. | -0.72 | < 0.01 | -0.64 | < 0.01 | -0.76 | < 0.01 | -0.44 | < 0.01 | 0.77 |
| Standing time from a long sitting position | sec. | -0.47 | < 0.01 | -0.65 | < 0.01 | -0.50 | < 0.01 | -0.22 | 0.22 | 0.10 |
| Sit and reach | cm | -1.0 | < 0.01 | 0.0 | 0.12 | 2.1 | 0.01 | -1.0 | 0.02 | 0.72 |
| Functional reach | cm | 0.1 | 0.05 | 2.0 | 0.10 | 0.0 | 0.73 | 1.00 | 0.06 | 0.29 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 0.0 | 0.26 | 0.0 | 0.46 | 0.0 | 0.50 | -10.2 | 0.17 | 0.14 |
| 4-way choice reaction time | ms | -37.25 | 0.11 | -65.25 | 0.02 | -22.00 | 0.02 | -58.00 | 0.02 | 0.12 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from one-way ANOVA, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

4. 膝 OA の重症度別にみた膝関節筋力・筋パワーへの効果

教室前・後における，群ごと（膝 OA の重症度別の比較）の膝関節筋力・筋パワーの結果を Table VII -9 に示した。教室前・後の変化量を群内で比較したところ，膝 OA なし群においては 5 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.03$), 軽症群においては 4 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01$), 重症群においては 4 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01-0.02$) に有意な変化が認められた。なお，教室前・後の変化量を群間で比較したところ，有意差は認められなかった ($P = 0.08-0.63$)。

Table VII-9 Comparisons in measurements variables with a knee sorength and power in each group at prior to and after 9 weeks training (Only WBVT group)

| | | All (n = 29, Joint = 58) | | Normal (K-L = 0) (Joint = 17) | | Doubtful (K-L = I) (Joint = 28) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 13) | | P-value* |
|---------------------------------------|-------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| <i>Knee strength and power</i> | | | | | | | | | | |
| Isometric extension peak torque | Nm/kg | 0.22 | < 0.01 | 0.25 | < 0.01 | 0.39 | < 0.01 | 0.09 | 0.02 | 0.08 |
| Isokinetic extension peak torque | Nm/kg | 0.06 | 0.04 | 0.11 | 0.03 | 0.05 | 0.34 | -0.02 | 0.75 | 0.39 |
| Isokinetic extension average power | W/kg | 0.10 | < 0.01 | 0.14 | < 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.07 | < 0.01 | 0.11 |
| Isokinetic flexion peak torque | Nm/kg | 0.09 | < 0.01 | 0.12 | < 0.01 | 0.08 | < 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.63 |
| Isokinetic flexion average power | W/kg | 0.08 | < 0.01 | 0.10 | < 0.01 | 0.08 | < 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.48 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from one-way ANOVA, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

5. 膝 OA の重症度別にみた身体活動量及び心理機能への効果

教室前・後における，群ごと（膝 OA の重症度別の比較）の身体活動量及び心理面への結果を Table VII -10 に示した。教室前・後の変化量を群内で比較したところ，膝 OA なし群においては身体活動量で 1 項目 ($P = 0.02$)，軽症群においては身体活動量と心理面それぞれ 1 項目ずつ ($P < 0.01$, $P = 0.01$)，重症群においては身体活動量 2 項目，心理面 1 項目の計 3 項目 ($P < 0.01$, $P = 0.01$) に有意な変化が認められた。なお，教室前・後の変化量を群間で比較したところ，有意差は認められなかった ($P = 0.09-0.54$)。

Table VII-10 Comparisons in measurements variables with a physical activity and mental state in each group at prior to and after 9 weeks training (Only WBVT group)

| | | All (n = 29, Joint = 58) | | Normal (K-L = 0) (Joint = 17) | | Doubtful (K-L = I) (Joint = 28) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 13) | | P-value* |
|---------------------------------|-------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Physical activity (PASE) | | | | | | | | | | |
| Total | score | 4.64 | < 0.01 | 6.54 | 0.02 | 4.57 | < 0.01 | 7.50 | < 0.01 | 0.54 |
| Leisure times | score | 0.00 | 0.96 | 0.00 | 0.86 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.07 | 0.09 |
| Household | score | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.16 | 0.00 | 0.22 | 0.11 | 0.32 | 0.11 |
| Occupational | score | 3.93 | 0.18 | 3.93 | 0.62 | 2.04 | 0.98 | 3.93 | 0.01 | 0.16 |
| Mental state (GDS) | | | | | | | | | | |
| Total | score | -1.00 | < 0.01 | -1.00 | 0.05 | -1.00 | 0.01 | -1.00 | < 0.01 | 0.32 |

Median: median of pre-post differences

†: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from one-way ANOVA, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

PASE: Physical Activity Scale for the Elderly

GDS: Geriatric Depression Scale

第4節 考察

本研究は著者の知る限り初めて WBVT の実践効果を膝 OA の重症度別に検討した研究である。膝 OA のグレードが重度になると手術療法が考慮しているが、大半の患者は手術療法より、保存療法での治療を希望しており、手術を受けた場合も完全に健康な膝関節の状態に戻るとは断言できない (Patel et al., 2010)。したがって、重症患者にも適した保存療法を探ることが重要となってくる。

英国国立医療支援評価機構 (National Institute for Health and Clinical Excellence: NICE) のガイドラインでは筋力トレーニングを加えたトレーニングは年齢、保有疾患、疼痛に関らず変形性膝関節症の運動療法として効果的であることが示されている (National Institute for Health and Clinical Excellence, 2009)。そのため、本研究の WBVT、及び自宅トレーニングは膝痛を有する者を対象とした運動療法として適した方法の一つであるといえる。また、膝関節の変形は膝周囲の筋力の低下が原因の一つとして知られていることから (Slemenda et al., 1997)、筋力トレーニングは膝関節の機能改善に効果があると報告されている (Iwamoto et al., 2005)。本研究でも身体パフォーマンスや下肢筋力・筋パワーに対して、膝 OA の重症度に関係なく、向上傾向にある項目が多かった。

とはいえ、下肢筋力、筋パワーは変形なし群においてのみ有意な向上がみとめられたことから、重症群よりは変形なし群の方が運動療法の効果を受けやすいことは明らかである。このような結果となったもう一つの理由として、膝伸展最大トルクの測定で足を伸ばす際、膝の痛みにより力の発揮が不十分であった可能性も否定できない。実際、先行研究 (Hansen et al., 2001) においては、変形性膝関節症 (WOMAC pain score の中央値 = 10) は健常者よりも、等尺性膝進展筋力が 35%低い値を示したことが報告されている。

主観的及び客観的膝機能については変形グレードによる有意差はみとめられなかった。また、膝の痛みに関しては、重症群はトレーニングの効果があっても、もともと痛みが強かったため痛みの減少を感じにくかったのかもしれない。

さらに、本研究の結果から注目したいことは心理機能で、本研究では抑うつ度の調査に関して重症群の効果量が最も高く (Cohen's $d=0.52$)、膝機能の改善による QoL

が改善され、抑うつ度も低下したと考えられる。

膝 OA の重症度別、各項目において有意な効果が得られた項目は膝 OA なし群が 16 項目、膝 OA 軽症群が 20 項目、膝 OA 重症群に 16 項目であった (Appendix E)。膝機能の向上については、重症群より膝 OA なし群もしくは軽症群において有意な向上がみられたが身体機能及び膝筋力・筋パワーは他の群と比べ概ね同様な効果が得られた。この結果から WBVT の実践は膝 OA が重症であってもトレーニング効果が得られることが確認された。

第 5 節 要約

本研究では、膝 OA 及び膝痛を有する日本人中年・高齢女性における運動器機能及び心理機能を膝 OA 重症度別に検討した。その結果、膝 OA の重症度にかかわらず膝痛を有する中年・高齢女性に対し、WBVT は運動器機能や心理機能に有意な効果をもたらすことが示唆された。よって、重度の膝 OA の患者にも、膝に負担せず筋力トレーニングが可能であり、運動器機能及び心理機能に有効な効果が得られた。さらに、下肢機能の維持、及び改善により要介護化もしくは要支援予防へのアプローチが可能となることが考えられる。

第Ⅷ章 課題Ⅱ-3: 全身振動トレーニングが膝痛を有する高齢者の骨密度に及ぼす影響

第1節 緒言

膝 OA の発症原因として、加齢、女性、肥満、日常の活動性、人種などが知られている。Messier et al. (2004) によると膝 OA を有する高齢者を対象とした研究で、18 ヶ月間の減量（介入前→介入後、5%以上）により膝機能や身体機能が向上したと報告されている。一方で、高齢者の減量は、骨密度の低下により骨粗鬆症の発生増悪因子とする研究も報告されている（Janssen et al., 2002; Yerges-Armstrong et al., 2014）。骨粗鬆症を有した者の骨折による死亡率は同年代の骨折していない者と比較して12～20%高いと報告されている（Autier et al., 2000）。さらに、骨粗鬆症を有した者の股関節部骨折患者は手術を受けても骨折前の身体機能状態に回復できる患者は3分の1に満たないといわれている（Magaziner et al., 1990）。よって、骨密度の維持は膝 OA を有する高齢者に重要であると考えられる。

近年、WBVT が骨密度を向上もしくは維持させると報告している。Rubin et al. (2004) によると、閉経期の女性を対象とした研究で脊椎や大腿骨の骨減少の抑制に効果的であることを示唆された。さらに、課題Ⅱ-2 で確認されたように膝 OA の重度の高齢者も膝関節の炎症が悪化することなく筋力トレーニングの効果が得られたことから安全、かつ効果が証明された。これらのことから、膝痛を有する高齢者に対し WBVT の実践は骨密度の異常な変化せず、かつ維持もしくは向上することが可能であると考えられる。

そこで、本課題では、膝痛を有する日本人高齢者に対して WBVT の実践が骨密度に与える影響を検討した。

第2節 方法

1. 対象者

膝痛を有する日本人高齢者を対象とした WBVT の有効性を二要因分散分析を用いて検討するにあたり、必要なサンプルサイズの見積もりを行った。The Cochrane collaboration (Fransen and McConnell, 2008) の先行研究に基づき、 $\alpha = 0.05$, Power $(1 - \beta) = 0.80$, effect size = 0.50 とし、繰り返しのある測定間の相関係数 $r = 0.70$ (辻ら, 2012) と仮定した検定力分析を行ったところ、本研究に必要なサンプルサイズはコントロール群を含め 34 名となった。また、対象者の募集は地域情報誌に募集記事を掲載し、茨城県つくば市及びその近隣の市町村に在住し、過去 1 ヶ月以内に片膝もしくは両膝に痛みを感じる機会があった高齢者 (65~86 歳) を対象とし、電話による受付を行った。申し込みがあった 110 名のうち、教室の参加条件 (医師から運動を禁止されていない、杖や車椅子などの補助具を必要としない、会場までの交通手段が確保できている、事前説明会・測定会に参加可能である) に適合した者が 97 名であった。そのうち、定員としたドロップアウトなどを考え 40 名を抽選により選出した。その後、無作為抽出により WBVT 群及びコントロール群にて 2 群のプロトコルを設定した。スケジュールが合わないことでコントロール群から 3 名がキャンセルとなったため、WBVT 群 20 名、コントロール群 17 名でプレ測定を行った。しかし、教室の途中コントロール群から 2 名がドロップアウトされ、最終的に WBVT 群 20 名、コントロール群 15 名がポスト測定に参加した。対象者の募集から決定、調査完了までのフローチャートは Fig. VIII に示した。

なお、WBVT 群は全身振動機器の台数の都合上及び安全性の確保のため、1 教室あたり約 10 名の教室を 2 教室 (A クラス: 10 名, B クラス: 10 名) 開催した。また、コントロール群は教室開始時及び 8 週目に資料を配布し、実践方法を教示した。

本研究は、筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て実施した (体 26-24 号)。すべての対象者には、調査協力を拒否しても不利益を被らないこと、データは研究以外には使用しないこと、プライバシーを保護することについて文書と口頭で説明をおこない、本人署名による同意書を得た。なお、研究終了後、コントロール群に属した

対象者 15 名全員に対して、WBVT 群と同様のプログラムを提供した。

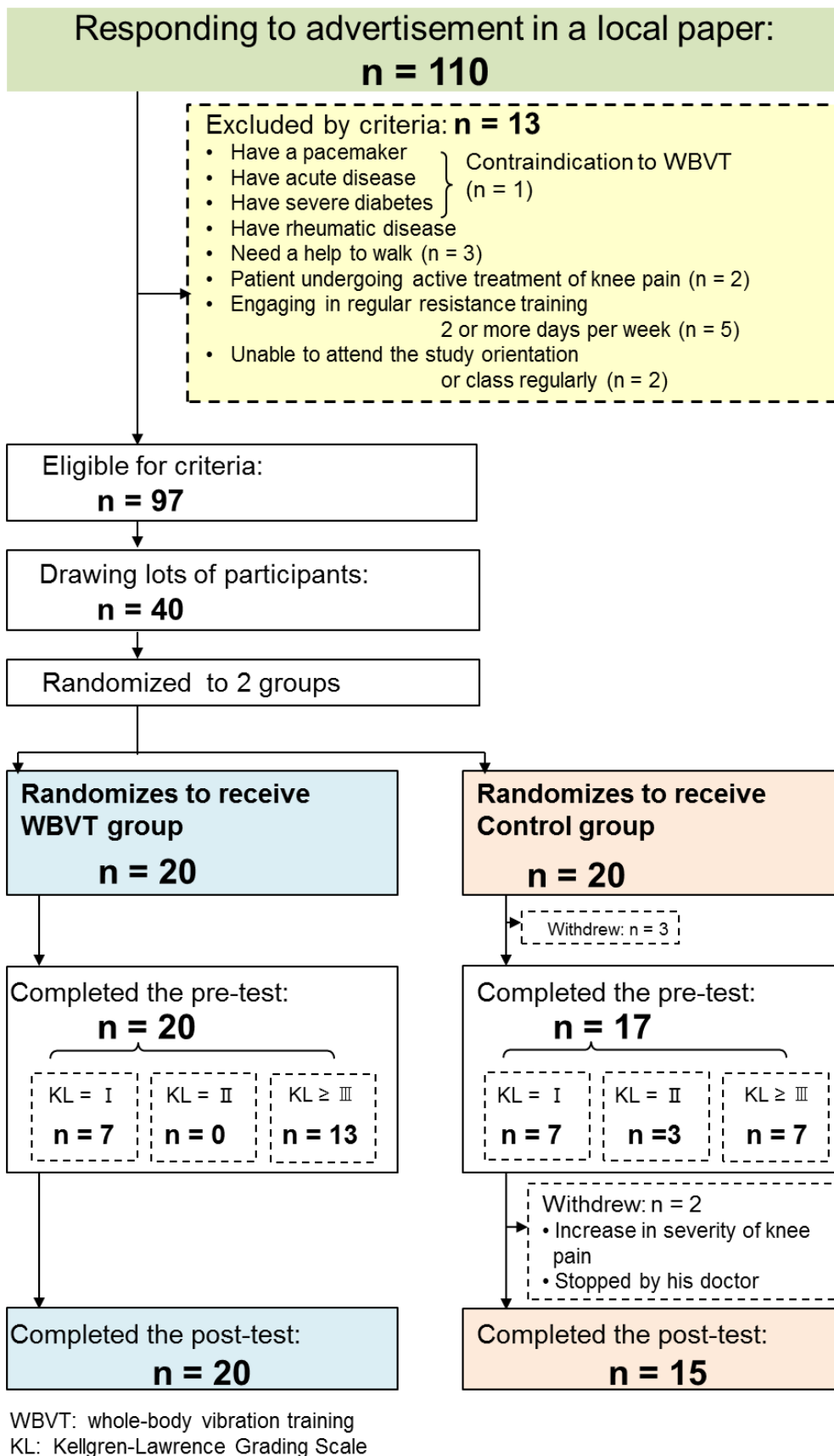


Fig. VIII. Flow of subjects through trial

2. 測定項目

下記の内容は課題Ⅱ-1, 2 と同様である。

(1) 基本的属性（課題Ⅱ-1, 2 と同様である）

(2) 骨密度

1) 単純 X 線

X 線を用いて① 骨棘形成, ② 関節裂隙狭小化, ③軟骨下骨の骨硬化, ④ 膝関節アライメント変化の 4 項目を評価した。それらに基づく膝 OA の病期分類 (変形の重症度の診断) として, Kellgren and Lawrence (1957) が提唱した Kellgren- Lawrence 分類 (Fig. VII-2) による評価を行った。

2) 二重エネルギーエックス線吸収測定法 (Dual-energy X-ray Absorption: DXA)

DXA にて腰椎, 大腿骨頸部を評価した。この測定法では骨量 (g) を単位面積 (cm^2) で割った値で算出し, 1 cm^2 当たりの骨量 (g/cm^2), いわゆる骨密度にて表現される。

3. WBVT 群の教室内容 (介入期間及び頻度のみ記録)

WBVT 群ならびにコントロール群のいずれも, 実施期間は 20 週間 (平成 26 年 7 月 14 日~12 月 1 日) とした。WBVT のプログラムは準備運動, 筋力トレーニング, リラクゼーションを含めた 45 分間のプログラムを, 週 2 回, 20 週間にわたり提供した (課題Ⅱ-1 と同様)。準備運動は, ハムストリング, アキレス腱, 体側部, 腰背部などの身体の全般的な部位のストレッチングを 10 分間行った。筋力トレーニングは, スクワット, 膝曲げ伸ばし, フロントランジなどの大腿四頭筋の強化を中心とし, 加えて, カーフレイズや腹筋, ブリッジなどその周囲の筋の強化を組み合わせたプログラムを 20 分間行った。リラクゼーションは大腿四頭筋, ハムストリング, 肩などの部位を中心に 15 分間行った。メインエクササイズである筋力トレーニングは, 負荷を徐々に高めるような姿勢を提供するなど, トレーニングの強度を漸増させた。準備

運動及び筋力トレーニングは、いずれも周波数 30 Hz，振幅 2.5 mm (Low)，30 s / セットに設定し，セット数はストレッチングが 1 セット，筋力トレーニングは 2 セットとした。リラクゼーションは周波数 40 Hz，振幅 2.5 mm (Low)，60 s / セットとし，1 セット行った。なお，筋力トレーニングはいずれも関節の動きを伴わない等尺性筋収縮による筋力発揮様式とした。

Table VIII-1. The programs of the whole-body vibration training

| Week | Exercise category | Exercise | Position (Fig. 2) | Frequency (Hz) | s/set | Number of set (s) |
|---------|--------------------------------------|---|---|----------------|-------|---|
| 1 → 4 | Warm-up (6 exercises) | • Hamstring stretch | W1 | 30 | 30 | 1 (each leg) |
| | | • Calf stretch | W2 | 30 | 30 | 1 (each leg) |
| | | • Side stretch | W3 | 30 | 30 | 1 (each side) |
| | | • Quadriceps stretch | W4 | 30 | 30 | 1 (each leg) |
| | | • Back relaxer | W5 | 30 | 30 | 1 |
| | | • Hip stretch | W6 | 30 | 30 | 1 (each side) |
| | Resistance training (4 exercises) | • Squat | R1 | 30 | 30 | 1 (1st week) → 2 (2nd week) |
| | | • Calves | R2 | 30 | 30 | 1 → 2 |
| | | • Sit-up | R3 | 30 | 30 | 1 → 2 |
| | | • Up and down | R4 | 30 | 30 | 1 (each leg) → 2 |
| | Cool-down (3 exercises) | • Calf massage | C1 | 40 | 60 | 1 |
| | | • Hamstring massage | C2 | 40 | 60 | 1 |
| | | • Quadriceps massage | C3 | 40 | 60 | 1 |
| | | • Back massage | C4 | 40 | 60 | 1 |
| Warm-up | | (The same 6 exercises as the 1st and 2nd week.) | | | | |
| | | (The same 4 exercises as the 5rd week.) | | | | |
| 5 → 20 | Resistance training (5 exercises) | + • Pelvic bridge | R5 | 30 | 30 | 1 (5rd week) → 2 (6-20th week) |
| | | (The same 5 exercises as the 5rd week.) | | | | |
| | | + • Front lunge | R6 | 30 | 30 | 1 (each leg) (5th week) → 2 (6-20th week) |
| | | (The same 4 exercises as the 1st and 4th week.) | | | | |
| | Cool-down | | (The same 4 exercises as the 1st and 4th week.) | | | |

The vibration amplitudes of all exercise programs were set to low (2.5 mm).

4. 統計解析

ベースラインでの 2 群の比較には、対応のない t 検定を行なった。20 週間の教室前・後における各測定値の比較には、時間経過（プレテスト vs. ポストテスト）とプログラム（WBVT 群 vs. コントロール群）の影響を検討するため、二要因分散分析（一要因のみ対応あり）を行なった。有意な交互作用が認められた場合、群ごとに時間の単純主効果の検定を行なった。また、教室前・後における効果量（Cohen's d ）として、プレテストからポストテストの値を減じ、2 度の測定を統合した標準偏差で除した値の絶対値を群ごとに算出した（Cohen et al., 1992）。 d の判定基準は、0.2-0.49: 小さい, 0.50-0.79: 中程度, 0.8 以上: 大きいとした。

単純 X 線画像に基づく膝 OA の重症度別の検討における、各群の教室前・後の比較は、ウィルコクソンのマン・ホイットニーの U 検定を用いた。また、各群の効果を比較するため、教室前・後の変化量を算出し、それらをクラスカル・ウォリス（Kruskal-Wallis）の H 検定を用いて比較した。検定力分析を除くすべての分析は、SPSS 22.0 for Windows を用い、統計的有意水準は 5% 未満に設定した。

第3節 結果

1. 対象者の特性

対象者の特徴を Table VIII-2 に示した。WBVT 群とコントロール群の間に有意差が認められた項目はなかった。

Table VIII-2 Descriptive data of subjects

| | | Control (n = 15) | WBVT (n = 20) | P [†] | WBVT | | | Control | | |
|---|----------------------|---------------------|------------------|----------------|--------------------|---------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|
| | | | | | K-L = 1 (n = 6) | K-L ≥ 2 (n = 14) | P [‡] | KL = 1 (n = 7) | K-L ≥ 2 (n = 8) | P [‡] |
| Age | years | 71.7 ± 5.6 | 70.7 ± 3.4 | 0.15 | 72.2 ± 3.5 | 70.6 ± 5.3 | 0.53 | 69.3 ± 0.7 | 74.4 ± 0.8 | 0.17 |
| Height | cm | 156.8 ± 9.9 | 156.9 ± 9.4 | 0.58 | 160.8 ± 8.3 | 154.7 ± 9.7 | 0.16 | 160.5 ± 11.3 | 154.5 ± 7.9 | 0.29 |
| Body weight | kg | 59.3 ± 11.6 | 60.4 ± 10.4 | 0.99 | 59.3 ± 11.8 | 59.7 ± 9.8 | 0.94 | 61.5 ± 12.8 | 60.1 ± 11.9 | 0.85 |
| Body mass index | kg/m ² | 23.9 ± 2.7 | 24.4 ± 3.8 | 0.27 | 22.8 ± 3.4 | 25.2 ± 3.6 | 0.18 | 23.7 ± 2.5 | 25.0 ± 2.4 | 0.35 |
| Bone function (bone mineral density) | | | | | | | | | | |
| Left hip | g/cm ² | 0.923 ± 0.203 | 0.848 ± 0.206 | 0.58 | 0.827 ± 0.191 | 0.853 ± 0.210 | 0.79 | 0.904 ± 0.145 | 0.972 ± 0.272 | 0.60 |
| Left hip | T score [§] | -0.147 ± 1.583 | -0.761 ± 1.630 | 0.54 | -0.933 ± 1.562 | -0.714 ± 1.652 | 0.80 | -0.317 ± 1.146 | 0.100 ± 2.120 | 0.68 |
| Left hip | Z score | 1.667 ± 1.355 | 0.989 ± 1.338 | 0.70 | 0.667 ± 1.157 | 1.157 ± 1.135 | 0.45 | 1.200 ± 0.942 | 2.114 ± 1.741 | 0.28 |
| Lumbar spine (L1-L4) | g/cm ² | 1.128 ± 0.280 | 1.077 ± 0.260 | 0.58 | 1.012 ± 0.298 | 1.090 ± 0.236 | 0.55 | 1.113 ± 0.322 | 1.124 ± 0.279 | 0.95 |
| Lumbar spine (L1-L4) | T score [§] | -0.021 ± 2.193 | -0.441 ± 2.006 | 0.55 | -1.100 ± 2.309 | -0.262 ± 1.784 | 0.40 | -0.028 ± 2.497 | 0.286 ± 2.138 | 0.67 |
| Lumbar spine (L1-L4) | Z score | 1.920 ± 2.076 | 1.460 ± 1.818 | 0.37 | 0.650 ± 2.070 | 1.769 ± 1.527 | 0.20 | 1.450 ± 2.404 | 2.129 ± 1.943 | 0.58 |

[†] P value from Student's *t*-test, [‡] P value from one way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training, K-L: Kellgren and Lawrence grade

[§] $T=10(X-X/S)+50$

2. WBVT が骨密度に及ぼす効果

教室前・後における，群ごと（WBVT 群とコントロール群）の骨密度評価の結果を Table VIII-3~5 に示した。有意な交互作用が認められた項目はなかった ($P = 0.24-0.88$)。また，いずれの項目においても有意な時間の主効果も認められなかった ($P = 0.41-0.76$)。

さらに，膝 OA の重症度別，WBVT が骨密度に及ぼす影響を検討したがいずれの項目においても有意な変化が認められなかった（WBVT 群: $P = 0.21-1.00$ ，コントロール群: $P = 0.61-1.00$ ）。

Table VIII-3 Bone mineral density measurements by groups at prior to and after 20 weeks training

| | | Week | WBVT (n = 20) | | | Control (n = 15) | | | Interaction (Time × Group) P-value | Main effect of time P-value |
|---|---------|------|----------------|-------|--------------------------|------------------|------|--------------------------|--|-----------------------------------|
| | | | Mean | SD | Effect size Cohen's d | Mean | SD | Effect size Cohen's d | | |
| <i>Bone bone mineral density</i> | | | | | | | | | | |
| Left hip | g/cm2 | 0 | 0.859 ± 0.206 | -0.02 | 0.948 ± 0.207 | -0.01 | 0.77 | 0.41 | | |
| | | 20 | 0.855 ± 0.215 | | 0.946 ± 0.207 | | | | | |
| Left hip [§] | T score | 0 | -0.671 ± 1.632 | -0.02 | 0.062 ± 0.595 | 0.00 | 0.62 | 0.62 | | |
| | | 20 | -0.700 ± 1.697 | | 0.062 ± 1.609 | | | | | |
| Left hip | Z score | 0 | 1.076 ± 1.324 | -0.01 | 1.831 ± 1.372 | -0.01 | 0.88 | 0.70 | | |
| | | 20 | 1.059 ± 1.370 | | 1.823 ± 1.392 | | | | | |
| Lumbar spine (L1-L4) | g/cm2 | 0 | 1.077 ± 0.260 | -0.03 | 1.141 ± 0.287 | 0.26 | 0.24 | 0.33 | | |
| | | 20 | 1.070 ± 0.269 | | 1.215 ± 0.336 | | | | | |
| Lumbar spine (L1-L4) [§] | T score | 0 | -0.441 ± 2.005 | -0.03 | 0.069 ± 2.255 | 0.00 | 0.44 | 0.44 | | |
| | | 20 | -0.500 ± 2.088 | | 0.069 ± 2.232 | | | | | |
| Lumbar spine (L1-L4) | Z score | 0 | 1.460 ± 1.818 | -0.01 | 1.990 ± 2.143 | 0.00 | 0.76 | 0.76 | | |
| | | 20 | 1.441 ± 1.899 | | 1.992 ± 2.114 | | | | | |

Cohen's d: 0.20~0.49 = small, 0.50~0.79 = medium, 0.8 ≤ large

†: simple main effect of time group, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

* T=10(X-X̄/S)+50

Table VIII-4 Comparisons in measurements variables with a bone mineral density in each group at prior to and after 20 weeks (WBVT)

| | | Doubtful (K-L = I) (n = 6) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 14) | | P-value* |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Bone mineral density | | | | | | |
| Left hip | g/cm ² | -0.008 | 0.29 | 0.003 | 0.35 | 0.54 |
| Left hip [§] | T score | -0.050 | 0.32 | 0.000 | 0.54 | 0.10 |
| Left hip | Z score | -0.100 | 0.23 | 0.000 | 0.47 | 0.51 |
| Lumbar spine (L1-L4) | g/cm ² | -0.006 | 0.92 | 0.007 | 0.13 | 0.21 |
| Lumbar spine (L1-L4) [§] | T score | -0.100 | 0.90 | 0.200 | 0.10 | 0.40 |
| Lumbar spine (L1-L4) | Z score | -0.100 | 0.33 | 0.050 | 0.20 | 1.00 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from student's t-test, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

[§] T=10(X- \bar{X} /S)+50

Table VIII-5 Comparisons in measurements variables with a bone mineral density in each group at prior to and after 20 weeks (Control)

| | | Doubtful (K-L = I) (Joint = 7) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 8) | | P-value* |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Bone mineral density | | | | | | |
| Left hip | g/cm ² | 0.006 | 0.66 | 0.014 | 0.72 | 0.61 |
| Left hip [§] | T score | 0.000 | 1.00 | 0.000 | 0.79 | 0.73 |
| Left hip | Z score | 0.050 | 1.00 | 0.000 | 1.00 | 0.88 |
| Lumbar spine (L1-L4) | g/cm ² | -0.002 | 1.00 | 0.013 | 0.79 | 1.00 |
| Lumbar spine (L1-L4) [§] | T score | 0.000 | 0.66 | 0.100 | 0.79 | 0.71 |
| Lumbar spine (L1-L4) | Z score | 0.000 | 0.66 | 0.100 | 0.79 | 0.73 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank test, P < 0.05

*: P value from one-way ANOVA, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

[§] T=10(X- \bar{X} /S)+50

第4節 考察

課題Ⅱ-3の対象者は、研究課題Ⅱ-1, 2の研究限界であった対象者の条件を解決した対象者であり、そこに本研究の意義があると考えられる。これまで、膝痛もしくは膝 OA を有する高齢者を対象とし、骨密度を評価した研究のほとんどはコホート研究である。しかし、膝痛を有する高齢者を対象とし、骨密度に対する全身振動トレーニングの効果性の検証は本研究が初めてである可能性が高い。

本研究では、教室前・後において WBVT の効果検証及び膝 OA の重症度別 WBVT の効果を検証した。その結果、いずれの項目においても有意な変化は認められなかった。本研究課題で有意な結果が得られなかった理由として以下の3点が挙げられる。

まず1点目は、介入頻度の問題が一つの限界で挙げられる。骨機能に関する効果を検討する際は少なくとも1年程度の時間になるかもしくは6ヵ月間行った研究としても、高強度で行ったところ (Bolam et al., 2015) が本研究と異なる点である。また、本研究と同レベルで行った研究で、Song et al., (2014) によると、55~65歳の中年・高齢者を対象としダンス、ウォーキング及び太極拳を3群に分けて行った(週2回/12ヵ月)。評価は介入開始から0ヵ月(プレテスト)、6ヵ月後(第1次中間)、8ヵ月後(第2次中間)、12ヵ月後(ポストテスト)に行った。その結果、骨密度に対して6ヵ月までは有意な変化が認められなかったが8ヵ月から有意に向上したことが確認された。この先行研究を参考して8ヵ月以上の介入期間でもう一度再検討する必要がある。

2点目は、本研究課題の対象者はプレテスト時の骨密度が高い対象者が多かったことである。膝 OA が重度である者は健常な者より高い骨密度を有する傾向がある (Hannan et al., 1993)。その理由として、膝 OA の症状の中、関節軟骨がすり減ればすり減るほど骨を補充しようとする原理で、さらに骨密度が増えるからである。Hannan et al. (1993) によると高齢者(平均年齢71歳)を対象とし軽度の膝 OA (グレード I-III) 群と膝 OA なし群を比較した結果、膝 OA 群の骨密度が5~9%高いことが報告されている。また、縦断研究で、膝 OA の発症リスクは骨密度と強い相関があり、逆に同グレードでの膝 OA の進行は骨密度と弱い相関があることが報告されている。Zhang et al. (2000) による8年間のコホート研究により同年代の女性(平均

年齢 71 歳) を対象とした研究で骨密度と膝 OA との発生リスクを調査した。その結果、骨密度が高いほど膝 OA 発生リスクが向上 (OR: 2.0~2.5) することが示唆された。また、同じグレードの膝 OA を有する者を対象とし、膝 OA の進行率を調査した結果では骨密度が低いほどリスクが向上 (OR: 0.1~0.3) することが示唆された。しかし、骨密度が高い者が膝 OA の発生リスク増加のメカニズムは、まだ明確に証明されていない (Zivkovic et al., 2010)。異常な骨密度の値を有すると、転移性骨腫瘍、骨腫瘍、カルシウム代謝異常などを調査する必要もある。逆に骨密度が低くなると骨折のリスクが高くなり、さらに骨粗鬆症の発生リスクが高いことが報告されていることから、骨密度の適切な維持が重要であると考えられる。よって、膝痛を有する高齢者に対して、正常である骨密度を維持することが重要であると考えられる。

3 点目は、骨密度を評価した部位の影響が考えられる。今回の評価では腰椎及び大腿骨近位部であったため、膝痛の改善を目的とした WBVT のプログラムのみでは効果が生じにくかったかもしれない。しかし、膝痛を有する高齢者を対象とした WBVT の研究として骨密度の評価を検証した研究は著者が知る限り初めてとなることから、今後さらに WBVT が普及する上での貴重な資料になると考えられる。

第 5 節 要約

本研究課題では、全身振動トレーニングが骨密度に及ぼす影響はなかった。この結果から、介入期間及び WBVT の強度を再修正し、もう一度再検討が必要であると考えられる。特に骨密度の効果を検討するためには強度ごとに介入期間の設定が重要であると考えられる。また、本研究課題の対象の骨密度の数値が同年代の健常な者に比べほぼ同程度の値を有しているから現在の骨密度を維持するだけでも十分であると考えられる。

しかし、考察で先述したようにいくつかの限界が見られたため、今後の課題を以下のようにまとめた。

- ① WBVT の介入期間及び頻度の増加が必要である。少なくとも 8 ヶ月以上の介入期間もしくはより強度を上げる必要があると考えられる。
- ② 今回は骨密度が比較的高い参加者が多かったため、骨密度や膝痛 (膝 OA) の関

係性をさらに調査し、そのメカニズムの説明が可能となるような研究の実施が必要であると考えられる。

- ③ 下肢部位を中心とした評価が必要である。今回の研究に用いられた「骨密度測定機器」は腰椎や大腿骨部位のみしか評価が出来なかったため、今後の課題として下肢部位を中心とした評価が必要であると考えられる。

第Ⅷ章 課題Ⅲ:炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニズムに関する検討

第1節 緒言

本邦における45歳以上を対象とした運動器の機能に関するコホート研究(吉村, 2009)によると膝OA, 腰椎OA, OPのうち1つ以上の疾患を有している者の割合は男性84.1%, 女性79.3%である。そのうち中年・高齢女性の約70%に膝関節の変形がみられ, さらに, その半数以上は膝痛を有していると報告されている(Yoshimura et al., 2009)。膝OAの治療法として抗炎症薬の内服や関節注射, 物理治療などといった伝統的方法から汎用性, 安全性のある方法まで幅広くみとめられており, 特に注目されているのがWBVTである。

これまでいくつかの研究でWBVTの実践が膝OAの膝機能や痛みなどを有意に改善することが報告されている(Segal et al., 2010)。WBVTは膝OAを有する者に有効な効果を得られることが確認され, 保存的治療法として用いられている。しかし, WBVTが膝OAに及ぼす影響のメカニズムに関する研究はほとんど見当たらない。膝痛の原因として様々な要因が報告されているが, 中でも, 膝OAは関節軟骨の喪失, 骨の変形, 関節の炎症の3つが主要原因であり, これらにより, 膝痛の発生や身体機能の低下の引き起こされることが一般に知られている(Cordeiro et al., 2015)。近年, 特に炎症に焦点をあてた研究が散見されるようになった。

Mawad (2015)は老人ホームの男性高齢者40名(60~70歳)を対象とし, 週3回, 12週間WBVTを実践した。その結果, WBVT群及びコントロール群(有酸素運動群)のいずれの群においても炎症反応を示す指標のInterleukin-6 (IL-6), C-reactive protein (CRP), tumor necrosis factor alpha (TNF- α)が有意に改善したが, WBVT群の改善度がより顕著であった(WBVT群: $P \geq 0.01$; コントロール群: $P = 0.02-0.05$)。一方で, 改善がみられなかったとする研究(Carlos et al., 2013)も報告されているなど, 今のところ一致した見解は得られていない。また, 本博士論文におけるこれまでの課題では, WBVTにより膝OAを有する者の運動器機能が改善することを明らかにしてきたが, その機序は不明のままであった。

以上のことから、本研究課題では WBVT 実践に伴う運動器機能改善のメカニズムの一端を明らかとするために、血中炎症バイオマーカーに焦点を当て、その動態を検討することとした。

本研究課題の目的は、関節軟骨に関連するバイオマーカーとして Collagen Type II Cleavage, Procollagen type II A N-terminal peptide, Il-6, High-C-reactive Protein を取り上げ、WBVT 実践に伴う変化を明らかにすることである。

第2節 方法

1. 対象者

課題Ⅱ-3の対象者と同様で、募集から決定、調査完了までのフローチャートは Fig. V-1 (110 ページ) に示した。膝痛を有する高齢者を対象とした WBVT の有効性について二要因分散分析を用いて検討するにあたり、必要なサンプルサイズの見積もりを行った。The Cochrane collaboration (Fransen and McConnell, 2008) の先行研究に基づき、 $\alpha = 0.05$, Power ($1 - \beta$) = 0.80, effect size = 0.50 とし、繰り返しのある測定間の相関係数 $r = 0.70$ (辻ら, 2012) と仮定した検定力分析を行ったところ、本研究に必要なサンプルサイズはコントロール群を含め 34 名となった。また、対象者の募集は地域情報誌に募集記事を掲載し、茨城県つくば市及びその近隣の市町村に在住し、過去 1 ヶ月以内に片膝もしくは両膝に痛みを感じる機会があった女性 (65 ~ 86 歳) を対象とし、電話による受付を行った。申し込みがあった 110 名のうち、教室の参加条件 (医師から運動を禁止されていない、杖や車椅子などの補助具を必要としない、会場までの交通手段が確保できている、事前説明会・測定会に参加可能である) に適合した者が 97 名であった。そのうち、定員としたドロップアウトなどを考え 40 名を抽選により選出した。その後無作為抽出により WBVT 群及びコントロール群にて 2 群のプロトコールを設定した。スケジュールが合わないことでコントロール群から 3 名がキャンセルとなったため、WBVT 群 20 名、コントロール群 17 名でプレ測定を行った。しかし、教室の途中コントロール群から 2 名がドロップアウトされ、最終的に WBVT 群 20 名、コントロール群 15 名がポスト測定に参加した。

なお、WBVT 群は全身振動機器の台数の都合上及び安全性の確保のため、1 教室あたり約 10 名の教室を 2 教室 (A クラス: 10 名, B クラス: 10 名) 開催した。また、コントロール群は教室開始時及び 8 週目に資料を配布し、実践方法を教示した。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て実施した。すべての対象者には、調査協力を拒否しても不利益を被らないこと、データは研究以外には使用しないこと、プライバシーを保護することについて文書と口頭で説明をおこない、本人署名による同意書を得た。なお、研究終了後、コントロール群に属した対象者 15 名全員に対し

て、WBVT 群と同様のプログラムを提供した。

2. 測定項目

(1) 基本的属性（課題Ⅱ-3 と同様である）

(2) 炎症バイオマーカー

採血は、0週目（教室開始前）及び21週目（教室終了後）に実施し、空腹の状態
朝7時から9時までの間に行った。対象者に採血の 2 日前より激しい運動は控えるよ
う指示し、12 時間以上の絶食状態で肘正中皮静脈から採血し、血清分離後測定まで
-80C にて保存した。血液は、通常の健康診断項目のほかに、Collagen Type II
Cleavage (C2C; 分解マーカー), Procollagen type II A N-terminal peptide (PII ANP;
合成マーカー), Interleukin-6 (IL-6; サイトカイン), High-C-reactive Protein
(H-CRP; 生体) を測定した。測定は江東微生物研究所及びバイオマーカーサイエン
スに依頼した。算出方法はELISA 法 (R&D 社 USA) で測定した。

3. WBVT 群の教室内容（介入期間及び頻度のみ記録）

WBVT 群ならびにコントロール群のいずれも、実施期間は 20 週間（平成 26 年 7
月 14 日～12 月 1 日）とした。WBVT のプログラムは準備運動、筋力トレーニング、
リラクセーションを含めた 45 分間のプログラムを、週 2 回、20 週間にわたり提供し
た。

4. 統計解析

ベースラインでの 2 群の比較には、対応のない t 検定を行なった。20 週間の教室
前・後における各測定値の比較には、時間経過（プレテスト vs. ポストテスト）とプ
ログラム（WBVT vs. コントロール）の影響を検討するため、二要因分散分析（一
要因のみ対応あり）を行なった。有意な交互作用がみとめられた場合、群ごとに時間
の単純主効果の検定を行なった。また、教室前・後における効果量 (Cohen's d) と
して、プレテストからポストテストの値を減じ、2 度の測定を統合した標準偏差で除

した値の絶対値を群ごとに算出した (Cohen et al., 1992)。 d の判定基準は、0.2-0.49: 小さい, 0.50-0.79: 中程度, 0.8 以上: 大きいとした。

単純 X 線画像に基づく膝 OA の重症度別の検討における、各群の教室前・後の比較は、ウィルコクソンのマン・ホイットニーの U 検定を用いた。また、各群の効果を比較するため、教室前・後の変化量を算出し、それらをクラスカル・ウォリス (Kruskal- Wallis) の H 検定を用いて比較した。検定力分析を除くすべての分析は、SPSS 22.0 for Windows を用い、統計的有意水準は 5%未満に設定した。

第3節 結果

1. 対象者の特性

対象者の特徴を Table IX-1 に示した。WBVT 群とコントロール群において群間に有意差が認められた項目はなかった。

Table IX-1 Descriptive data of subjects

| | | Control (n = 15) | WBVT (n = 19) | <i>P</i> [†] | WBVT | | | Control | | |
|--|-------------------|---------------------|------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| | | | | | K-L = 1 (n = 6) | K-L ≥ 2 (n = 14) | <i>P</i> [‡] | KL = 1 (n = 7) | K-L ≥ 2 (n = 8) | <i>P</i> [‡] |
| Age | years | 71.7 ± 5.6 | 70.7 ± 3.4 | 0.15 | 72.2 ± 3.5 | 70.0 ± 3.3 | 0.20 | 68.8 ± 1.8 | 73.3 ± 6.7 | 0.07 |
| Height | cm | 156.8 ± 9.9 | 156.9 ± 9.4 | 0.58 | 160.8 ± 8.3 | 154.9 ± 10.0 | 0.23 | 158.7 ± 11.7 | 154.7 ± 8.7 | 0.54 |
| Body weight | kg | 59.3 ± 11.6 | 60.4 ± 10.4 | 0.99 | 59.3 ± 11.8 | 60.4 ± 10.1 | 0.84 | 55.8 ± 12.4 | 60.3 ± 13.1 | 0.57 |
| Body mass index | kg/m ² | 23.9 ± 2.7 | 24.4 ± 3.8 | 0.27 | 22.8 ± 3.4 | 25.2 ± 3.9 | 0.21 | 22.0 ± 2.9 | 24.9 ± 2.6 | 0.11 |
| <i>Inflammatory Biomarkers</i> | | | | | | | | | | |
| Collagned Type II cleavage | ng/ml | 184.92 ± 31.23 | 196.79 ± 24.98 | 0.25 | 207.00 ± 23.65 | 192.08 ± 25.03 | 0.24 | 194.00 ± 40.02 | 179.50 ± 26.69 | 0.49 |
| Procollagen type II A N-terminal peptide | ng/ml | 2157 ± 558 | 2275 ± 440 | 0.41 | 2314 ± 650 | 2258 ± 335 | 0.81 | 2060 ± 544 | 2083 ± 509 | 0.94 |
| Interluekin-6 | pg/ml | 1.54 ± 1.42 | 1.16 ± 1.10 | 0.41 | 1.01 ± 0.30 | 1.11 ± 0.24 | 0.57 | 0.76 ± 0.40 | 1.70 ± 1.41 | 0.19 |
| High-C-reactive Protein | mg/dl | 0.058 ± 0.358 | 0.721 ± 0.085 | 0.60 | -1.100 ± 2.309 | -0.082 ± 1.836 | 0.63 | 0.044 ± 0.018 | 0.070 ± 0.046 | 0.26 |

[†] *P* value from Student's *t*-test, [‡] *P* value from one way ANOVA

WBVT: whole-body vibration training, K-L: Kellgren and Lawrence grade

2. WBVT が炎症バイオマーカーに及ぼす効果

教室前・後における，群ごと（WBVT 群とコントロール群）の炎症バイオマーカーの結果を Table IX-2~4 に示した。有意な交互作用が認められた項目はなかった ($P = 0.09-0.76$)。また，いずれの項目においても有意な時間の主効果も認められなかった ($P = 0.08-0.93$)。

さらに，膝 OA の重症度別，WBVT が炎症バイオマーカーに及ぼす影響を検討した結果，コントロール群において，IL-6 が有意に悪化したことが認められた ($P = 0.04, 0.046$)。

Table IX-2 Inflammatory Biomarkers measurements by groups at prior to and after 20 weeks training

| | | Week | WBVT (n = 20) | | | Control (n = 15) | | | Interaction (Time x Group) P-value | Main effect of time P-value |
|--|-------|------|----------------|------|--------------------------|------------------|------|--------------------------|--|-----------------------------------|
| | | | Mean | SD | Effect size Cohen's d | Mean | SD | Effect size Cohen's d | | |
| Inflammatory Biomarkers | | | | | | | | | | |
| Collagened Type II cleavage | ng/ml | 0 | 196.79 ± 24.98 | 0.27 | 184.92 ± 31.23 | 0.32 | 0.76 | 0.24 | | |
| | | 20 | 203.05 ± 22.14 | | 193.75 ± 23.79 | | | | | |
| Procollagen type II A N-terminal peptide | ng/ml | 0 | 2276 ± 440 | 0.04 | 2157 ± 558 | 0.38 | 0.58 | 0.56 | | |
| | | 20 | 2302 ± 718 | | 2399 ± 704 | | | | | |
| Interluekin-6 | pg/ml | 0 | 1.19 ± 1.12 | 0.08 | 1.54 ± 1.42 | 0.56 | 0.09 | 0.08 | | |
| | | 20 | 1.26 ± 0.56 | | 3.13 ± 3.78 | | | | | |
| High-C-reactive Protein | mg/dl | 0 | 0.075 ± 0.090 | 0.32 | 0.060 ± 0.037 | 0.49 | 0.15 | 0.93 | | |
| | | 20 | 0.053 ± 0.032 | | 0.084 ± 0.059 | | | | | |

Cohen's d: 0.20-0.49 = small, 0.50-0.79 = medium, 0.8 ≤ large

†: simple main effect of time group, $P < 0.05$

WBVT: whole-body vibration training

Table IX-3 Comparisons in measurements variables with a inflammatory biomarkers in each group at prior to and after 20 weeks (WBVT)

| | | Doubtful (K-L = 1) (n = 6) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 14) | | P-value* |
|--|-------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Inflammatory Biomarkers | | | | | | |
| Collagned Type II cleavage | ng/ml | 13.00 | 0.60 | -17.00 | 0.13 | 0.40 |
| Procollagen type II A N-terminal peptide | ng/ml | -93 | 0.92 | 143 | 0.92 | 0.87 |
| Interluekin-6 | pg/ml | -0.22 | 0.25 | -0.15 | 0.43 | 0.76 |
| High-C-reactive Protein | mg/dl | -0.002 | 0.47 | 0.010 | 0.56 | 0.32 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank Test, P < 0.05

*: P value from student's t-test, P < 0.05

WBVT: whole-body vibration training

Table IX-4 Comparisons in measurements variables with a inflammatory biomarkers in each group at prior to and after 20 weeks (control)

| | | Doubtful (K-L = 1) (n = 7) | | Severe (K-L ≥ II) (Joint = 8) | | P-value* |
|--|-------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------|
| | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | |
| | | Median | P-value [†] | Median | P-value [†] | |
| Inflammatory Biomarkers | | | | | | |
| Collagned Type II cleavage | ng/ml | -10.00 | 0.69 | -22.50 | 0.60 | 0.44 |
| Procollagen type II A N-terminal peptide | ng/ml | 185 | 0.50 | -678.000 | 0.17 | 0.26 |
| Interluekin-6 | pg/ml | -0.60 | 0.04 | -0.690 | 0.046 | 0.13 |
| High-C-reactive Protein | mg/dl | -0.034 | 0.10 | 0.008 | 0.89 | 0.27 |

Median: median of pre-post differences

[†]: P value from Wilcoxon signed-rank Test, P < 0.05

*: P value from student's t-test, P < 0.05

第4節 考察

本研究では膝痛を有する高齢者を対象とし、WBVT 実践が膝関節の炎症と関連があるバイオマーカーに及ぼす影響を調査した。その結果、コントロール群において、膝 OA 重症度別、IL-6 が有意に悪化したことが認められた。膝 OA は関節軟骨と軟骨下骨の劣化によって進行する疾患で、炎症発生の原因として知られている(Simao et al., 2012)。OARSI では、膝 OA の保存的治療法として筋力トレーニングを推奨されているが、強度の筋力トレーニングによる関節炎の発生リスクが高くなることも報告されている (Nicklas et al., 2008; Starkie et al., 2003)。さらに、高齢者 (64 歳以上) を対象とした研究では、10 カ月間の有酸素運動を行う有酸素運動群及び伸展筋力エクササイズ群にてそれぞれ CRP, IL-6, IL-18, TNF- α の項目を調査した。その結果、有酸素運動群のみ CRP, IL-6, IL-18 が有意に改善し、TNF- α は両群で有意に改善したと報告されている。

一方、高齢者などの虚弱者及び有疾患者の新たな筋力トレーニング方法として WBVT の有効性が報告されている。Mawad (2015) の研究によると、中年・高齢者 (60~70 歳) を対象として週 3 回、12 週間の WBVT を行った結果、IL-6, CRP, tumor necrosis factor alpha について WBVT 群 ($P \geq 0.01$) 及びコントロール群 ($P = 0.02-0.04$) のいずれの群においても有意に改善した。また、Simao et al. (2012) により、膝 OA を有する中年・高齢者を対象とし、週 3 回、12 週間、WBVT の実践により、炎症バイオマーカー (TNF- α) が有意に改善した。本研究では、WBVT の実践は IL-6 及び H-CRP において有意な改善は見られなかったものの、向上せず教室前と同様な値を維持した (IL-6: 1.19→1.26; H-CRP: 0.070→0.053)。一方、コントロール群も有意差はみとめられなかったものの教室前より高い値が表した (IL-6: 1.54→3.13; H-CRP: 0.060→0.083)。しかし、膝 OA 重症度別検討した結果では、コントロール群のいずれの群 (膝 OA 軽症群及び重症群) において、IL-6 の項目が有意に悪化 (軽症群: 0.76→1.53; 重症群 1.71→4.36) したことが確認された。よって、WBVT は膝 OA の重症度に関わらず安全性の確保、かつ筋力トレーニングの効果が得られると考えられる。

Pennix et al. (2004) によると、膝痛 OA を有する中年・高齢者は IL-6 及び CRP

の値が高いと高いほど、膝 OA が重度であり、身体機能も低下すると報告されている。一方で、WBVT は関節に負担がないため（炎症バイオマーカーの低下）、筋力・筋パワーが効果的に向上し、かつ安全性も確保されていることが先行研究から述べられている（Simao et al., 2012; Mawad, 2015）。以上のことから、本研究の課題の中、膝機能及び膝筋力・筋パワーがコントロール群（自宅運動群）より向上した一つの理由として、炎症バイオマーカーにある Il-6 及び H-CRP の維持が要因となることと言える。

第 5 節 要約

本研究課題では、全身振動トレーニングが関節炎症バイオマーカーに及ぼす影響について検討した。この結果、教室前・後の間に有意な変化は認められなかった。しかし、膝 OA 重症度別検討した結果、Il-6 の項目においてコントロール群が有意に悪化したことが確認された。以上の結果から、WBVT は炎症バイオマーカーの悪化を伴うことなく筋力トレーニングが可能となり、かつ安全性も確保できる筋力トレーニングであると考えられる。

第X章 総合討論

本研究では、膝痛及び膝 OA と関連がある運動器機能の改善を目的とした WBVT プログラムを開発し、そのプログラムが運動器機能に及ぼす効果について明らかにすることを目的におこなわれた。本章では、それらの知見をまとめ、先行研究を交えた討論を行う。

第1節 本研究と先行研究との比較—本研究の新規性—

本博士論文研究の最大の意義は、膝痛を有する日本人中年・高齢者を対象とした WBVT プログラムを開発したことである。本研究の新規性として強調できる点は主として次のとおりである。

第一に、日本人を対象とした膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響と膝 OA の重症度が運動器機能に及ぼす影響を明らかにした。この基礎的調査により膝痛もしくは膝 OA を有する中年・高齢者の運動器機能及び心理機能の向上のため新たな筋力トレーニングの必要性を把握した。第二に、膝 OA の重症度別に WBVT の有効性を検証したこと、第三に、主観的な評価のみならず客観的に評価した膝機能及び骨密度への効果を検討したこと、第四に、関節炎症バイオマーカーにより WBVT が関節の炎症にどのような影響を与えるかを検討したことである。

本博士論文ではまず、膝痛の有無が心身機能に影響を与え、特に膝 OA の重症化により身体機能及び膝筋力・パワーの低下、いわゆる運動器機能の低下がもたらされることが明らかとなった。この結果に基づいて、本博士論文では膝痛を有する中年・高齢者を対象とした運動器機能改善のための WBVT マシンを使用した新しい運動プログラムを作成し、その効果検証を行った。その結果、本プログラムは運動器機能向上及び心理機能の改善に有意な効果があることが明らかとなった。先行研究では、膝痛もしくは膝 OA の中年・高齢者を対象として、膝筋力・筋パワー、かつ主観的膝機能のみ検討されており、本博士論文の研究で初めて客観的膝機能、かつ心理機能にまで範囲を広げた検討がおこなわれ、WBVT は運動器機能のみならず心理機能まで好影響をもたらすことが明らかとなった。

膝痛が発生すると外出頻度の低下によって、社会交流が低下し、それに伴って抑うつ
の危険性のリスクが高くなることが知られている (Altman et al., 1986; Rejeski et
al., 2001; Colbert et al., 2013)。本研究においては、教室前・後の心理機能への調査
で WBVT 群は GDS (老年期抑うつ尺度; スコアが低いほど良好) スコアが低下し、
有意に心理機能が改善したが、コントロール群は GDS スコアが増加し、有意に心理
機能が悪化した。WBVT 実践と心理機能との関連を検討した先行研究はほとんど見
当たらないことから、本研究の結果は WBVT が高齢者の心理機能に及ぼす影響を検
討した貴重な資料になると考えられる。

さらに、本博士論文の研究の特徴として膝 OA の重症度別検討を行ったことが挙げ
られる。これまでに膝 OA の重症度別に筋力トレーニングの有効性を検討した研究は
いくつか報告されているが、その数は多いとは言えない。特にトレーニングとして
WBVT を活用した研究としては、本博士論文が初めてである。先行研究によると筋
力トレーニングは、膝痛もしくは膝 OA を有する者にとって高い効果がもたらすこと
が報告されている (Zhang et al., 2008)。一方で、Patel et al. (2010) によると、膝
OA の重症度別に筋力トレーニングを実践した結果、重度群において手術や薬物併用
などを原因として脱落者が発生したことを報告している。本研究では、膝 OA の重度
群で脱落者が発生しておらず、加えて膝 OA なし群、膝 OA 軽度群と比べ同程度の有
効性が得られたことから、WBVT は膝 OA 重症度に関わらず、継続性に優れるトレ
ーニングプログラムであると考えられる。

続いて、本研究では膝痛を有する高齢者を対象とし、WBVT が骨密度に及ぼす影
響を検討したが、いずれの群においても有意な変化は見られなかった。WBVT 実践
が骨密度に影響を与えるかに関する研究は僅かしか見当たらないが皆無ではない
(Von et al., 2011; Gomez et al., 2014)。しかし、膝痛を有する者を対象とした研究
は本博士論文が初めてとなることから、今後の当分野の研究の発展にとって貴重な基
礎資料となることが期待される。

また、本研究では WBVT の実践が関節炎症に及ぼす影響も検討した。膝痛の原因
として炎症が知られていることから、関節炎症と WBVT の関連性を調査することは
意義のあることと考えられる。身体活動の増加は関節炎症に効果的であることが報告
されている (Kasapis et al., 2005; Petersen et al., 2006; Jung et al., 2008)。しかし、

筋力トレーニングは IL-6 数値を増加（悪化）させるとも報告されている（Nicklas et al., 2008; Starkie et al., 2003）。一方、本研究で WBVT 実践は IL-6 の値を維持し、H-CRP に対しては有意ではないものの改善傾向をもたらしたことが確認された。このような知見は特に関節炎症に起因して膝痛を有する者にとって有益と考えられる。

最後に教室前と教室後の WBVT の印象の変化や、WBVT の参加率について述べる。WBVT は近年注目され始めたばかりの筋力トレーニング方法であり、その存在を知らない者が大多数を占める。実際、本研究の事前説明会を行う際、ほとんどの高齢者が WBVT を知らなかった。しかも WBV マシンの印象について調査したところ最初は平均 4 点（10 点満点）と低値を示した。ところが、教室後には平均 9 点となり、ほとんどの者が「実践してよかった」と回答している。さらに、WBVT の教室参加率も非常に高い値を得ている。教室の安全性のため各教室 10 名を定員として実践したが、すべての教室において 90%以上の高い参加率があり、自宅で運動を行ったコントロール群の運動実践率（71.8%）を上回る結果となった。

以上のことから、本研究では膝痛を有する高齢者を対象として、運動器機能、かつ心理機能まで網羅的な効果を検証した。その結果、今後のさらなる詳細な検討が必要な部分はあるものの、WBVT は膝痛を有する者及び膝 OA の症状が重度である者に対してもある一定の安全性を確保しつつ、運動器機能及び心理機能へも好影響を与えられることが確認された。

第2節 要介護施設ならびに病院等の現場における普及

本邦における 45 歳以上を対象とした運動器の機能に関するコホート研究（吉村, 2009）によると膝 OA、腰椎 OA、骨粗鬆症のうち 1 つ以上の疾患を有している者の割合は男性 84.1%、女性 79.3%である。そのうち中年・高齢女性の約 70%に膝関節の変形がみられ、さらにその半数以上は膝痛を有していると報告されている（Yoshimura et al., 2009）。一方、膝 OA の治療方法として定期的な筋力トレーニングへの取り組みが推奨されている（Practitioners, 2009）。適切な指導の下で行われる筋力トレーニングは、筋力を向上させ、その結果、関節面の安定性の向上や左右脚の不均衡の適切かに作用し、膝 OA の状態を緩和すると報告されている（Thomas et

al., 2002)。しかし、筋力トレーニングは、膝 OA が重度である者に対しての実践は事実上不可能であるとの見方もある。これに対して WBVT は膝に負担をかけず、筋力トレーニングが可能である。特に VV マシンを用いることでトレーニング姿勢の制限を受けず、高速振動するプラットフォーム上で均質に発生する加速度を受けながら、全身の筋力トレーニング、ストレッチ、リラクゼーションの実践が可能である (Merriman et al., 2009)。本博士論文ではこのような背景から、膝痛を有する高齢者に適応できる運動プログラムの作成をおこなった。このことにより、従来型の（能動的に身体を動かす）トレーニングに取り組めなかった者に運動の機会を与え、あるいは従来型のトレーニングでは十分な効果が得られなかった者にも効果が得られることが期待でき、病院や介護老人保健施設、リハビリテーション施設等への普及が可能となり、さらに、要介護化予防や介護度の悪化予防において貢献しうると言える。

第 3 節 今後の課題

1. 対象者の募集に対する課題

本研究の主な対象者は、茨城県つくば市に在住し、運動教室や測定会への参加を自ら希望し、測定会場まで自力で来ることができた、膝痛を有しても比較的症状が軽い中年・高齢者であった。本研究で得られた知見は、膝痛もしくは膝 OA の症状がより重度な者を対象とした場合や、他の地域特性においても当てはまるとは限らない。今後は、病院や介護老人施設などの協力も含め、対象者のカテゴリーをさらに広めた検討が求められる。

2. 骨密度測定に対する課題

骨密度評価に対する今後の課題を以下のようにまとめた。

- ① WBVT の介入期間及び頻度の増加が必要である。少なくとも半年以上の介入期間もしくはより強度を上げる必要があると考えられる。

- ② 骨密度や膝痛（膝 OA）と WBVT 実践効果の関係については、さらに掘り下げたメカニズムにせまる検討が必要と考えられる。
- ③ 本研究に用いられた「骨密度測定機器」は腰椎や大腿骨部位のみしか評価が出来なかったため、今後は下肢部位を中心とした評価も必要であると考えられる。

3. WBVT 群のプログラムとコントロール群のプログラムの設定に対する課題

コントロール群に適用するプログラムは、可能な限り WBVT プログラムと同様なポージングでおこなえるように作成したが、動作により異なる点もある。さらに、WBVT は指導者の指示に従って動くため、姿勢の正確性や安全性、さらに頻度・強度が明確に確保された環境で行える反面、コントロール群は自宅で行うため、姿勢の正確性や安全性も確保されていない状態で実施せざるを得ない。さらに、頻度や強度も個人差があり、個人間で大きく異なる可能性がある。今後は上記の課題を解決しうる方策の検討が必要である。

第XI章 総括

本研究では、膝痛を有する日本人中年・高齢者を対象として WBVT 実践が運動器機能に及ぼす影響を検討するため、以下の検討課題を設定して実施された。

課題I-1: 地域在住高齢者における膝痛の有無が身体機能に及ぼす影響

本課題では、膝痛の有無や痛みの程度が運動器機能に及ぼす影響を検討した。その結果、膝痛の有無は5回椅子立ち上がり時間、5m通常歩行時間、TUGで評価される身体機能と関連することが示唆された。特に、女性に対して5回椅子立ち上がり時間、5m通常歩行時間及びTUGにおいて有意差が認められ、男性よりは女性において膝痛と身体機能との間に有意な関連性が認められた。さらに、GDSの結果はいずれの群においても有意差は認められなかった。

課題I-2: 膝痛を有する中年・高齢者における膝OAの重症度が心身機能に及ぼす影響

本課題では、膝痛を有する中年・高齢者における膝OAの重症度が心身機能に及ぼす影響を検討した。その結果、膝OAの重症度にかかわらず膝痛を有する中年・高齢女性に対し、運動器機能の向上が可能である。すなわち、生活の質の向上が期待される。さらに、下肢機能の維持、及び改善により要介護化、もしくは要支援化予防へのアプローチが可能となることが考えられる。

課題II-1: 全身振動トレーニングが膝痛を有する中年・高齢女性の運動器機能及び心理機能に及ぼす影響

本課題では、WBVTが膝痛を有する中年・高齢女性を対象に、運動器機能にもたらす効果について検討した。その結果、WBVTは膝痛を有する中年・高齢女性の主観的膝機能及び客観的膝機能に有意な効果をもたらすことが示唆された。さらに、膝

関節筋力及び筋パワーの向上が可能であることも確認され、結果的に「膝痛なし」の膝機能と同様のレベルにまで改善できる可能性を見出した。

課題II-2: 膝 OA の重症度別にみた全身振動トレーニングの効果

本研究では膝 OA の重症度別に WBVT の効果を検討した。WBVT を提供することで、膝 OA の重症度にかかわらず膝痛を有する中年・高齢女性に対し、膝機能の回復と心身機能の向上が可能であることがわかった。このことは、以前よりも生活の質が向上することが期待される。よって、WBVT の実践により下肢機能の維持、かつ改善が可能であり、要介護化、もしくは要支援化予防へのアプローチが可能となることが考えられる。

課題II-3: 全身振動トレーニングが膝痛を有する高齢者を対象として骨機能に及ぼす影響

本研究課題では、全身振動トレーニングが骨密度に及ぼす影響を検討した。その結果、いずれの項目においても有意な変化は認められなかった。介入期間及び WBVT の強度を再検討する必要があると考えられる。特に骨機能の効果を検討するためには強度や介入期間の設定が重要であると考えられる。

課題III: 炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニズムに関する検討

本研究課題では、全身振動トレーニングが関節炎症と関連するバイオマーカーに及ぼす影響について検討した。この結果、教室前・後で有意な変化は認められなかったが、WBVT 群の数値は維持もしくは少なくとも悪化することはなかったことから、膝痛を有する高齢者にとってリハビリの一つとして活用が可能であると考えられる。特に病院や介護老人施設などの現場で用いることが有用である。

結 語

本博士論文の目的は、膝痛を有する本邦の中年・高齢者を対象とした WBVT の実践が運動器機能や心理面へいかなる影響を与えるかを明らかにすることであった。本論文で得られた知見は以下の通りである。

1. 膝痛を有する中年・高齢者を対象者とした WBVT 実践は、運動器機能及び心理面に対して好影響を与える。
2. 膝痛を有する中年・高齢者を対象者とした WBVT 実践は、膝 OA の重症度に関わらず好ましい効果を得られる傾向にある。
3. 膝痛を有する高齢者を対象者とした WBVT 実践は、骨密度に有意な影響を与えらるるとは言えない。
4. 膝痛を有する高齢者を対象者とした WBVT 実践は、関節炎症に関連するバイオマーカーに有意な影響を与えらるるとは言えない。

以上の知見を踏まえると、中年・高齢者に全身振動トレーニングプログラムを提供することは、安全性を確保しつつ運動器機能と生活の質を向上することに有用であると結論づけることができる。すなわち、超高齢社会を迎えた本邦において高齢者の要介護化に向けた重要なアプローチの一つとして全身振動トレーニングを提案することができると考えられる。

謝 辞

博士論文を終えるにあたり、7年間にわたって、懇切丁寧なご指導を賜りました筑波大学体育系の大藏倫博准教授に深甚なる謝意を表します。大藏先生からは研究手法に関することをはじめ、研究者としていかに社会貢献すべきであるかなど、言い尽くせぬほど多くの事を学ばせていただきました。さらに、留学生としての辛さもよく理解していただき、学問の指導はもちろん精神面まで支えていただきました。先生にご指導いただいた多大な時間を糧として、これからの研究生活においても努力を重ねていきたいと思いをします。

体育系の西嶋尚彦教授、木塚朝博教授、向井直樹准教授には、ご多用中にも関わらず拙文を精読していただき、熱心なご指導を賜りました。的確なご助言により、論文の質を格段に高められましたことをここに厚く御礼申し上げます。

また、体育系の田中喜代次教授、医学医療系の金森章浩講師には博士前期課程から、本博士論文の作成までご指導をいただきました。ここに一つの研究成果をまとめることができたことは、先生方の励ましとご指導があつてこそのことであると心から感謝申し上げます。

本論文に関わるデータ収集に快くご同意いただきました、「膝痛改善教室」参加者の皆様に厚く御礼申し上げます。

そして、大藏研究室の皆様、特に現在は千葉大学の特任助教と勤務されている、私が大藏研究室に入研した時からお世話になった、辻大士氏には何と御礼を申し上げればよいか言葉もありません。苦楽を共にしてきた皆様との思い出は掛け替えのない一生の財産です。さらに、筑波大学の進学前から現在にわたり温かく見守っていただいた龍仁大学の慎承允教授に深く感謝いたします。

最後に、家族のように私を見守っていただくとともに、精神的弱い私の悩みをいつも聞いて励ましてくれた国立研究開発法人農業環境支援研究所の殷熙洙博士、また、私がここに到るまで経済面と精神面の両面から支えてくれた家族に心から感謝申し上げます。

皆様、本当にありがとうございました。

平成 27 年 12 月 7 日

尹 之恩

文 献

- AAOS (American academy of orthopaedic surgeons) (2003) Clinical Guidelines on Orthopaedic Surgeons. AAOS.
- Abercromby AF, Amonette WE, Layne CS, McFarlin BK, Hinman MR, Paloski WH (2007) Variation in neuromuscular responses during acute whole-body vibration exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 39(9): 1642-1650.
- Akima H, Kano Y, Enomoto Y, Ishizu M, Okada M, Oishi Y, Kuno S (2001) Muscle function in 164 men and women aged 20-84 yr. *Med Sci Sports Exerc* 33(2): 220-226.
- Altman RD (1986) Osteoarthritis. Aggravating factors and therapeutic measures. *Postgrad Med* 80(2): 150-163.
- Alvarez-Barbosa F, del Pozo-Cruz J, del Pozo-Cruz B, Alfonso-Rosa RM, Rogers ME, Zhang Y (2014) Effects of supervised whole body vibration exercise on fall risk factors, functional dependence and health-related quality of life in nursing home residents aged 80+. *Maturitas* 79(4): 456-463.
- Autier P, Haentjens P, Bentin J, Baillon JM, Grivegne AR, Closon MC, Boonen S (2000) Costs induced by hip fractures: a prospective controlled study in Belgium. Belgian Hip Fracture Study Group. *Osteoporos Int* 11(5): 373-380.
- Avelar NC, Simao AP, Tossige-Gomes R, Neves CD, Rocha-Vieira E, Coimbra CC, Lacerda AC (2011) The effect of adding whole-body vibration to squat training on the functional performance and self-report of disease status in elderly patients with knee osteoarthritis: a randomized, controlled clinical study. *J Altern Complement Med* 17(12): 1149-1155.
- Beudart C, Maquet D, Mannarino M, Buckinx F, Demonceau M, Crielaard JM, Bruyere O (2013) Effects of 3 months of short sessions of controlled whole body vibrations on the risk of falls among nursing home residents. *BMC Geriatr* 13: 42.
- Bellamy N, Buchanan WW, Goldsmith CH, Campbell J, Stitt LW (1988) Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring

- clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol*, 15(12): 1833-1840.
- Bobinac D, Spanjol J, Zoricic S, Maric I (2003) Changes in articular cartilage and subchondral bone histomorphometry in osteoarthritic knee joints in humans. *Bone* 32(3): 284-290.
- Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, Claessens AL, Boonen S (2007) Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial. *Gait Posture* 26(2): 309-316.
- Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Tsarpela O, Madella A, Viru A (1999) Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* 19(2): 183-187.
- Brandt KD, Heilman DK, Slemenda C, Katz BP, Mazzuca S, Braunstein EM, Byrd D (2000) A comparison of lower extremity muscle strength, obesity, and depression scores in elderly subjects with knee pain with and without radiographic evidence of knee osteoarthritis. *J Rheumatol* 27(8): 1937-1946.
- Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, Reginster JY (2005) Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(2): 303-307.
- Burnett WD, Kontulainen SA, McLennan CE, Hazel D, Talmo C, Hunter DJ, Johnston JD (2015) Knee osteoarthritis patients with severe nocturnal pain have altered proximal tibial subchondral bone mineral density. *Osteoarthritis Cartilage*.
- 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.
- Cordeiro N, Cortes N, Fernandes O, Diniz A, Pezarat-Correia P (2015) Dynamic knee stability and ballistic knee movement after ACL reconstruction: an application on instep soccer kick. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*,

23(4): 1100-1106.

- Creamer P, Lethbridge-Cejku M, Costa P, Tobin JD, Herbst JH, & Hochberg MC (1999) The relationship of anxiety and depression with self-reported knee pain in the community: data from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Arthritis Care Res*, 12(1): 3-7.
- Creamer P, Lethbridge-Cejku M, Hochberg MC (1999) Determinants of pain severity in knee osteoarthritis: effect of demographic and psychosocial variables using 3 pain measures. *J Rheumatol* 26(8): 1785-1792.
- Croft P, Jordan K, & Jinks C (2005) "Pain elsewhere" and the impact of knee pain in older people. *Arthritis Rheum* 52(8): 2350-2354.
- Dillon CF, Rasch EK, Gu Q, Hirsch R (2006) Prevalence of knee osteoarthritis in the United States: arthritis data from the Third National Health and Nutrition Examination Survey 1991-94. *J Rheumatol* 33(11): 2271-2279.
- Felson DT, Naimark A, Anderson J, Kazis L, Castelli W, Meenan RF (1987) The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum* 30(8): 914-918.
- Fransen M, McConnell S (2008) Exercise for osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database Syst Rev*(4): CD004376.
- Fransen M, McConnell S (2009) Land-based exercise for osteoarthritis of the knee: a metaanalysis of randomized controlled trials. *J Rheumatol* 36(6): 1109-1117.
- Hagiwara A, Ito N, Sawai K, Kazuma K (2008) Validity and reliability of the Physical Activity Scale for the Elderly (PASE) in Japanese elderly people. *Geriatr Gerontol Int* 8(3): 143-151.
- Hannan MT, Anderson JJ, Zhang Y, Levy D, Felson DT (1993) Bone mineral density and knee osteoarthritis in elderly men and women. The Framingham Study. *Arthritis Rheum* 36(12): 1671-1680.
- Hashimoto H, Hanyu T, Sledge CB, Lingard EA (2003) Validation of a Japanese patient-derived outcome scale for assessing total knee arthroplasty: comparison with Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index (WOMAC). *J Orthop Sci* 8(3): 288-293.

- Hejazi J, Mohtadinia J, Kolahi S, Bakhtiyari M, Delpisheh A (2011) Nutritional status of Iranian women with rheumatoid arthritis: an assessment of dietary intake and disease activity. *Womens Health (Lond Engl)* 7(5): 599-605.
- Hirano K, Imagama S, Hasegawa Y, Ito Z, Muramoto A, Ishiguro N (2013) The influence of locomotive syndrome on health-related quality of life in a community-living population. *Mod Rheumatol* 23(5): 939-944.
- Hirano K, Imagama S, Hasegawa Y, Ito Z, Muramoto A, Ishiguro N (2014) Impact of low back pain, knee pain, and timed up-and-go test on quality of life in community-living people. *J Orthop Sci* 19(1): 164-171.
- Hirano K, Imagama S, Hasegawa Y, Wakao N, Muramoto A, Ishiguro N (2012) Impact of spinal imbalance and back muscle strength on locomotive syndrome in community-living elderly people. *J Orthop Sci* 17(5): 532-537.
- 石川浩一郎, 大平卓 (1986) ステロイド懸濁剤関節内投与. *医学のあゆみ* 139: 380-381.
- Iwamoto J, Takeda T, Sato Y, Uzawa M (2005) Effect of whole-body vibration exercise on lumbar bone mineral density, bone turnover, and chronic back pain in post-menopausal osteoporotic women treated with alendronate. *Aging Clin Exp Res* 17(2): 157-163.
- 岩谷力 (2006) 変形性膝関節症の保存的治療ガイドブック (改訂版). 東京: メディカルレビュー社.
- Jadelis K, Miller ME, Ettinger WH, Jr, Messier SP (2001) Strength, balance, and the modifying effects of obesity and knee pain: results from the Observational Arthritis Study in Seniors (oasis). *J Am Geriatr Soc* 49(7): 884-891.
- 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.
- Johnston JD, Kontulainen SA, Masri BA, Wilson DR (2010) A comparison of conventional maximum intensity projection with a new depth-specific topographic mapping technique in the CT analysis of proximal tibial

- subchondral bone density. *Skeletal Radiol* 39(9): 867-876.
- Jordan L, Kligman M, Sculco TP (2007) Total knee arthroplasty in patients with poliomyelitis. *J Arthroplasty* 22(4): 543-548.
- 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.
- Kellgren JH, Lawrence JS (1957) Radiological assessment of osteo-arthrosis. *Ann Rheum Dis* 16(4): 494-502.
- Kim K W, Han JW, Cho HJ, Chang CB, Park JH, Lee JJ, Kim TK (2011) Association between comorbid depression and osteoarthritis symptom severity in patients with knee osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am* 93(6): 556-563.
- 古賀良生 (2008) 変形性必関節症- 病態と保存治療. 東京: 南江堂.
- Lam FM, Lau RW, Chung RC, Pang MY (2012) The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Maturitas* 72(3): 206-213.
- Loeser RF, Jr (2000) Aging and the etiopathogenesis and treatment of osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North Am* 26(3): 547-567.
- Lustosa LP, Maximo Pereira LS, Coelho FM, Pereira DS, Silva JP, Parentoni AN, Domingues Dias JM (2013) Impact of an exercise program on muscular and functional performance and plasma levels of interleukin 6 and soluble receptor tumor necrosis factor in prefrail community-dwelling older women: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 94(4): 660-666.
- Madsen OR, Lauridsen UB (1995) Knee extensor and flexor strength in elderly women after recent hip fracture: assessment by the Cybex 6000 dynamometer of intra-rater inter-test reliability. *Scand J Rehabil Med* 27(4): 219-226.
- Magaziner J, Simonsick EM, Kashner TM, Hebel JR, Kenzora JE (1990) Predictors of functional recovery one year following hospital discharge for

- hip fracture: a prospective study. *J Gerontol* 45(3): M101-107.
- Mawad EM Mohammed and AS (2015) Impact of Whole Body Vibration Versus Aerobic Exercise Training in Modulation of Inflammatory Markers in Elderly. *World Journal of Medical Sciences*: 12.
- 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.
- 宮永真澄, 藤井将彦, 酒井宏和, 森本恵子, 須藤元喜, 仁木佳文, 時光一郎 (2015) 要支援・軽度要介護高齢者における活動量計を活用した歩行支援プログラムの有用性の検討. *体力科学* 64(2): 233-242.
- Moreland JD, Richardson JA, Goldsmith CH, Clase CM (2004) Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 52(7): 1121-1129.
- 村木重之, 阿久根徹, 岡敬之, 吉村典子. (2012). 高齢者における運動機能低下の危険因子及び転倒との関連の解明. *健康医科学研究助成論文集*: 138-147.
- Muraki S, Akune T, Ishimoto Y, Nagata K, Yoshida M, Tanaka S, Yoshimura N (2013) Risk factors for falls in a longitudinal population-based cohort study of Japanese men and women: the ROAD Study. *Bone* 52(1): 516-523.
- Muraki S, Akune T, En-Yo Y, Yoshida M, Suzuki T, Yoshida H, Yoshimura N (2015) Joint space narrowing, body mass index, and knee pain: the ROAD study (OAC1839R1). *Osteoarthritis Cartilage* 23(6): 874-881.
- Nicklas BJ, Hsu FC, Brinkley TJ, Church T, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Pahor M (2008) Exercise training and plasma C-reactive protein and interleukin-6 in elderly people. *J Am Geriatr Soc* 56(11): 2045-2052.
- Ozcetın A, Ataoglu S, Kocer E, Yazıcı S, Yildiz O, Ataoglu A, Icmeli C (2007) Effects of depression and anxiety on quality of life of patients with rheumatoid arthritis, knee osteoarthritis and fibromyalgia syndrome. *West*

- Indian Med J 56(2): 122-129.
- Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Karvonen-Gutierrez C, Sowers MF (2010) Isometric quadriceps strength in women with mild, moderate, and severe knee osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehabil* 89(7): 541-548.
- Patel S, Hossain FS, Paton B, Haddad FS (2010) The effects of a non-operative multimodal programme on osteoarthritis of the knee. *Ann R Coll Surg Engl* 92(6): 467-471.
- Pel JJ, Bagheri J, van Dam LM, van den Berg-Emons HJ, Horemans HL, Stam HJ, van der Steen J (2009) Platform accelerations of three different whole-body vibration devices and the transmission of vertical vibrations to the lower limbs. *Med Eng Phys* 31(8): 937-944.
- Podsiadlo D, Richardson S (1991) The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 39(2): 142-148.
- Pollock RD, Martin FC, Newham DJ (2012) Whole-body vibration in addition to strength and balance exercise for falls-related functional mobility of frail older adults: a single-blind randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 26(10): 915-923.
- Practitioners, The Royal Australian College of General (2009) Guideline for the non-surgical management of hip and knee osteoarthritis.
- Roelants M, Delecluse C, Goris M, Verschueren S (2004) Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med* 25(1): 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.
- 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 C, Turner AS, Muller R, Mitra E, McLeod K, Lin W, Qin YX (2002) Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a

- strongly anabolic, noninvasive mechanical intervention. *J Bone Miner Res* 17(2): 349-357.
- Rupert RL (2000) A survey of practice patterns and the health promotion and prevention attitudes of US chiropractors. Maintenance care: part I. *J Manipulative Physiol Ther* 23(1): 1-9.
- Salaffi F, Ferraccioli G, Peroni M, Carotti M, Bartoli E, Cervini C (1994) Progression of erosion and joint space narrowing scores in rheumatoid arthritis assessed by nonlinear models. *J Rheumatol* 21(9): 1626-1630.
- Saliba D, Solomon D, Rubenstein L, Young R, Schnelle J, Roth C, Wenger N (2005) Quality indicators for the management of medical conditions in nursing home residents. *J Am Med Dir Assoc* 6(3 Suppl): S36-48.
- Salmon JR, Roper JA, Tillman MD (2012) Does acute whole-body vibration training improve the physical performance of people with knee osteoarthritis? *J Strength Cond Res* 26(11): 2983-2989.
- Sasaki E, Ishibashi Y, Tsuda E, Ono A, Yamamoto Y, Inoue R, Nakaji S (2013) Evaluation of locomotive disability using loco-check: a cross-sectional study in the Japanese general population. *J Orthop Sci* 18(1): 121-129.
- Segal NA, Glass NA, Felson DT, Hurley M, Yang M, Nevitt M, Torner JC (2010) Effect of quadriceps strength and proprioception on risk for knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc* 42(11): 2081-2088.
- Segal NA, Glass NA, Shakoor N, Wallace R (2013) Vibration platform training in women at risk for symptomatic knee osteoarthritis. *PM R* 5(3): 201-209.
- Segal NA, Torner JC, Felson D, Niu J, Sharma L, Lewis CE, Nevitt M (2009) Effect of thigh strength on incident radiographic and symptomatic knee osteoarthritis in a longitudinal cohort. *Arthritis Rheum* 61(9): 1210-1217.
- Simao AP, Avelar NC, Tossige-Gomes R, Neves CD, Mendonca VA, Miranda AS., Lacerda AC (2012) Functional performance and inflammatory cytokines after squat exercises and whole-body vibration in elderly individuals with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 93(10): 1692-1700.
- Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, Mazzuca S, Braunstein EM, Katz BP, Wolinsky FD (1997) Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee.

- Ann Intern Med 127(2): 97-104.
- Song QH, Zhang QH, Xu RM, Ma M, Zhao XP, Shen GQ, Wang Y (2014) Effect of Tai-chi exercise on lower limb muscle strength, bone mineral density and balance function of elderly women. *Int J Clin Exp Med* 7(6): 1569-1576.
- Spirduo W W, Cronin DL (2001) Exercise dose-response effects on quality of life and independent living in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 33(6 Suppl): S598-608, discussion S609-510.
- Starkie R, Ostrowski SR, Jauffred S, Febbraio M, Pedersen BK (2003) Exercise and IL-6 infusion inhibit endotoxin-induced TNF-alpha production in humans. *FASEB J* 17(8): 884-886.
- Suetta C, Aagaard P, Magnusson SP, Andersen LL, Sipila S, Rosted A, Kjaer M (2007) Muscle size, neuromuscular activation, and rapid force characteristics in elderly men and women: effects of unilateral long-term disuse due to hip-osteoarthritis. *J Appl Physiol* (1985) 102(3): 942-948.
- Symons TB, Vandervoort AA, Rice CL, Overend TJ, Marsh GD (2005) Reliability of a single-session isokinetic and isometric strength measurement protocol in older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 60(1): 114-119.
- Tankisheva E, Bogaerts A, Boonen S, Feys H, Verschueren S (2014) Effects of intensive whole-body vibration training on muscle strength and balance in adults with chronic stroke: a randomized controlled pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 95(3): 439-446.
- Thomas KS, Muir KR, Doherty M, Jones AC, O'Reilly SC, Bassey EJ (2002) Home based exercise programme for knee pain and knee osteoarthritis: randomised controlled trial. *BMJ* 325(7367): 752.
- Trans T, Aaboe J, Henriksen M, Christensen R, Bliddal H, Lund H (2009) Effect of whole body vibration exercise on muscle strength and proprioception in females with knee osteoarthritis. *Knee* 16(4): 256-261.
- 辻大士, 大藏倫博, 田中喜代治. (2011). 中年・高齢女性の椅子立ち上がり動作時の地面反力と年齢との関連. *日本運動生理学雑誌* 18(1): 21-29.
- 辻大士, 尹智暎, 三ッ石泰大, 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: 211-219.
- 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, Hopsons (2011) アクセラレーションハンドブック-科学, 原理, 効果-. 東京.
- van Nes IJ, Latour H, Schils F, Meijer R, van Kuijk A, Geurts AC (2006) Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial. *Stroke* 37(9): 2331-2335.
- 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.
- Washburn RA, Smith KW, Jette AM, Janney CA (1993) The Physical Activity Scale for the Elderly (PASE): development and evaluation. *J Clin Epidemiol* 46(2): 153-162.
- Wilcock IM, Whatman C, Harris N, Keogh JW (2009) Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *J Strength Cond Res* 23(2): 593-603.
- Yerges-Armstrong LM, Yau MS, Liu Y, Krishnan S, Renner JB, Eaton CB, Jackson RD (2014) Association analysis of BMD-associated SNPs with knee osteoarthritis. *J Bone Miner Res* 29(6): 1373-1379.
- Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Mabuchi A, En-Yo Y, Yoshida M, Akune T (2009) Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J Bone Miner Metab* 27(5): 620-628.
- 吉村典子 (2009) ロコモティブシンドロームの疫学的実態—大規模住民調査 ROAD より—。運動・物理療法 20: 305-310.
- Zhang W, Moskowitz RW, Nuki G, Abramson S, Altman RD, Arden N, Tugwell P (2008) OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, Part II: OARSI evidence-based, expert consensus guidelines.

Osteoarthritis Cartilage 16(2): 137-162.

Zhang W, Nuki G, Moskowitz RW, Abramson S, Altman RD, Arden NK, Tugwell P (2010) OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis: part III: Changes in evidence following systematic cumulative update of research published through January 2009. Osteoarthritis Cartilage 18(4): 476-499.

Zhang Y, Hannan MT, Chaisson CE, McAlindon TE, Evans SR, Aliabadi P, Felson DT (2000) Bone mineral density and risk of incident and progressive radiographic knee osteoarthritis in women: the Framingham Study. J Rheumatol 27(4): 1032-1037.

Zysset PK, Sonny M, Hayes WC (1994) Morphology-mechanical property relations in trabecular bone of the osteoarthritic proximal tibia. J Arthroplasty 9(2): 203-216.

APPENDIX A

日本整形外科学会 日本運動器リハビリテーション学会 日本臨床整形外科学会
疾患特異的・患者立脚型

変形性膝関節症患者機能評価尺度:JKOM (Japanese Knee Osteoarthritis Measure)

この質問表は変形性膝関節症患者さんの膝の痛み、日常生活の状態、
ふだんの生活、健康状態についてお尋ねするものです。
みなさんが感じているままの痛み、しているままの状態について、
最もあてはまる回答肢をえらんで下さい。

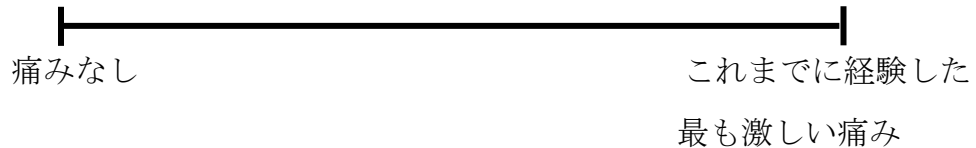
| | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------|
| 医師または治療担当者 の前では記入しないで 下さい。 調査日 | () 年 () 月 () 日 | |
| ID | | |
| 氏名 | 様 | |
| 年齢・性別 | () 歳 | 男 ・ 女 |
| 診断 | | |
| 備考 | | |

お膝の状態についての質問表

I 膝の痛みの程度

次の線は痛みの程度をおたずねするものです。左の端を「痛み無し」、右の端をこれまでに経験した「最も激しい痛み」としたときに、この数日間のあなたの痛みの程度はどのあたりでしょうか。

線の上でこのあたりと思われるところに×印をつけてください。



II 膝の痛みやこわばり

この数日間のあなたの膝の状態についてお聞きします。あてはまる回答を一つ選び、□に✓をつけてください。

1. この数日間、朝、起きて動き出すとき膝がこわばりますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| こわばり はない | 少し こわばる | 中程度 こわばる | かなり こわばる | ひどく こわばる |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2. この数日間、朝、起きて動き出すとき膝が痛みますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 全く痛くない | 少し痛い | 中程度痛い | かなり痛い | ひどく痛い |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

3. この数日間、夜間、睡眠中に膝が痛くて目がさめることがありますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 全くない | たまにある | ときどきある | しばしばある | 毎晩ある |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4. この数日間、平らなところを歩くとき膝が痛みますか。

全く痛くない 少し痛い 中程度痛い かなり痛い ひどく痛い

5. この数日間、階段を昇るときに膝が痛みますか。

全く痛くない 少し痛い 中程度痛い かなり痛い ひどく痛い

6. この数日間、階段を降るときに膝が痛みますか。

全く痛くない 少し痛い 中程度痛い かなり痛い ひどく痛い

7. この数日間、しゃがみこみや立ち上がりのとき膝が痛みますか。

全く痛くない 少し痛い 中程度痛い かなり痛い ひどく痛い

8. この数日間、ずっと立っているとき膝が痛みますか。

全く痛くない 少し痛い 中程度痛い かなり痛い ひどく痛い

Ⅲ 日常生活の状態

この数日間のあなたの日常生活の状態についてお聞きします。

あてはまる回答を一つ選び、に✓をつけてください。

9. この数日間、階段の昇り降りほどの程度困難ですか。

困難はない 少し困難 中程度困難 かなり困難 非常に困難

10. この数日間、しゃがみこみや立ち上がりはどの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

11. この数日間、洋式トイレからの立ち上がりはどの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

12. この数日間、ズボン、スカート、パンツなどの着替えはどの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

13. この数日間、靴下をはいたり脱いだりすることはどの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

14. この数日間、平らなところを休まずにどれくらい歩けますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 30分以上 歩ける | 15分ぐらい 歩ける | 家のまわりを 歩ける程度 | 家の中を歩ける 程度 | ほとんど 歩けない |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

15. この数日間、杖を使っていますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 全く使わない | たまに使う | ときどき使う | しばしば使う | 必ず使う |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

16. この数日間、日用品などの買い物はどの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

17. この数日間、簡単な家事（食卓の後かたづけや部屋の整理など）は
どの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

18. この数日間、負担のかかる家事（掃除機の使用、布団の上げ下ろしなど）はどの程度困難ですか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

IV ふだんの活動など

この1か月、あなたのふだんしていることや外出などについてお聞きします。あてはまる回答を一つ選び、に✓をつけてください。

19. この1か月、催し物やデパートなどへ行きましたか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 週に2、3回 以上行った | 週に1回程度 行った | 2週に1回 程度 行った | 月に1回 行った | 全く 行かなかった |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

20. この1か月、膝の痛みのため、ふだんしていること（おけいごと、お友達とのつきあいなど）が困難でしたか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 困難はない | 少し困難 | 中程度困難 | かなり困難 | 非常に困難 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

21. この1か月、膝の痛みのため、ふだんしていること（おけいごと、お友達とのつきあいなど）を制限しましたか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 制限 しなかった | 少し制限した | 半分ほど 制限した | かなり制限した | 全くやめていた |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

22. この1か月、膝の痛みのため、近所への外出をあきらめたことがありますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ない | 1～2回あった | 数回あった | よくあった | ほとんど あきらめていた |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

23. この1か月、膝の痛みのため、遠くへの外出をあきらめたことがありますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ない | 1～2回あった | 数回あった | よくあった | ほとんど あきらめていた |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

V 健康状態について

この1か月のあなたの健康状態についてお聞きします。あてはまる回答を一つ選び、に✓をつけてください

24. この1か月、ご自分の健康状態は人並みに良いと思いますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 全くそう思う | そう思う | 良いとも悪いとも 言えない | そう思わない | 全然 そう思わない |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

25. この1か月、お膝の状態はあなたの健康状態に悪く影響していると思いますか。

| | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 全く影響はない と思う | 少し悪い影響 があると思う | 中程度悪い影響が あると思う | かなり悪い 影響がある と思う | ひどく悪い影響 があると思う |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

ご記入もれがないか、もう一度ご確認下さい。

JKOM 採点表

I 「痛みの程度」は、直線上の左端から×印までの距離をミリメートル単位で計測して下さい。直線の長さは印刷により10cmに一致しないことがあります。その場合には、左端から右端までの距離を計測して補正して下さい。

II、III、IV、V 設問1から25までの各質問項目について、最も軽症の選択肢を0、最も重症の選択肢4とし、中間の選択肢には症状の重症度に応じてそれぞれ1、2、3の数値をあてはめます。

✓がつけられた選択肢に該当する数値の総点を計算して下さい。

APPENDIX B

膝のいたみ・こわばりに関するアンケート

日常生活の痛みの質問

過去2日間（48時間）以内で、あなたの膝の関節症による痛みがどの程度であったかを考えて、その程度を記入してください。

次の行動をする時、どの程度の痛みですか。

1. 平らなところを歩く

痛みがない 少しの痛み 中程度の痛み かなり強い痛み 極度の痛み

2. 階段の昇り降り

痛みがない 少しの痛み 中程度の痛み かなり強い痛み 極度の痛み

3. 夜寝るとき、つまり睡眠を妨げる痛み

痛みがない 少しの痛み 中程度の痛み かなり強い痛み 極度の痛み

4. 椅子に座ったり、横になったり

痛みがない 少しの痛み 中程度の痛み かなり強い痛み 極度の痛み

5. まっすぐ立つ

痛みがない 少しの痛み 中程度の痛み かなり強い痛み 極度の痛み

こわばりの質問

過去2日間（48時間）以内で、あなたの膝の関節症によるこわばり（痛みではありません）がどの程度であったかを考えて、その程度を記入してください。
こわばりは、関節が硬くなり動きが低下した時の感覚です。

6. 朝、最初に目覚めた時、どの程度のこわばりがありますか。

ない 少しある 中程度ある かなりある 極度にある

7. 日中、椅子に座ったり、横になったり、休憩をした後にどの程度のこわばりがありますか。

ない 少しある 中程度ある かなりある 極度にある

日常行動の困難度の質問

次の行動をするとき、どの程度困難ですか

| | 困難は ない | 少し 困難 | 中程度 困難 | かなり 困難 | 極度に 困難 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 8. 階段を降りる | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. 階段を昇る | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. 椅子から立ち上がる | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. 立っている | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. 身をかがめて、床に落ちたものを 拾う | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. 平らなところを歩く | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. 車の乗り降り、バスの乗り降り | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. 買い物に行く | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. 靴下またはストッキングを履く | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. ベッドから起き上がる | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. 靴下またはストッキングを脱ぐ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. ベッドに横たわっている | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. 浴槽に入る、または出る | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21. 椅子に座る | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22. 洋式トイレを使う | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 23. 困難な家事を行う(例えば、床を 拭く、重い物を運ぶ) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 24. 簡単な家事を行う(例えば、身の 回りの整理や食卓の片づけなど) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

APPENDIX C

表 1 日本整形外科学会変形性膝関節症治療成績判定基準 (JOA score)

| | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|--------|---|--------------|----|--------|---|-------------|---|--|
| 術前・術後 病院名： _____ 記入者氏名： _____ 記入年月日： ____年 ____月 ____日 | | | | | | | | | | | |
| カルテ番号： ____ 患者氏名： _____ 手術名： _____ 手術年月日： ____年 ____月 ____日 | | | | | | | | | | | |
| 性別：男・女 年齢： ____歳 体重： ____kg 住所： _____ TEL： _____ | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 右 | 左 | 特記事項 | | | | |
| 疼痛・歩行能 | 1 km以上歩行可、通常疼痛ないが、動作時たまに疼痛あってもよい | | | | | 30 | 30 | | | | |
| | 1 km以上歩行可、疼痛あり | | | | | 25 | 25 | | | | |
| | 500 m以上、1 km未満の歩行可、疼痛あり | | | | | 20 | 20 | | | | |
| | 100 m以上、500 m未満の歩行可、疼痛あり | | | | | 15 | 15 | | | | |
| | 室内歩行、または100 m未満の歩行可、疼痛あり | | | | | 10 | 10 | | | | |
| | 歩行不能 起立不能 | | | | | 5 | 5 | | | | |
| 疼痛・階段昇降能 | 昇降自由・疼痛なし | | | | | 25 | 25 | | | | |
| | 昇降自由・疼痛あり、手すりを使い・疼痛なし | | | | | 20 | 20 | | | | |
| | 手すりを使い・疼痛あり、一歩一歩・疼痛なし | | | | | 15 | 15 | | | | |
| | 一歩一歩・疼痛あり、手すりを使い一歩一歩・疼痛なし | | | | | 10 | 10 | | | | |
| 屈曲・角度および強直・高度拘縮 | 正座可能な可動域 | | | | | 35 | 35 | | | | |
| | 横座わり・胡座可能な可動域 | | | | | 30 | 30 | | | | |
| | 110°以上屈曲可能 | | | | | 25 | 25 | | | | |
| | 75° " | | | | | 20 | 20 | | | | |
| 腫脹 | 35°未満の屈曲、または強直、高度拘縮 | | | | | 10 | 10 | | | | |
| | 水腫・腫脹なし | | | | | 5 | 5 | | | | |
| | 時に穿刺必要 頻回に穿刺必要 | | | | | 0 | 0 | | | | |
| 総計 | | | | | | | | | | | |
| 患者の満足度 | とてもよかった | 右 | よかった | 右 | よかった | 右 | わからない | 右 | やらないほうがよかった | 右 | |
| | | 左 | 人にすすめる | 左 | 人にすすめるほどではない | 左 | | 左 | | 左 | |
| | X線像 | | | | | | 右 | | 左 | | |
| | | | | | | | 立位 FTA | | | | |
| | | | | | | | 臥位 FTA | | | | |
| | | | | | | | 関節裂隙 | | 狭小, 消失 | | |
| | | | | | 骨 棘 | | | | | | |
| | | | | | 骨 硬化 | | | | | | |
| | | | | | 亜脱臼 | | | | | | |
| | | | | | 骨 欠損 | | | | | | |
| 患者の印象 | | | | | | | | | | | |

(腰野富久ほか：日本整形外科学会膝疾患治療成績判定基準、日整会誌66：1212-1219、1992)

APPENDIX D

Change in physical performance measurement in WBVT group (based on WOMAC score)

| | | Group with improved n = 17 | | | | | Group with no changed or declined n = 12 | | | | | <i>P</i> [‡] | | |
|--|------|-------------------------------|----|--------------------|----|-----------------------|---|--------------------|----|--------------------|----|-----------------------|-----------------------|--------------|
| | | Pre-test | | Post-test | | <i>P</i> [†] | Δ (post-pre) | Pre-test | | Post-test | | | <i>P</i> [†] | Δ (post-pre) |
| | | Mean | SD | Mean | SD | | | Mean | SD | Mean | SD | | | |
| Physical performance | | | | | | | | | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | sec. | 7.13 ± 1.37 | | 5.64 ± 1.24 | | < 0.01 | -1.49 | 6.44 ± 1.35 | | 5.42 ± 1.45 | | 0.02 | -1.02 | 0.28 |
| 5-m habitual walk | sec. | 3.76 ± 0.44 | | 3.68 ± 0.48 | | 0.49 | -0.08 | 3.45 ± 0.48 | | 3.46 ± 0.65 | | 0.04 | 0.01 | 0.19 |
| Timed up and go | sec. | 5.98 ± 0.67 | | 5.25 ± 0.71 | | < 0.01 | -0.73 | 5.42 ± 0.63 | | 4.87 ± 0.54 | | < 0.01 | -0.55 | 0.52 |
| Standing time from a long sitting position | sec. | 2.94 ± 0.85 | | 2.18 ± 0.60 | | < 0.01 | -0.76 | 2.59 ± 0.72 | | 2.24 ± 0.57 | | < 0.01 | -0.35 | 0.09 |
| Sit and reach | cm | 36.6 ± 6.6 | | 46.1 ± 8.7 | | < 0.01 | 9.5 | 33.8 ± 9.1 | | 43.4 ± 10.6 | | < 0.01 | 9.6 | 0.93 |
| Functional reach | cm | 30.4 ± 4.0 | | 31.7 ± 4.4 | | 0.20 | 1.3 | 33.3 ± 6.0 | | 34.3 ± 4.7 | | 0.42 | 1.0 | 0.92 |
| One-leg balance with eyes open | sec. | 53.6 ± 12.5 | | 48.2 ± 18.8 | | 0.15 | -5.4 | 53.3 ± 9.3 | | 54.5 ± 14.2 | | 0.79 | 1.2 | 0.26 |
| 4-way choice reaction time | ms | 1051 ± 102 | | 1017 ± 108 | | 0.04 | -34 | 997 ± 107 | | 958 ± 101 | | < 0.01 | -39 | 0.79 |

† *P* value from paired *T*-test, ‡ *P* value from Student's *T*-test.

WBVT: whole-body vibration training.

WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, A lower score equals to less symptoms.

APPENDIX E


Appendix E. A examination of the effects of WBVT on the degree of knee pain (Only WBVT group)

| | Normal (K-L = 0) (n = 6) | | Doubtful (K-L = I) (n = 16) | | Severe (K-L ≥ II) (n = 7) | |
|--|-----------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | | Δ (post-pre) | |
| | P-value | cohen's d | P-value | cohen's d | P-value† | cohen's d |
| Self-reported knee function (JKOM) | | | | | | |
| Total | ⊙ | 1.91 | ⊙ | 0.57 | ⊙ | 0.14 |
| Degree of Pain-visual analogue | × | 0.63 | × | 0.15 | × | 0.02 |
| Pain and stiffness in knees | ⊙ | 1.89 | ⊙ | 0.38 | ⊙ | 0.22 |
| Condition in daily life | ⊙ | 1.51 | ⊙ | 0.06 | × | 0.02 |
| General activities | × | 0.65 | ⊙ | 0.05 | ⊙ | 0.33 |
| Health condition | × | 0.97 | × | 0.02 | × | 0.00 |
| Self-reported knee function (WOMAC) | | | | | | |
| Total | × | 1.12 | × | 0.23 | × | 0.15 |
| Pain subscale | ⊙ | 1.11 | ⊙ | 0.16 | × | 0.04 |
| Stiffness subscale | × | 0.50 | ⊙ | 0.14 | ⊙ | 0.20 |
| Physical function | × | 0.98 | × | 0.30 | × | 0.19 |
| Clinical knee function (JOA) | | | | | | |
| Total | × | 1.85 | × | 0.99 | × | -0.13 |
| Pain on walking | × | 1.12 | × | 0.60 | × | 0.30 |
| Pain on ascending or descending | × | 1.09 | × | 0.89 | × | 0.00 |
| Range of motions | ⊙ | 1.12 | ⊙ | 0.63 | × | 0.02 |
| Joint effusion | × | 2.27 | ⊙ | 0.30 | × | 0.10 |
| Physical performance | | | | | | |
| 5-times sit-to-stand | ⊙ | 0.60 | ⊙ | 0.91 | ⊙ | 0.32 |
| 5-m habitual walk | × | 0.07 | × | 0.65 | × | 0.11 |
| Timed up and go | ⊙ | 1.06 | ⊙ | -0.44 | ⊙ | 0.65 |
| Standing time from a long sitting position | ⊙ | 1.13 | ⊙ | 0.81 | × | 0.50 |
| Sit and reach | × | 1.15 | ⊙ | 1.26 | ⊙ | 1.20 |
| Functional reach | × | 0.61 | × | 0.14 | × | 0.20 |
| One-leg balance with eyes open | × | -0.20 | × | -0.21 | × | -0.36 |
| 4-way choice reaction time | ⊙ | 0.33 | ⊙ | 0.52 | ⊙ | 0.51 |
| Knee strength and power | | | | | | |
| Isometric extension peak torque | ⊙ | 0.91 | ⊙ | 0.63 | ⊙ | 0.21 |
| Isokinetic extension peak torque | ⊙ | 0.62 | × | 0.08 | × | 0.07 |
| Isokinetic extension average power | ⊙ | 0.94 | ⊙ | 0.30 | ⊙ | 0.42 |
| Isokinetic flexion peak torque | ⊙ | 1.13 | ⊙ | 0.52 | ⊙ | 0.43 |
| Isokinetic flexion peak torque | ⊙ | 1.18 | ⊙ | 0.63 | ⊙ | 0.48 |
| Physical activity (PASE) | | | | | | |
| Total | ⊙ | 0.05 | ⊙ | 0.04 | ⊙ | 0.73 |
| Leisure times | × | 0.76 | × | 0.60 | × | 1.02 |
| Household | × | 0.07 | × | 0.22 | × | 0.31 |
| Occupational | × | 0.03 | × | 0.13 | ⊙ | 0.39 |
| Mental state (GDS) | | | | | | |
| Total | × | 0.32 | ⊙ | 0.22 | ⊙ | 0.18 |

⊙: P value, ×: no P value

K-L: Kellgren and Lawrence grade

APPENDIX F

| | | | | | | |
|----------------------------|--|--|---|--|---|---|
| Warm-up |  |  |  |  |  |  |
| | W1. Hamstring stretch | W2. Calf stretch | W3. Side stretch | W4. Quadriceps stretch | W5. Back relaxer | W6. Hip stretch |
| Resistance training |  |  |  |  |  |  |
| | R1. Squat | R2. Calves | R3. Sit-up | R4. Up and down | R5. Pelvic bridge | R6. Front lunge |
| Muscles Targeted | Femoral muscles | Calves | Abdominals | Upper Arms, Shoulders, femoral muscles | Femoral muscles, Glutes and Back | Femoral muscles, Glutes, Popliteus |
| Cool-down |  |  |  |  | | |
| | C1. Calf massage | C2. Hamstring massage | C3. Quadriceps massage | C4. Back massage | | |

Whole-body vibration training position of each exercise

平成 27 年度 12 月 25 日（金）

「学位論文」本審査会の発表資料

主指導教員：大藏 倫博 准教授

副指導教員：西嶋 尚彦 教授

副指導教員：木塚 朝博 教授

副指導教員：向井 直樹 准教授

慢性膝痛を有する中年・高齢者の運動器機能に 対する全身振動トレーニングの効果

主指導教員:大藏 倫博 准教授

副指導教員:西嶋 尚彦 教授

副指導教員:木塚 朝博 教授

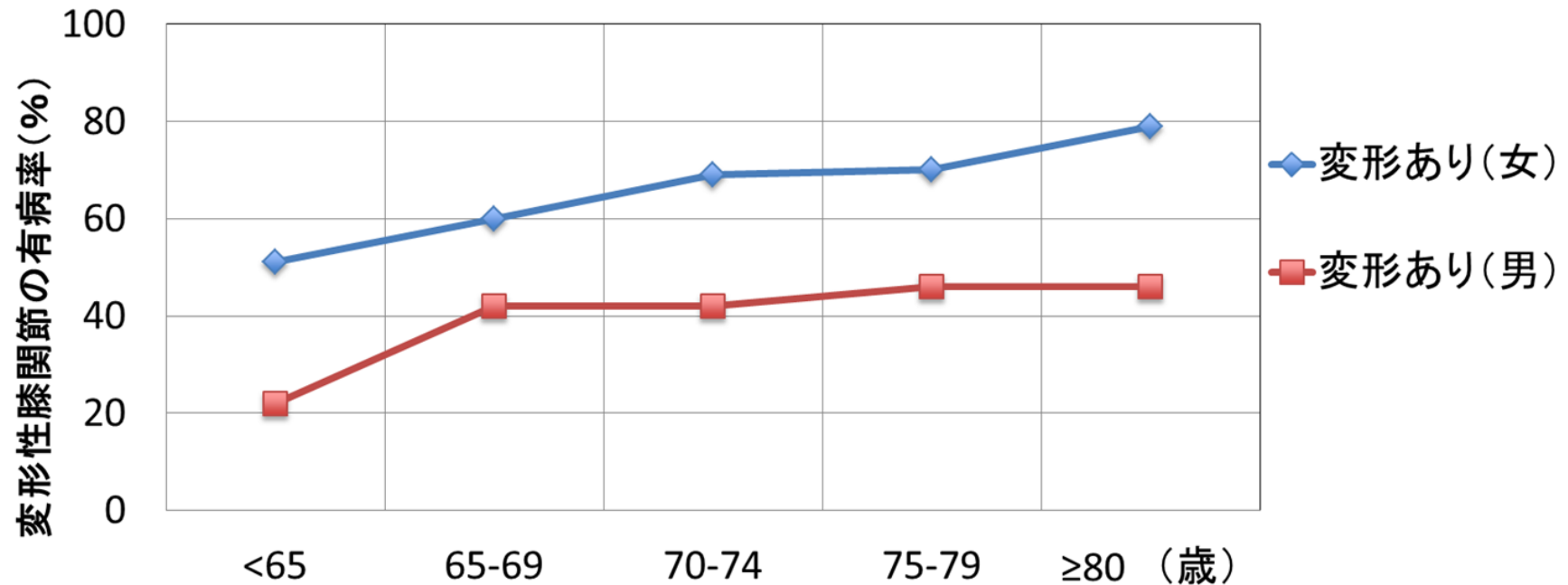
副指導教員:向井 直樹 准教授

筑波大学大学院博士後期課程人間総合科学研究科体育科学専攻

201330497 尹之恩

日本の変形性膝関節症の有病率

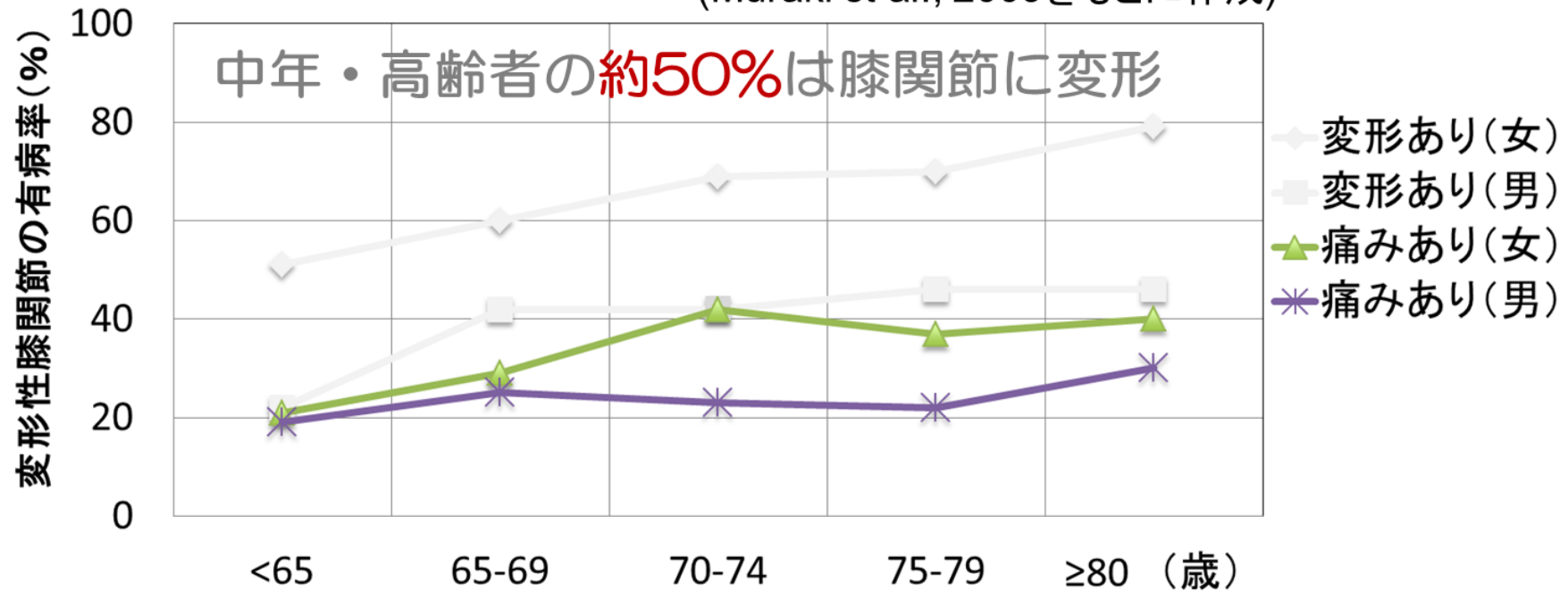
(Muraki et al., 2009をもとに作成)



日本の中年・高齢者（特に女性）の約50%は膝関節に変形あり。

日本の変形性膝関節症の有病率

(Muraki et al., 2009をもとに作成)



半数は痛みを有している。

慢性膝痛が日常生活に及ぼす影響

移動・起居動作など・・・
日常生活動作の円滑な遂行を妨げる

(Altman et al., 1986;
Guccione et al., 1994)



身体機能の問題

余暇活動や地域活動が減少することで、
社会活動面へも悪影響を及ぼす

(Altman et al., 1986;
Rejeski et al., 2001;
Colbert et al., 2013)



社会活動の問題

膝痛により外出頻度や活動量が低下することで、
心理面へも悪影響を及ぼす

(Salaffi et al., 1986;
Brand et al., 2013)



メンタルヘルスの問題

慢性膝痛が日常生活に及ぼす影響

- ✓ 身体機能の問題
 - ✓ 社会活動の問題
 - ✓ メンタルヘルスの問題



World Health
Organization

生活機能を悪化させる
生活機能症として定義

(World health organization, 2001)

薬物治療 + 非薬物治療

国際関節学会議 (Osteoarthritis Research Society International: OARIS)

(Zhang et al., 2008)

膝痛への治療法

薬物治療

消化管障害などの副作用の危険性

非薬物治療

薬物治療と同程度の効果が期待

国際関節学会議 (Osteoarthritis Research Society International: OARIS)

(Zhang et al., 2008)

- アメリカ整形外科学会では
4週間の非ステロイド性抗炎症薬 (NSAIDs) 投与により
効果が見られない場合に、筋力トレーニングを推奨

(Clinical Guideline on Osteoarthritis of the knee, 2003)

- アメリカリウマチ協会では、
非薬物治療として筋力トレーニングを推奨

(Hochberg et al., 1995)

膝痛への治療法

薬物治療

消化管障害などの副作用の危険性

非薬物治療

薬物治療と同程度の効果が期待

国際関節学会議 (Osteoarthritis Research Society International: OARIS)

(Zhang et al., 2008)

膝痛を有する人に対する

非薬物治療法として、

筋力トレーニングは

膝痛緩和・関節機能向上

新たな筋カトレーニング方法

全身振動マシン

Rotational vibration (RVマシン)

上下振動のみ



Vertical vibration (VVマシン)

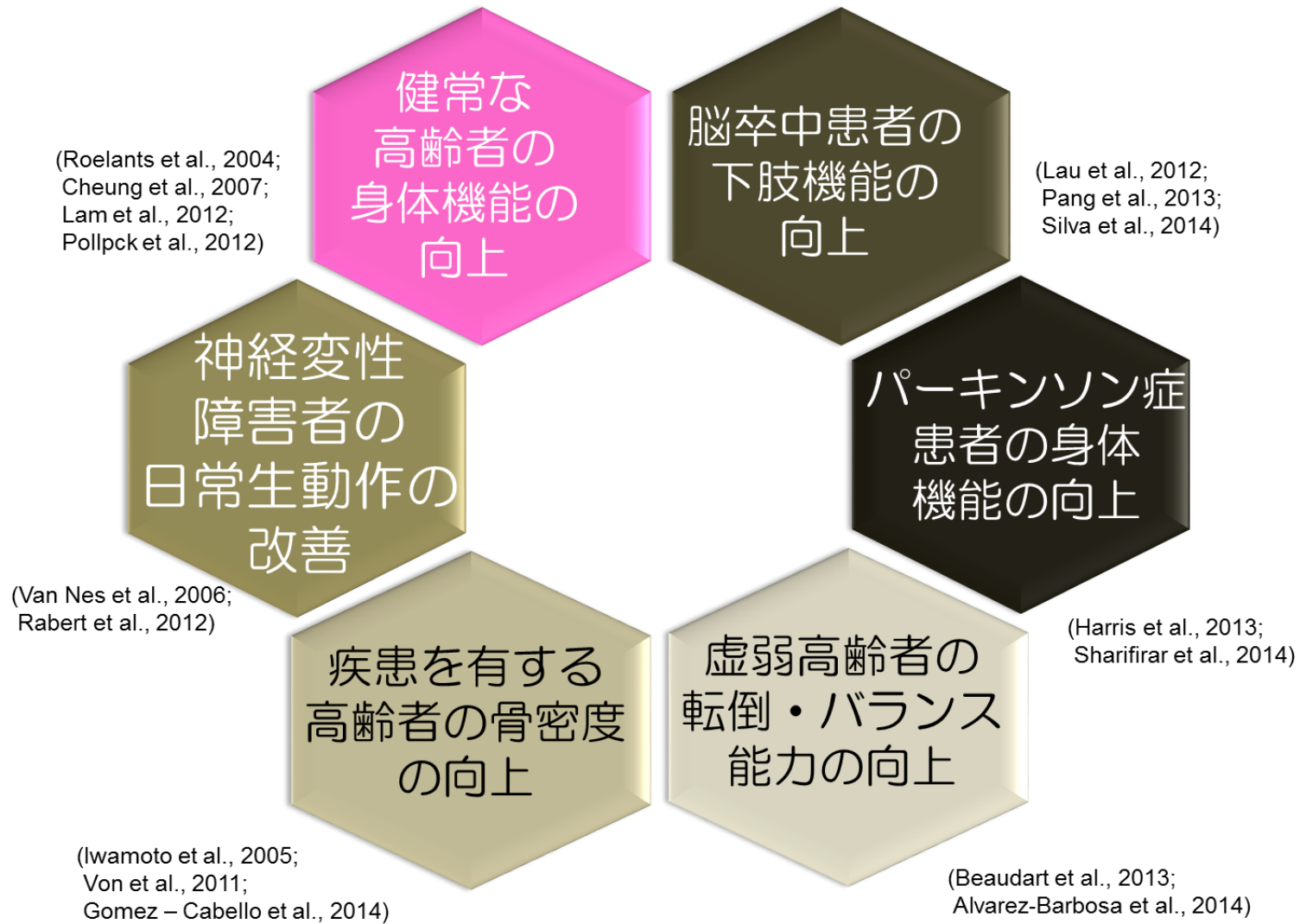
XYZ軸3次元振動



- 動作遂行の制限
⇒ 効果部位制限
- 時間設定の制限
⇒ 単時間のみ可能
- 頭部への振動負担が大きい

- 動作遂行の多様性
⇒ 広範囲の効果
- 時間設定の多様性
⇒ 単・長時間可能
- 頭部への振動負担が少ない

全身振動トレーニング(WBVT)の先行研究



VVマシンを用いた全身振動(加速度)トレーニング

ダンベルやウェイトマシンを使用したトレーニング

体重+負荷

$$\text{力 (F)} = \text{質量(m)} \times \text{加速度(a)}$$



加速度トレーニング

重力加速度+
振動による加速度

体重

$$\text{力 (F)} = \text{質量(m)} \times \text{加速度(a)}$$



VVマシンを用いた全身振動(加速度)トレーニング

特徴

- ✓ 負荷は不要
(=自体重で十分)
- ✓ 傷害発生の危険性が低い

(Edward et al., 2009; Serravite et al., 2009)

加速度トレーニング

重力加速度+
振動による加速度

体重

力 (F) = 質量(m) × 加速度(a)



身体的虚弱者や有患者にも
適したトレーニング法

膝痛を有する中年・高齢者を対象としたWBVTの有効性


| | WBVTの有効性 |
|-----------|--|
| RV マシン | 変形性膝関節症(膝OA)にWBVTを実践(8週間/週2回) → <u>筋力およびバランス能力(2.8%)が向上</u> (Trans et al., 2009) 膝OAの高齢者にWBVTを実践(12週間/週3回) → <u>等速性膝伸展筋力(2.2%), レッグプレスパワー(8.8%), 階段昇降能力(12.8%)が向上</u> (Avelar et al., 2011) |
| VV マシン | 膝痛の中年・高齢者にWBVTを実践 → <u>筋パワーが9.0%, 階段昇降能力が14.1%向上</u> (Segal et al., 2012) |



RVマシン及びVVマシンによる
WBVTの有効性は認められている

全身振動マシンの比較

| | 比較点 |
|-----------|---|
| RV マシン | <ul style="list-style-type: none">• 動作遂行の制限 ⇒ 効果部位制限• 時間設定の制限 ⇒ 単時間のみ可能• 頭部への振動負担が大きい |
| VV マシン | <ul style="list-style-type: none">• 動作遂行の多様性 ⇒ 広範囲の効果• 時間設定の多様性 ⇒ 単・長時間可能• 頭部への振動負担が少ない |

 近年、RVマシンからVVマシンへ移行傾向
さらに、

VVマシンを用い、膝痛を有する中年・高齢者を対象にWBVTを実施した **研究事例がない。**

研究の目的

1. 膝痛の有無および膝OAの重症度が運動器機能に及ぼす影響を検討する。
2. 膝痛および膝OAと関連がある運動器機能の改善を目的としたWBVTプログラムを作成し、その後、WBVTプログラムを実践することで得られる運動器機能に対する効果について明らかにする。
3. 炎症バイオマーカー検査を用いることで、WBVTプログラムが運動器機能に及ぼす影響について検討する。

課題の設定

中・高齢者の運動器機能の
実態調査

全身振動トレーニング実践の効果検証

課題I

I-1
地域在住高齢者における膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響

I-2
膝痛を有する中年・高齢者における膝OAの重症度が運動器機能および心理機能に及ぼす影響



課題II

膝痛を有する中年・高齢者を対象とし全身振動トレーニングの有効性の検討

II-1
運動器機能および心理機能に及ぼす影響

II-2
膝OAの重症度別にみた全身振動トレーニングの効果

II-3
骨密度に及ぼす影響



課題III

III
炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニズムに関する検討



課題 I-1 の対象者

中・高齢者の運動器機能の
実態調査

課題 I

I-1

地域在住高齢者における
膝痛の有無が心身機能に及
ぼす影響

平成26年
茨城県笠間市でおこなった
「笠間長寿健診」に参加した高齢者 198名

除外者

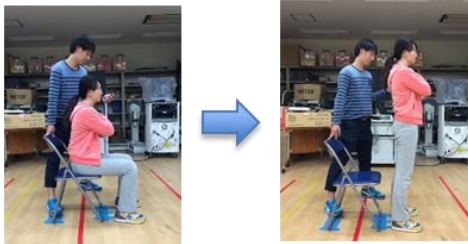
膝痛以外、複数の痛みを
有する高齢者 40名

分析対象者 158名
(男: 90名, 女: 68名)

身体機能の評価

● 身体パフォーマンステスト（4項目）

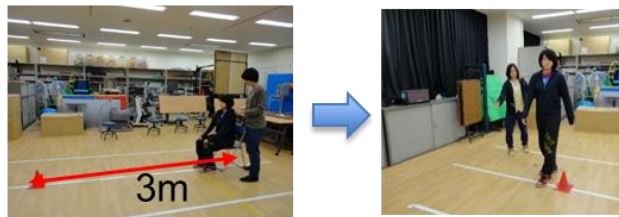
✓ 5回椅子立ち上がり時間



✓ 5m通常歩行時間



✓ Timed up and go



✓ 開眼片足立ち時間

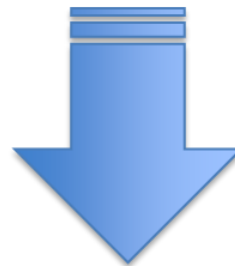


対象者の特徴

| | | 全体 | | | 男性 | | | 女性 | | | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------|-------------------|------|-------------------|-------------|-------------------|----|-------------------|----------|
| | | 痛みあり群 (n = 24) | | 痛みなし群 (n = 134) | P-value* | 痛みあり群 (n = 11) | | 痛みなし群 (n = 79) | P-value* | 痛みあり群 (n = 13) | | 痛みなし群 (n = 55) | P-value* |
| | | Mean | SD | Mean | | SD | Mean | SD | | Mean | SD | Mean | |
| 年齢 | 歳 | 78.1 ± 5.5 | 75.4 ± 4.5 | 0.18 | 78.5 ± 5.8 | 75.8 ± 4.8 | 0.19 | 77.7 ± 5.5 | 74.6 ± 3.8 | 0.07 | | | |
| 身長 | cm | 155.5 ± 11.1 | 157.2 ± 8.5 | 0.36 | 165.0 ± 7.4 | 162.8 ± 5.7 | 0.40 | 147.5 ± 6.0 | 149.2 ± 4.5 | 0.36 | | | |
| 体重 | kg | 57.9 ± 11.7 | 56.6 ± 9.0 | 0.48 | 66.9 ± 9.7 | 61.2 ± 8.1 | 0.09 | 50.2 ± 2.6 | 50.0 ± 5.5 | 0.91 | | | |
| Body mass index | kg/m ² | 24.5 ± 2.5 | 23.1 ± 2.6 | 0.11 | 24.9 ± 2.3 | 23.8 ± 2.8 | 0.30 | 23.0 ± 2.6 | 22.5 ± 2.5 | 0.47 | | | |
| 両膝に痛みを有する割合 | n (%) | 10 (41.7%) | - | - | 5 (45.5%) | - | - | 5 (38.5%) | - | - | | | |

SD: standard deviation

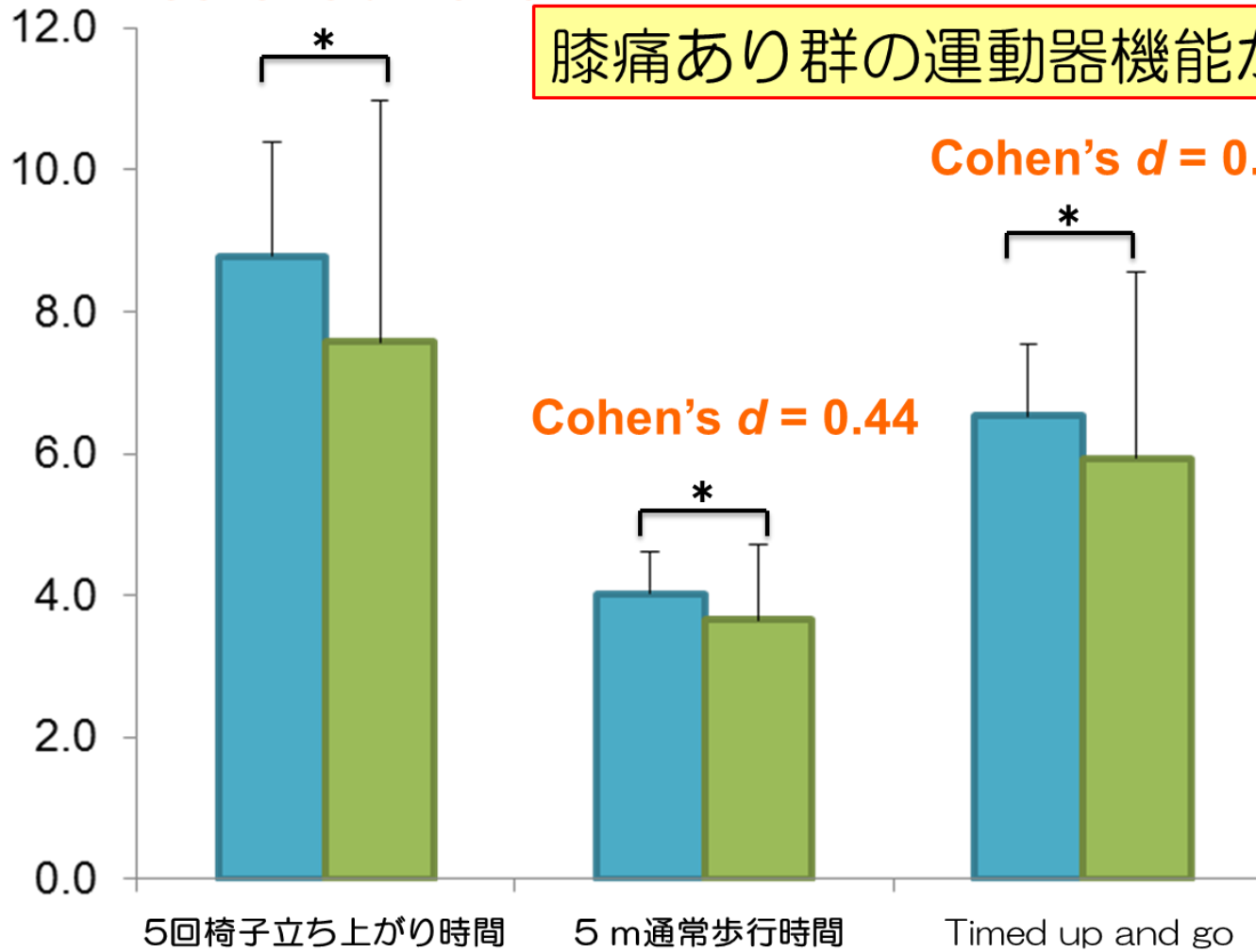
* P value from student's t-test, P < 0.05



群間に、有意差は認められなかった。

(Sec.) **Cohen's $d = 0.46$**

*** $P < 0.05$**



膝痛あり群の運動器機能が低かった。

■ 膝痛あり群
■ 膝痛なし群

課題 I - 2の対象者

平成24, 26年 地域情報誌により募集

中・高齢者の運動器機能の
実態調査

除外者
46名

理由: 説明会不参加, 週3回運動教室参加が困難,
膝痛により定期的通院, ペースメーカー使用, 急性
疾患を有する, 重症糖尿病, 自立的歩行が困難

課題 I

I-2
膝痛を有する中年・高
齢者における膝OAの
重症度が運動器機能に
及ぼす影響

平成24年1月から3月
膝痛改善運動教室の

参加女性29名

(平均年齢: 62.1 ± 5.5歳)

平成26年7月から12月
膝痛改善運動教室の

参加者52名

(平均年齢: 71.2 ± 5.5歳)

教室開始前のベースライン測定データ

*K-L: Kellgren & Lawrence grade

膝OAなし群
(*K-L = 0, 6名)

膝OA軽度群
(*K-L = I, 34名)

膝OA重度群
(*K-L ≥ II, 41名)

運動器機能評価

- 身体パフォーマンステスト (4項目)

①5回椅子立ち上がり, ②5m通常歩行時間,
③Timed up and go, ④開眼片足立ち時間



課題 I -1 と同様

- 筋力・筋パワー



対象者の特徴

| | | 全体 (n = 81) | 膝OAなし群 (K-L = 0) (n = 6) | 膝OA中度群 (K-L = I) (n = 34) | 膝OA重度群 (K-L ≤ II) (n = 41) | P value* |
|-----------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| | | Mean SD | Mean SD | Mean SD | Mean SD | |
| 年齢 | 歳 | 67.8 ± 6.6 | 62.0 ± 4.4 | 66.3 ± 6.6 | 70.0 ± 6.1 | < 0.01 |
| 身長 | cm | 155.8 ± 8.2 | 153.6 ± 8.2 | 157.1 ± 7.3 | 155.1 ± 8.8 | 0.45 |
| 体重 | kg | 58.5 ± 11.1 | 49.5 ± 1.7 | 57.2 ± 11.4 | 60.8 ± 11.0 | 0.04 |
| Body mass index | kg/m ² | 24.1 ± 3.4 | 21.5 ± 2.6 | 26.3 ± 3.7 | 25.3 ± 2.9 | < 0.01 |
| 性別割合 (男 : 女) | n (%) | 15 : 66 (18.5%) : (81.5%) | 1 : 5 (17.5%) : (82.5%) | 6 : 28 (27.3%) : (72.7%) | 8 : 33 (16.7%) : (83.3%) | 0.97 ^a |
| 両膝に痛みを有する割合 | n (%) | 31 (38.3%) | 4 (79.4%) | 11 (18.2%) | 16 (46.7%) | 0.28 ^a |

SD: standard deviation

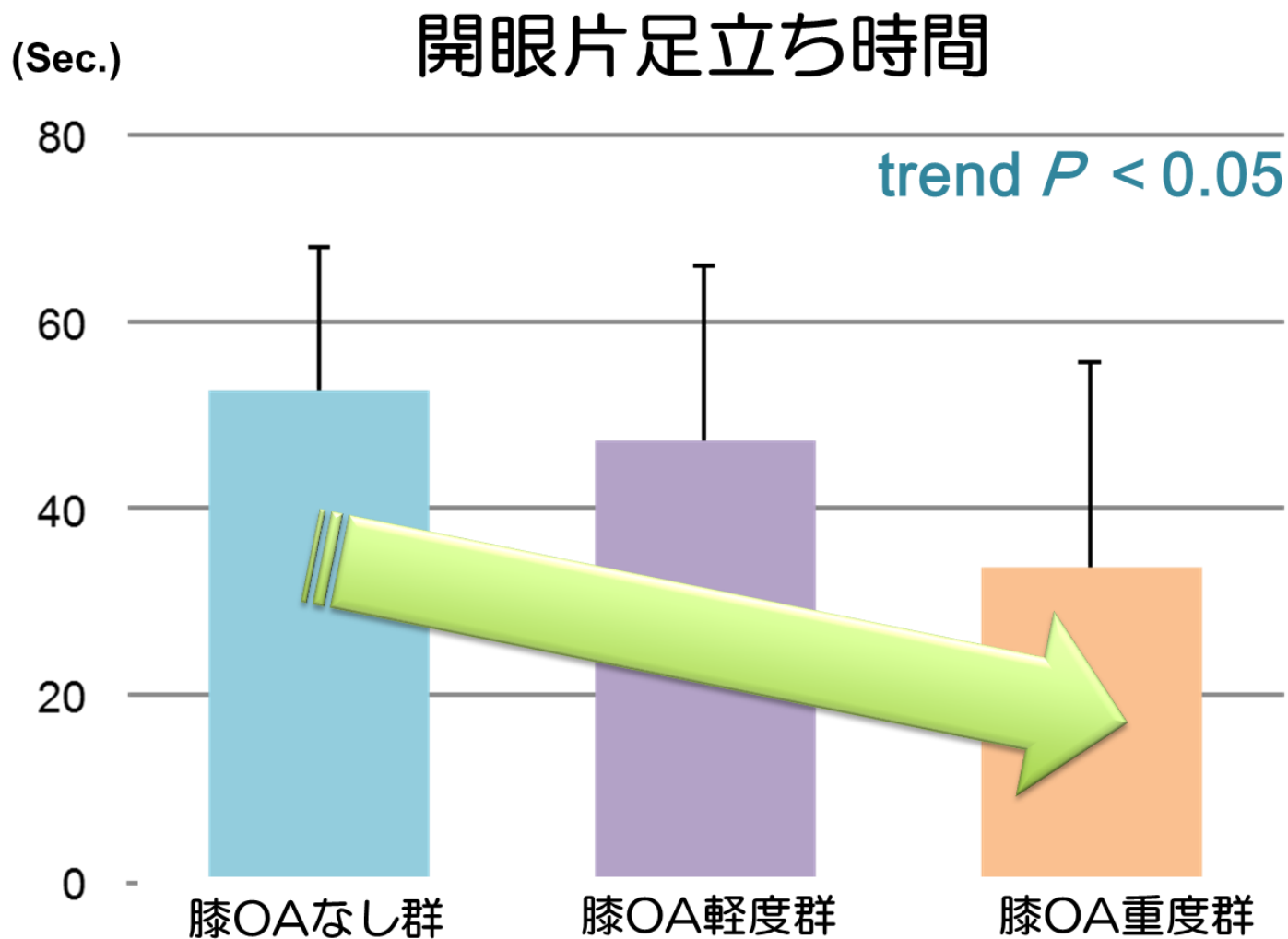
* P value from one way ANOVA, $P < 0.05$

^a P value from one way chi-square test, $P < 0.05$

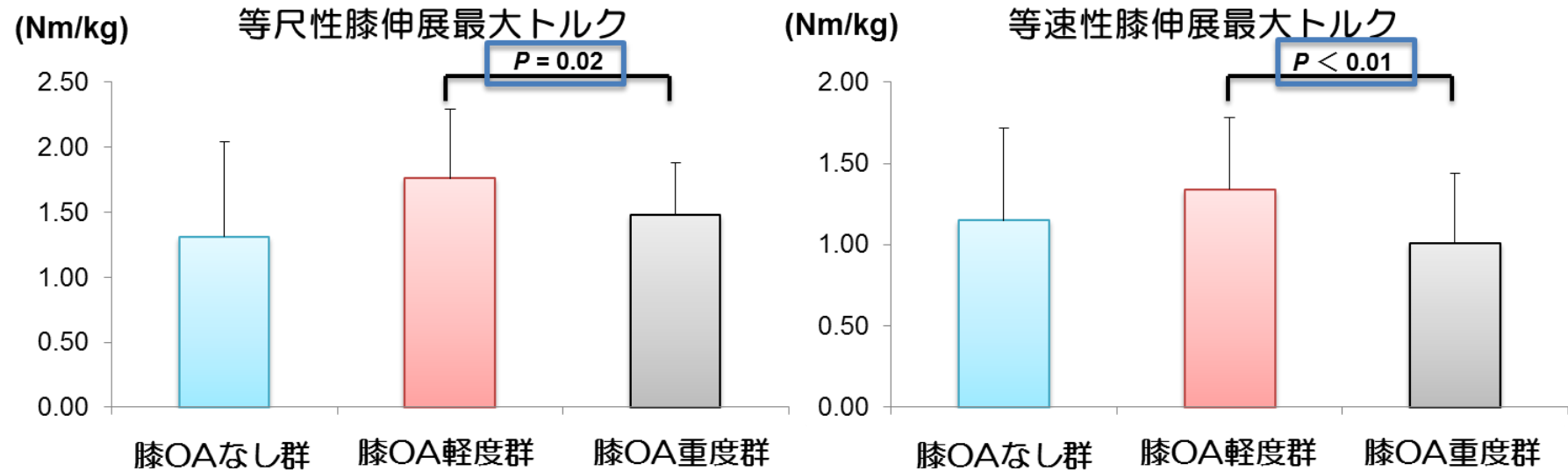


対象者の間，有意差が見られた項目
・ 年齢 ・ 体重 ・ BMI

「課題 I -2」関節変形の重症度による運動器機能の比較



「課題 I -2」関節変形の重症度による膝筋力の比較



等尺性膝伸展最大トルクおよび等速性膝伸展最大トルクについて

膝OA軽度群と膝OA重度群の間に

有意差が認められた。

「課題 I」のまとめ

課題 I の検討により

等速性・等尺性膝伸展最大トルク ↓

5回椅子立ち上がり時間
5m通常歩行時間
Timed up and go
開眼片足立ち時間

日常生活動作の制限

特に、膝OAの重度になると運動器機能への
悪影響を及ぼす。

膝痛および膝OAの治療方法として、
下肢筋カトレーニングは必要不可欠である。

特に、膝機能を中心とした下肢機能の

筋力向上が可能である筋カトレーニングが必要

研究の目的

1. 膝痛の有無および膝OAの重症度が運動器機能に及ぼす影響を検討する。
2. 膝痛および膝OAと関連がある運動器機能の改善を目的としたWBVTプログラムを作成し、その後、WBVTプログラムを実践することで得られる運動器機能に対する効果について明らかにする。
3. 炎症バイオマーカー検査を用いることで、WBVTプログラムが運動器機能に及ぼす影響についてのメカニズムを明らかにする。

課題の設定

中・高齢者の運動器機能の実態調査

全身振動トレーニング実践の効果検証

課題I

I-1
地域在住高齢者における膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響

I-2
膝痛を有する中年・高齢者における膝OAの重症度が運動器機能および心理機能に及ぼす影響



課題II

膝痛を有する中年・高齢者を対象とし全身振動トレーニングの有効性の検討

II-1
運動器機能および心理機能に及ぼす影響

II-2
膝OAの重症度別にみた全身振動トレーニングの効果

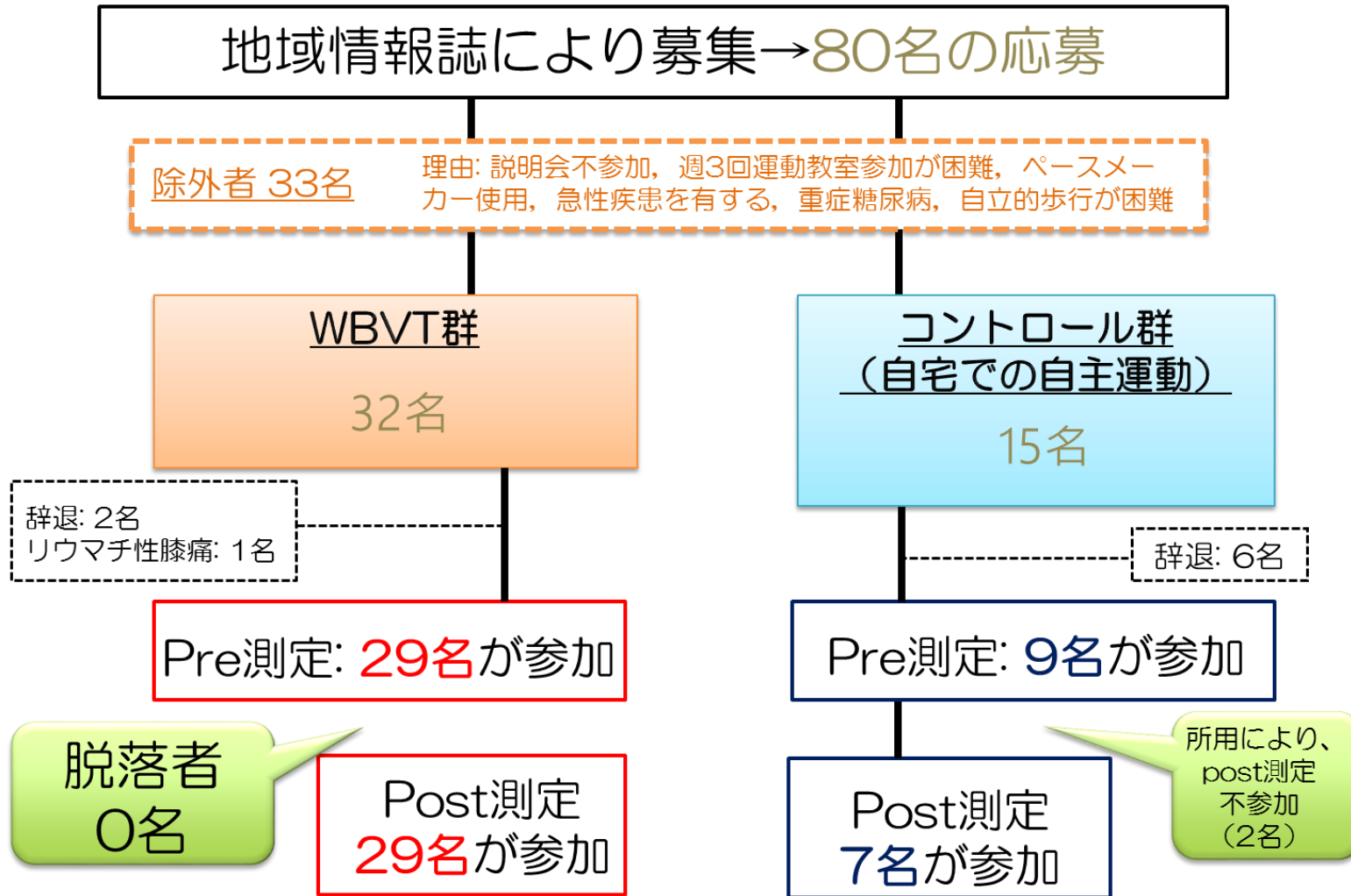
II-3
骨密度に及ぼす影響



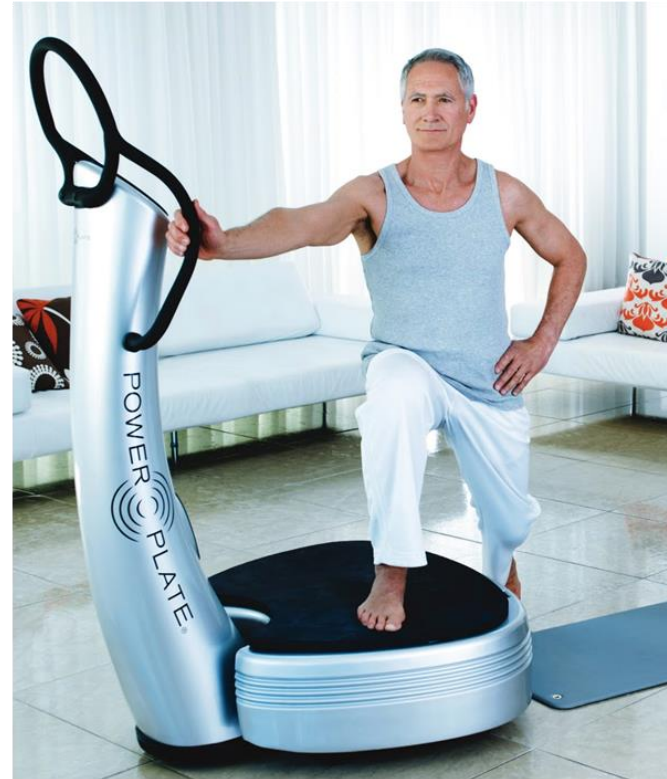
課題III

III
炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニズムに関する検討





WBVTに使用したマシン



POWER PLATE Pro5 (POWER PLATE International, London, UK)

振動：25-50 Hz，振幅：2-4 mmの範囲内で調節可能

WBVT群の運動プログラム

3回/週， 8週間

※ 強度...振動数: 30 Hz, 振幅: 2-4 (Low) mm

- ・ ワーミングアップ: 30s/1 set
- ・ 筋力トレーニング: 30s/2 sets
- ・ クールダウン: 60s/1 set

| | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-----------------|
| <p>ワーミングアップ (10 min)</p> | | | | | | |
| | W1. Hamstring stretch | W2. Calf stretch | W3. Side stretch | W4. Quadriceps stretch | W5. Back relaxer | W6. Hip stretch |
| <p>筋力トレーニング (20 min)</p> | | | | | | |
| | R1. Squat | R2. Calves | R3. Sit-up | R4. Up and down | R5. Pelvic bridge | R6. Front lunge |
| <p>主な効果</p> | 大腿四頭筋 | ふくらはぎ | 腹筋 | 上腕, 大腿四頭筋 | 大臀筋, 大腿四頭筋 | 大臀筋, 大腿四頭筋, 膝高筋 |
| <p>クールダウン (15 min)</p> | | | | | | |
| | C1. Calf massage | C2. Hamstring massage | C3. Quadriceps massage | C4. Back massage | | |

コントロール群

WBVT群と同様のポージングによる自宅エクササイズ

主観的および客観的膝機能の評価

主観的評価

- 1) Western Ontario and MacMaster University Osteoarthritis Index
- 2) Japanese Knee Osteoarthritis Measure
- 3) Japan Orthopaedic Associations score

● WOMAC¹⁾ スケール

- 変形性膝関節症の治療効果判定の評価尺度 (Bellamy et al., 1988)

● JKOM²⁾ スケール

- 日本人の変形性膝関節症に特化した
患者特異型quality of life (QoL) 尺度
(岩谷ら, 2006)

主観的および客観的膝機能の評価

主観的評価

- 1) Western Ontario and MacMaster University Osteoarthritis Index
- 2) Japanese Knee Osteoarthritis Measure
- 3) Japan Orthopaedic Associations score

● WOMAC¹⁾ スケール

- ・ 変形性膝関節症の治療効果判定の評価尺度 (Bellamy et al., 1988)

● JKOM²⁾ スケール

- ・ 日本人の変形性膝関節症に特化した患者特異型quality of life (QoL) 尺度 (岩谷ら, 2006)

客観的評価

● 単純X線

- ・ Kellgren and Lawrence分類で評価 (Kellgren and Lawrence, 1957)

● 日本整形外科学会膝OA治療成績判定基準³⁾ (JOAスコア)

- | | | |
|-------------|---------|------------------------|
| ✓ 疼痛・歩行能力 | ✓ 関節可動域 | } 医師による評価 (触診などを含む) |
| ✓ 疼痛・階段昇降能力 | ✓ 腫脹 | |

33

運動器機能の評価

- 筋力・筋パワー



- 身体パフォーマンステスト (8項目)

柔軟性, バランス能力, 歩行能力などの下肢機能の評価を中心とした項目

- 身体活動量 (PASE) ※

※ Physical activity for the elderly

余暇活動に加え, 家庭内活動, 仕事関連活動を含めた

日常生活の総合的な活動量

「課題Ⅱ-1」対象者の特徴

| | | WBVT群 (n = 29) | | コントロール群 (n = 9) | | P value |
|-----------------|-------------------|-------------------|----|--------------------|----|---------|
| | | Mean | SD | Mean | SD | |
| 年齢 | years | 62.1 ± 5.5 | | 60.9 ± 4.6 | | 0.68 |
| 身長 | cm | 153.9 ± 5.9 | | 154.2 ± 4.3 | | 0.14 |
| 体重 | kg | 56.2 ± 10.0 | | 54.8 ± 6.8 | | 0.37 |
| Body mass index | kg/m ² | 24.2 ± 3.8 | | 23.5 ± 2.9 | | 0.15 |

SD: standard deviation.

WBVT: whole-body vibration training.



群間に、有意差は認められなかった。

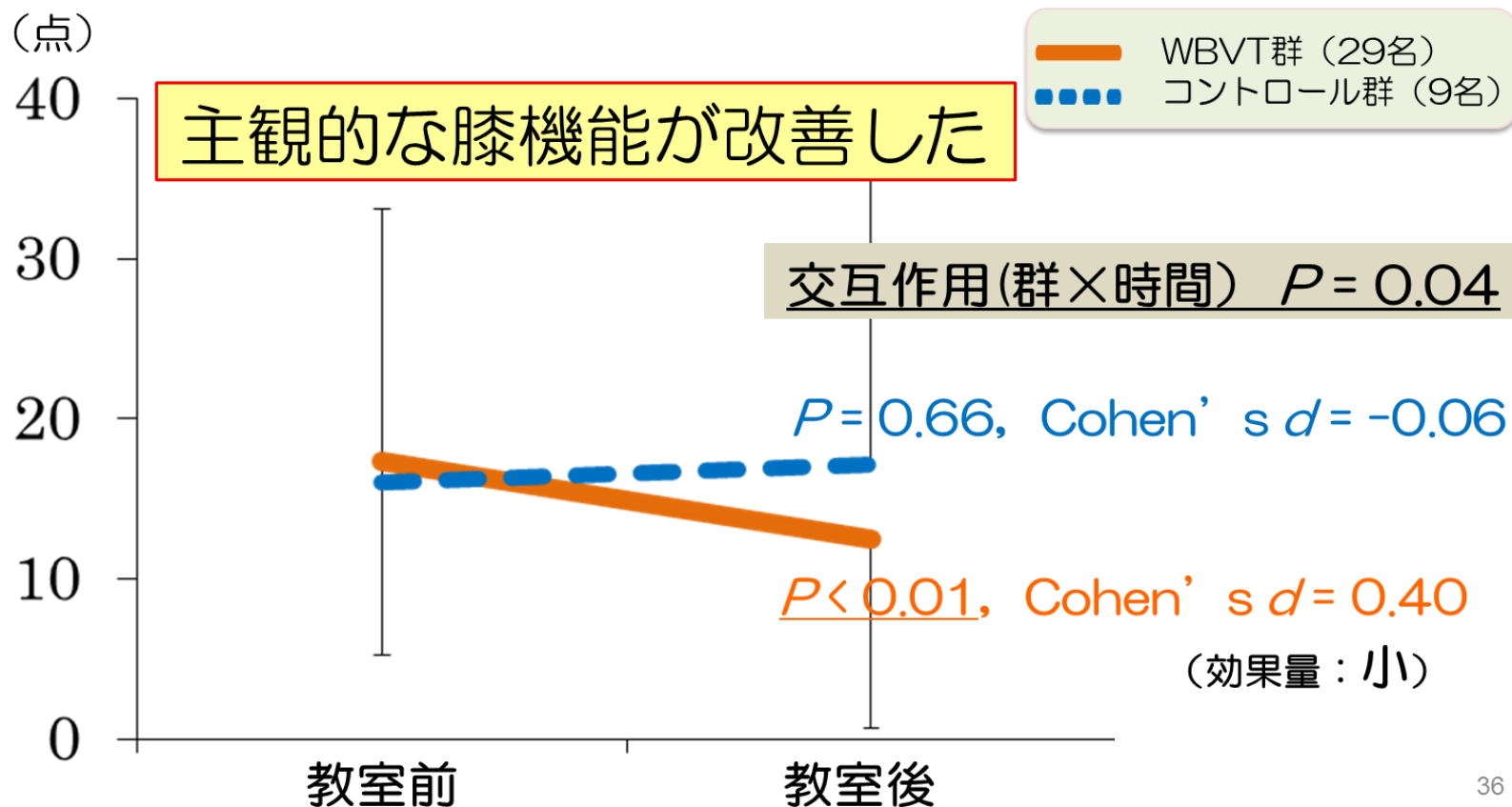
「課題Ⅱ-1」質問紙により評価した主観的膝機能への効果

変形性膝関節症患者機能評価尺度 (JKOM score)

→ 疼痛・こわばりの程度, 日常生活への影響度などにより評価

※ 点数が低いほど機能が良好 (0~100点で評価)

ITT (intention to treat analysis) 解析



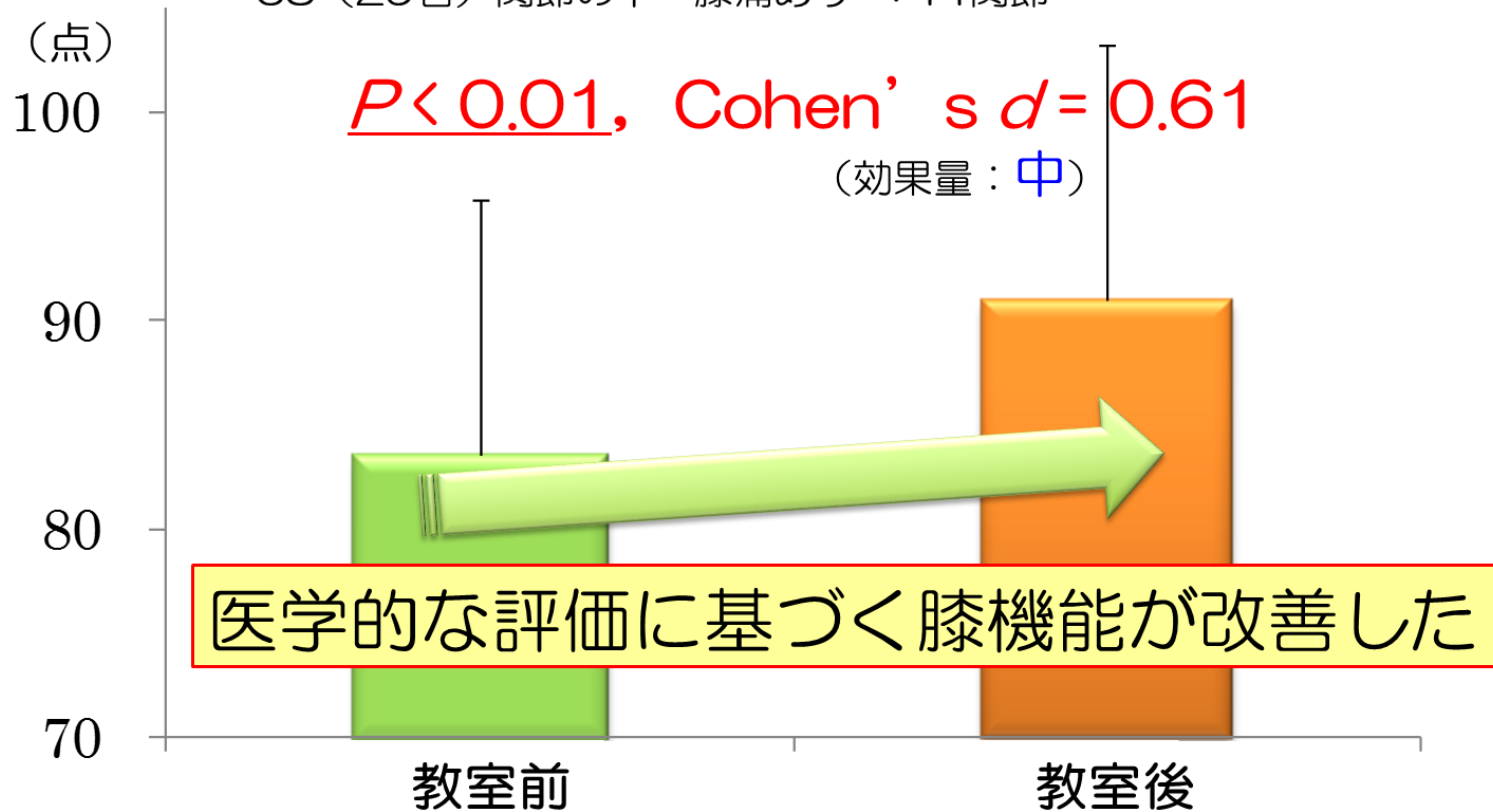
「課題Ⅱ-1」客観的評価に基づく膝機能への効果

日本整形外科学会膝OA治療成績判定基準（JOA score）

→ 医師による「歩行能，階段昇降能，可動域，腫脹の重症度」の総合的評価

※ 点数が高いほど機能が良好（0～100点で評価）

58（29名）関節の中“膝痛あり”：44関節



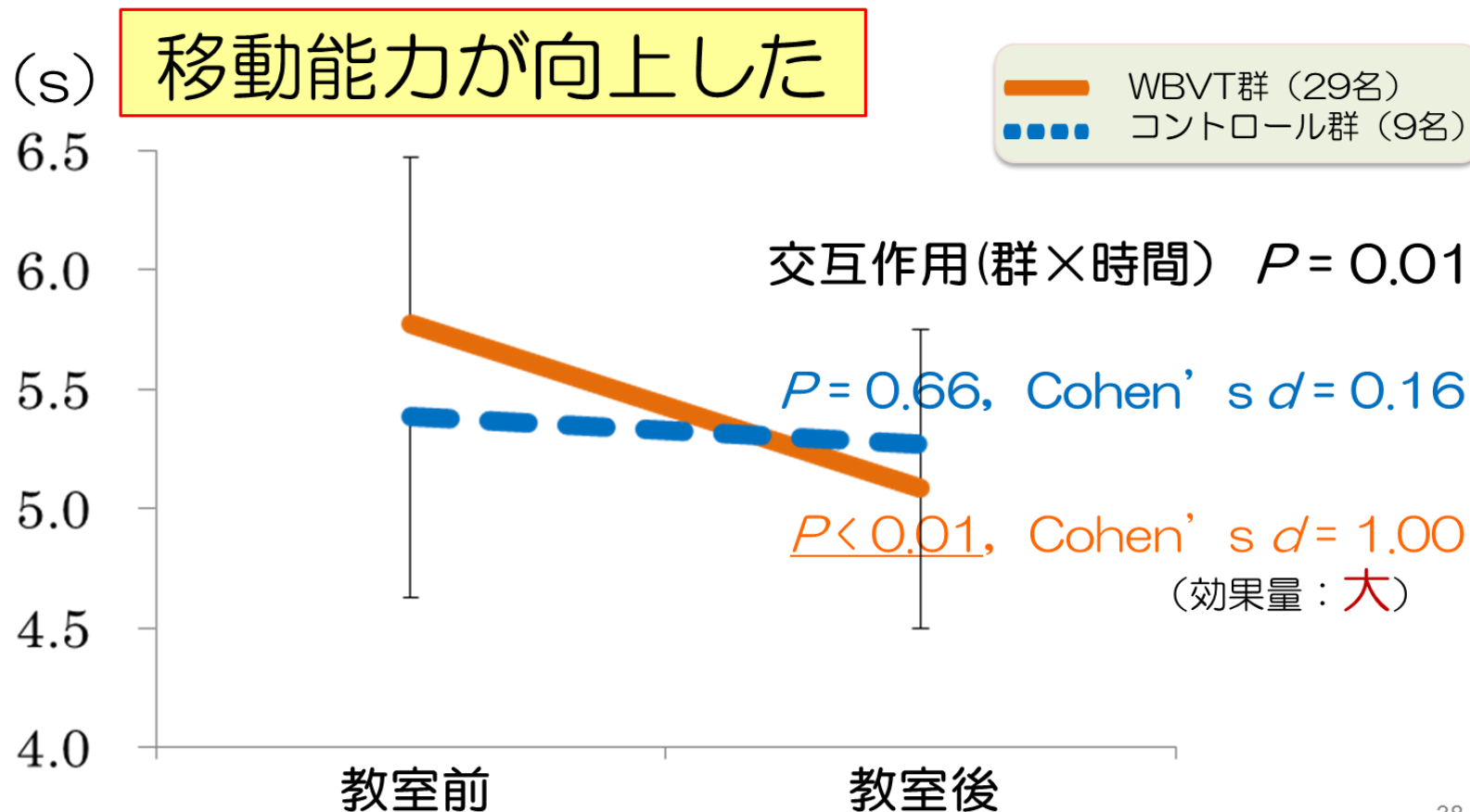
「課題Ⅱ-1」身体パフォーマンスへの効果

Timed up and go

→ 機能的移動能力評価テストで、ADLやQoLの予測因子として使用 (内山, 2003)

※ 点数が低いほど機能が良好

ITT (intention to treat analysis) 解析

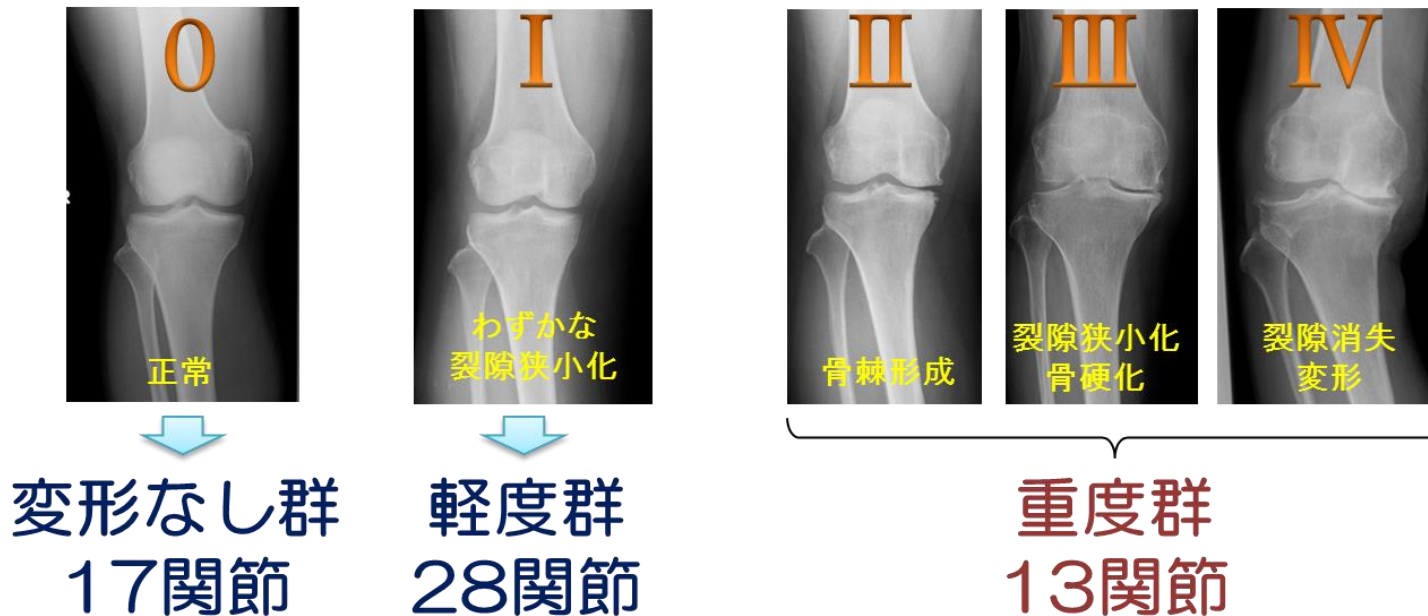


関節変形の重症度による群分け

→ Kellgren and Lawrence分類

(Kellgren and Lawrence, 1957)

WBVT群29名 (58関節)



(Emmauel et al., 2011)

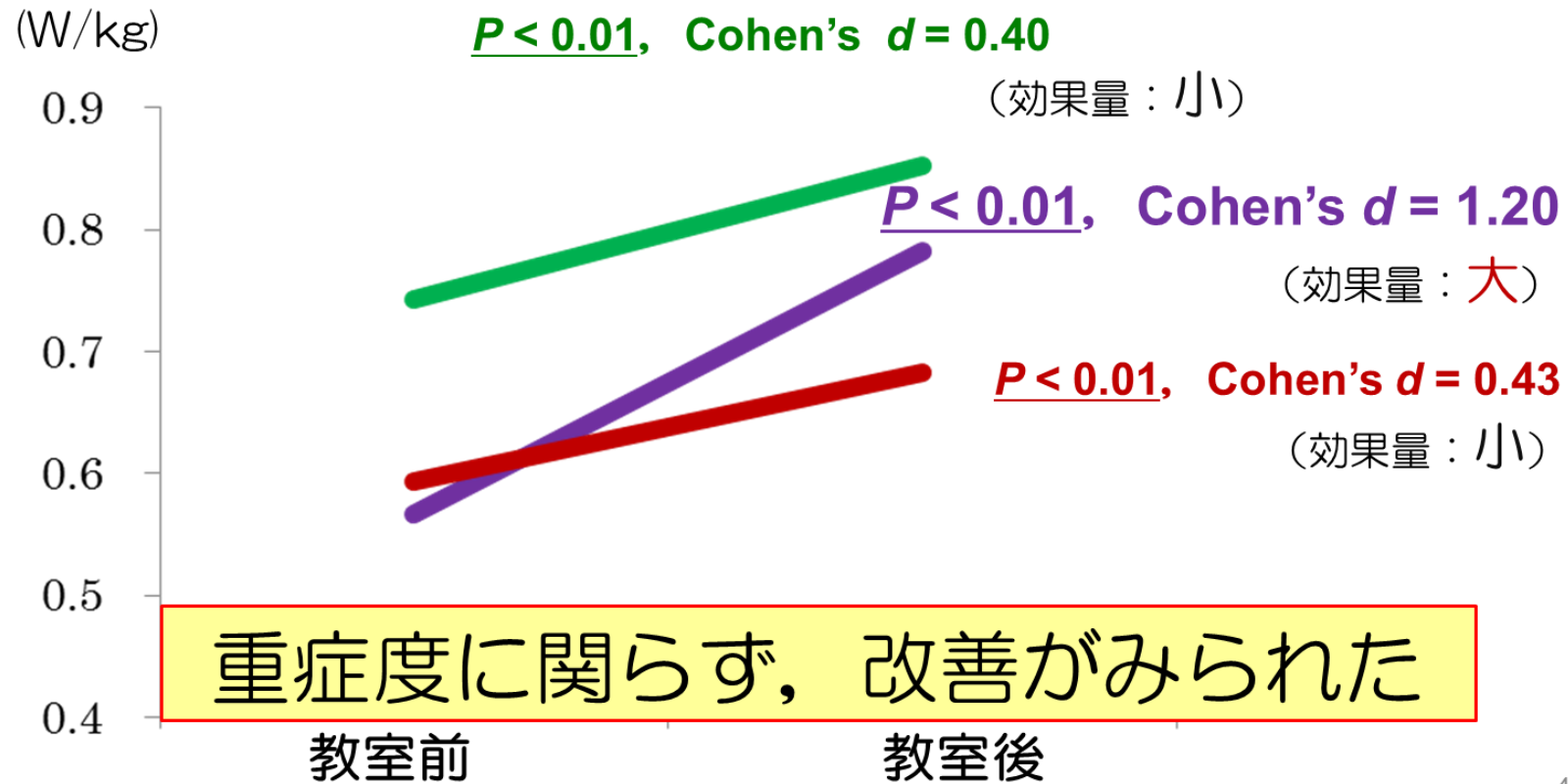
「課題Ⅱ-2」関節変形の重症度が下肢筋力・筋パワーへの効果に及ぼす影響

等速性膝伸展平均パワーの評価

※ ITT (intention to treat analysis) 解析

※ 点数が高いほど機能が良好

- 膝OAなし群 (17関節)
- 膝OA軽度群 (28関節)
- 膝OA重度群 (13関節)



研究課題Ⅱ-1, 2まとめ

全身振動マシンを用い、実践した
新しい運動プログラム（筋力トレーニング）により
運動機能が向上

虚弱者および高齢者の
下肢筋力・筋パワーに効果的

(van den Tillaar et al., 1986)

- ✓ 膝痛の治療法として
筋力トレーニングが効果的

(Hochberg et al., 1995)



- 重度の者の膝痛がさらに悪化する危険性がある。

(Messier et al., 2005)

- ✓ 手術
- ✓ 薬物治療併用

脱落者が発生

(Patel et al., 2010)

研究課題Ⅱ-1, 2まとめ

全身振動マシンを用い、実践した
新しい運動プログラム（筋力トレーニング）により
運動機能が向上

虚弱者および高齢者の
下肢筋力・筋パワーに効果的

(van den Tillaar et al., 1986)

- ✓ 膝痛の治療法として
筋力トレーニングが効果的

(Hochberg et al., 1995)



- 重度の者の膝痛がさらに悪化する危険性がある。

(Messier et al., 2005)

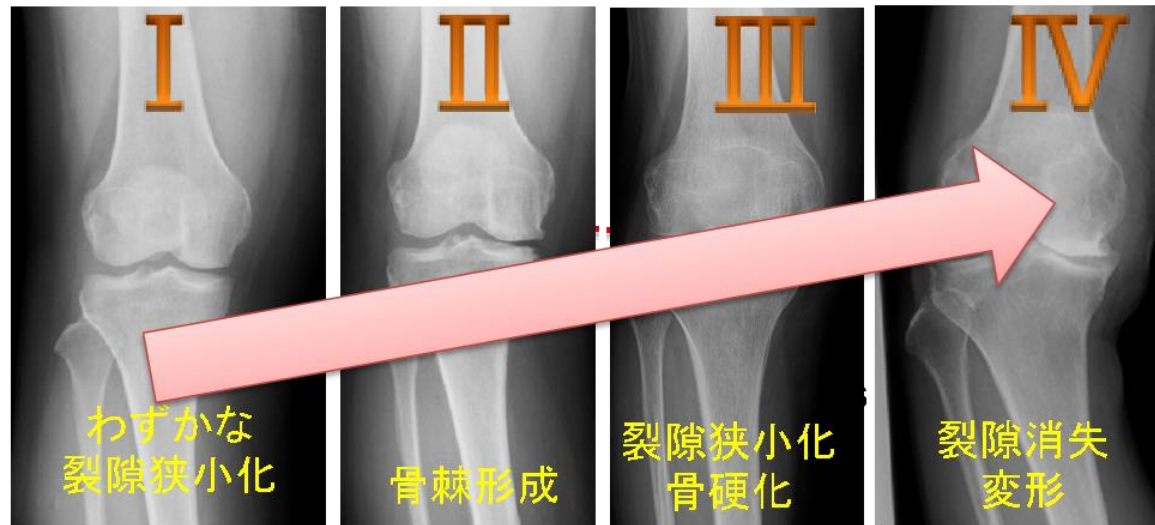
- ✓ 手術
- ✓ 薬物治療併用

脱落者が発生

(Patel et al., 2010)

研究課題Ⅱ—3WBVT骨密度に及ぼす影響

膝OAを有し，さらに骨密度が低い者は



膝OAの進行率が高い

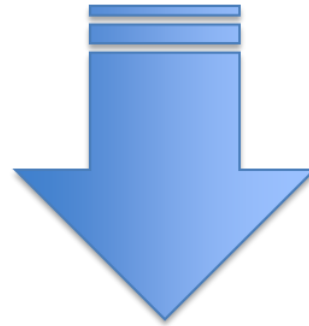
(Zhang et al., 2010)

研究課題Ⅱ－3WBVTが骨密度に及ぼす影響

WBVTの実践により

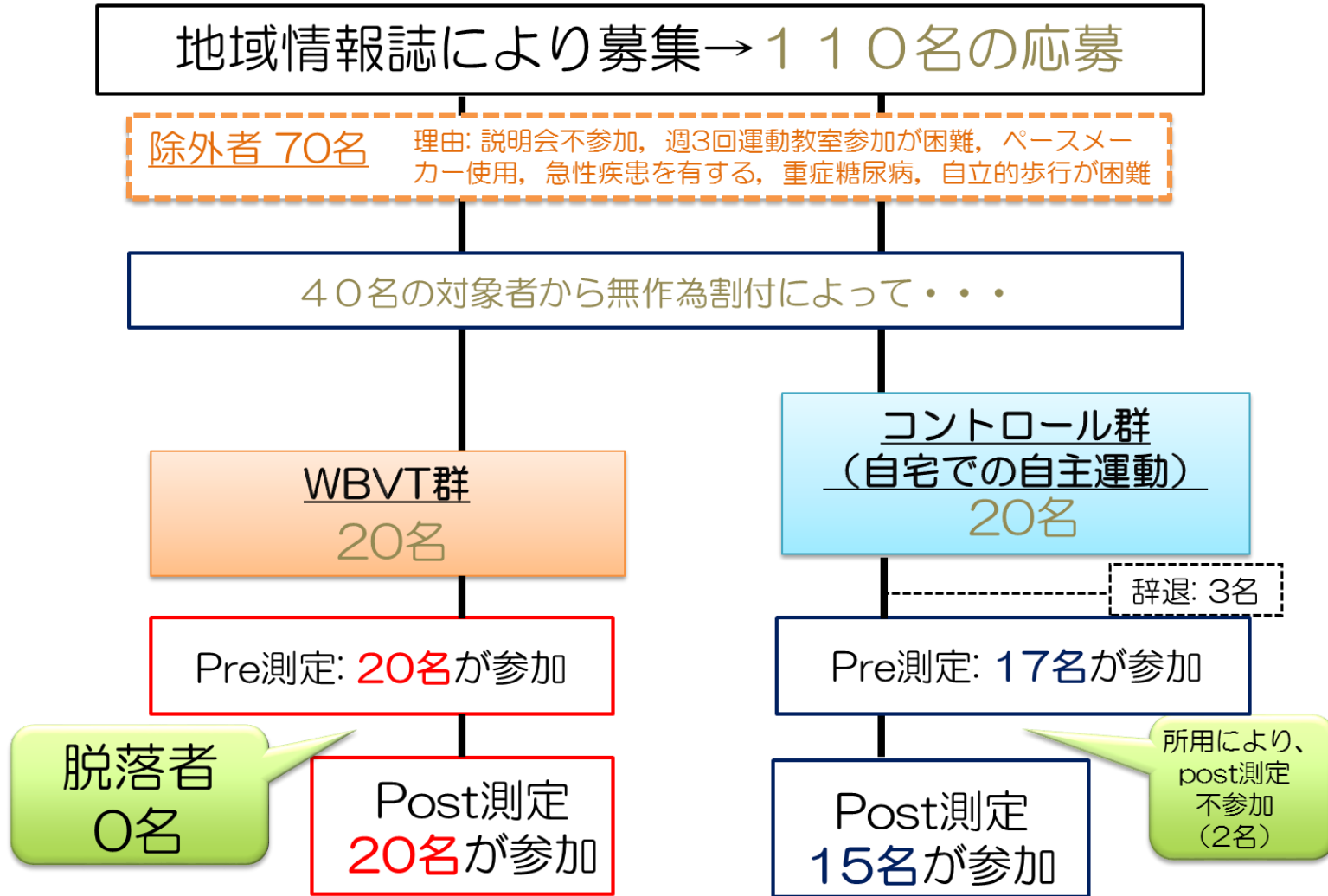
閉経期の女性の腰椎および大腿骨の骨減少が抑制された。

(Rubin et al., 2004)



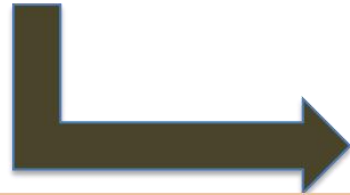
WBVT実践は
骨密度に好影響を与える可能性がある。

課題Ⅱ-3,Ⅲの対象者



課題Ⅱ-3 運動プログラムおよび評価項目

WBVT 3回/週, 8週間 (課題Ⅱ-1, 2)



WBVT 2回/週, 20週間

WBVTによる骨密度の変化を検討のため

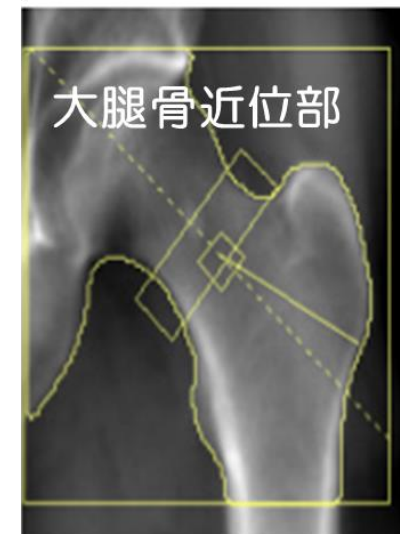
- ワーミングアップ: 30s/1 set
- 筋力トレーニング: 30s/2 sets
- クールダウン: 60s/1 set

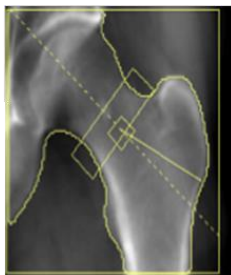
評価項目

- 骨密度調査
Dual-energy-xray Absorption (DXA)



- 評価部位

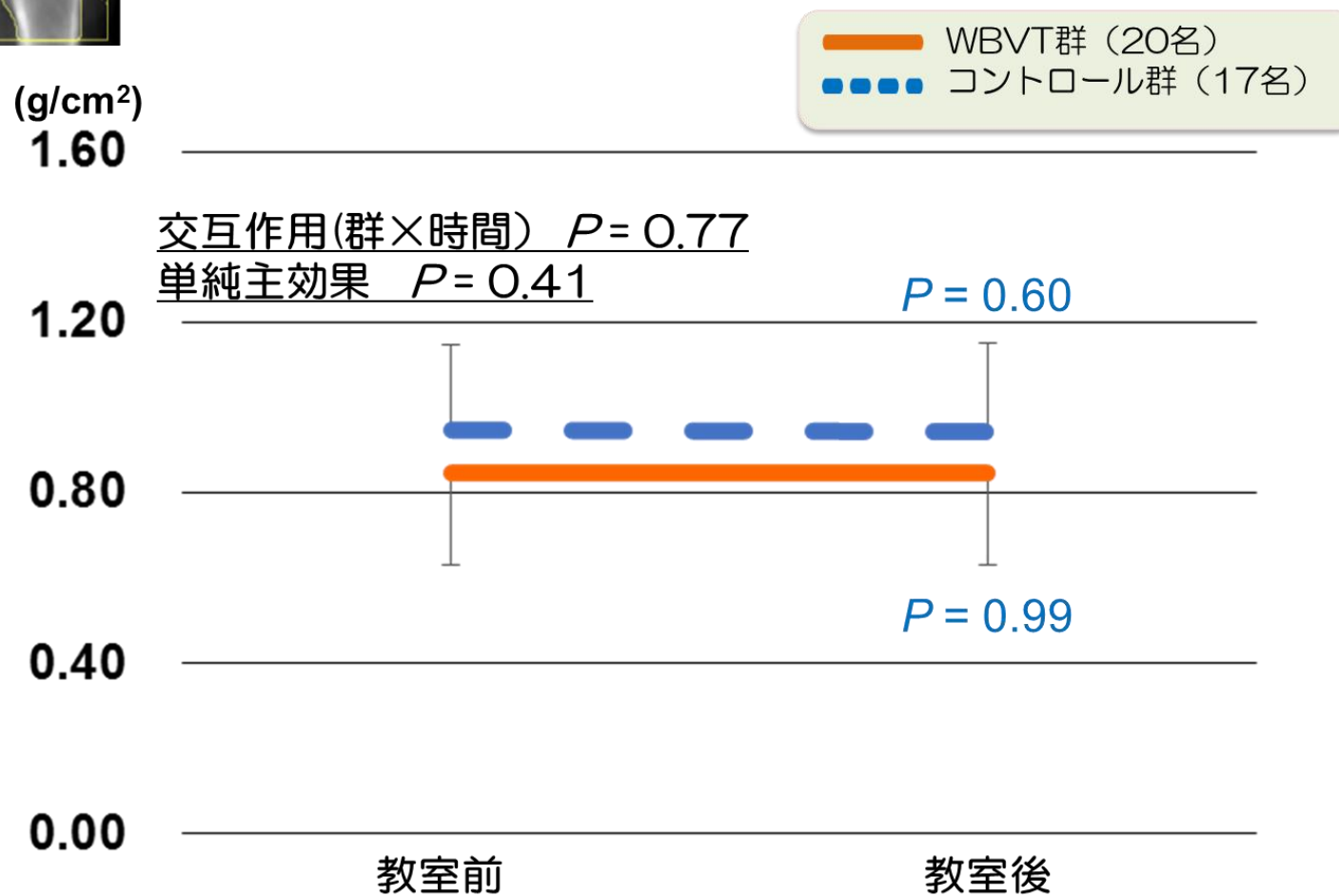




課題Ⅱ - 3WBVTが大腿骨に及ぼす影響

※ 点数が高いほど機能が良好

ITT (intention to treat analysis) 解析



研究課題Ⅱ-3 まとめ

6カ月間の閉経女性（58～74歳）

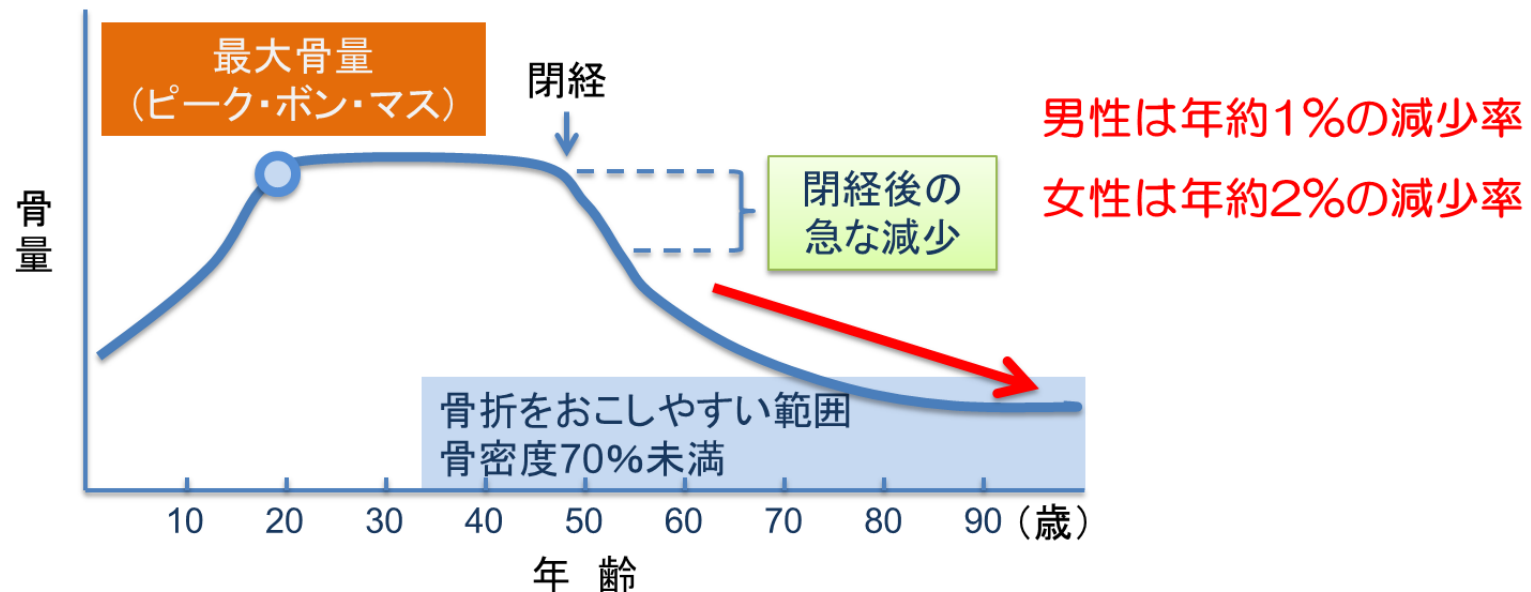
WBVTの実践により

股関節部の骨密度が有意が向上した。

(Rubin et al., 2004)

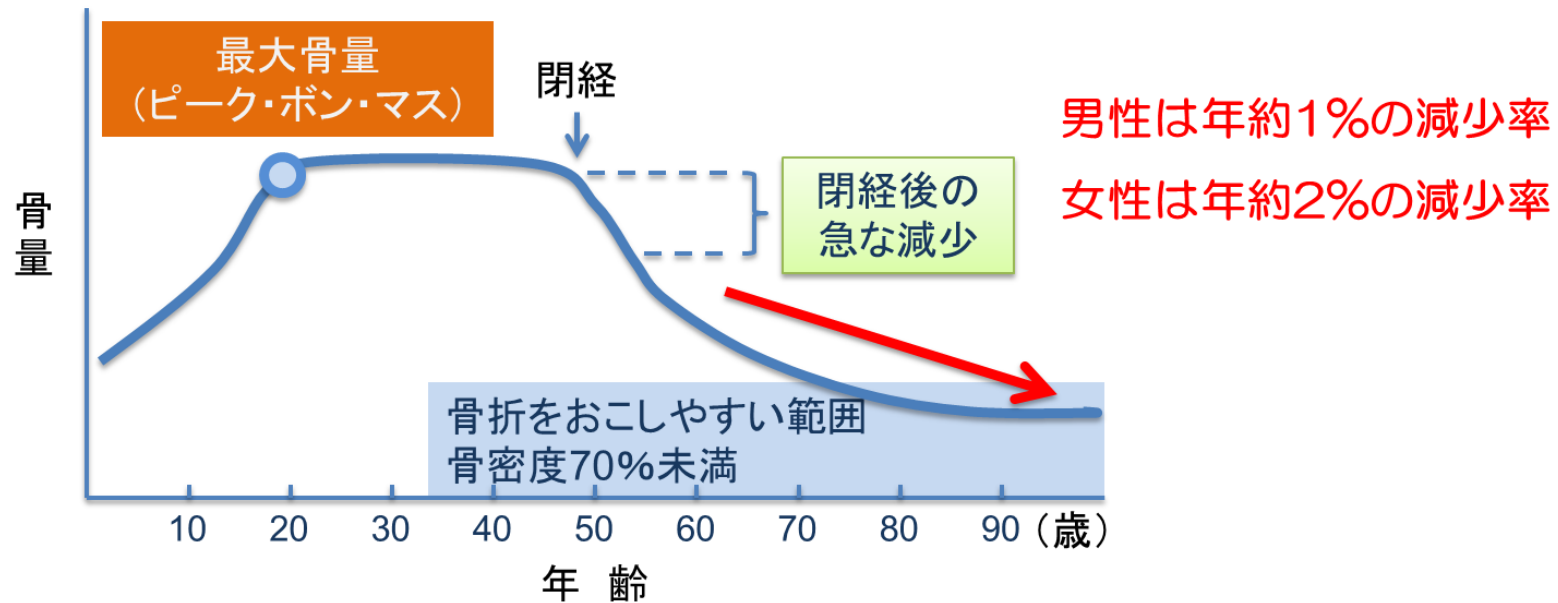


本研究では有意な変化がみられなかった。



(骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン, 2011年度版より一部改変)

研究課題Ⅱ-3 まとめ



(骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン, 2011年度版より一部改変)

しかし、本研究では骨密度の減少せず、WBVT群において維持することができた。

「大腿骨の」骨密度 WBVT群 : 0.835→0.845 g/cm²
コントロール群 : 0.959→0.945 g/cm²

課題の設定

中・高齢者の運動器機能の実態調査

全身振動トレーニング実践の効果検証

課題I

I-1
地域在住高齢者における膝痛の有無が心身機能に及ぼす影響

I-2
膝痛を有する中年・高齢者における膝OAの重症度が運動器機能および心理機能に及ぼす影響



課題II

膝痛を有する中年・高齢者を対象とし全身振動トレーニングの有効性の検討

II-1
運動器機能および心理機能に及ぼす影響

II-2
膝OAの重症度別に見た全身振動トレーニングの効果

II-3
骨密度に及ぼす影響



課題III

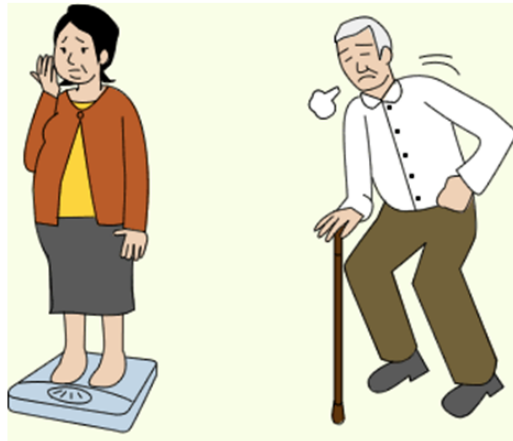
III
炎症バイオマーカーによる全身振動トレーニング効果のメカニズムに関する検討



膝痛の原因

一次性

原因がはっきりしない変形性膝関節症

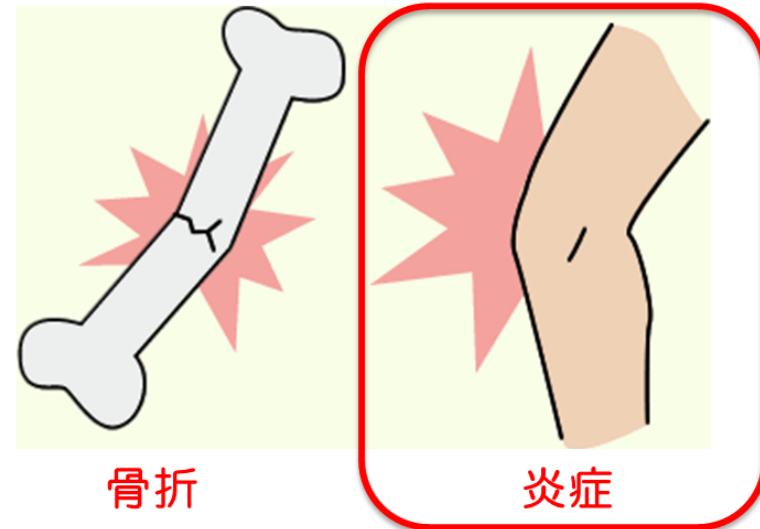


肥満

加齢

二次性

病気や外傷が原因で起こる変形性膝関節症



骨折

炎症

膝痛を有する高齢者に筋力トレーニングの実践は
炎症の増加を誘発する。

(Messier et al., 2005)

研究課題Ⅲ 炎症バイオマーカーによるWBVT効果検証

非アルコール性脂肪性肝疾患を有する成人男女を対象とし、WBVTの実践（週2回/12週間）および食事指導により、Interleukin-6 および High-C-reactive Proteinが減少

(Oh et al., 2014)

高齢者（60～70歳）を対象とし、WBVTの実践（週3回/10ヵ月）により、Interleukin-6 および TNF- α が減少

(Mohammed et al., 2015)

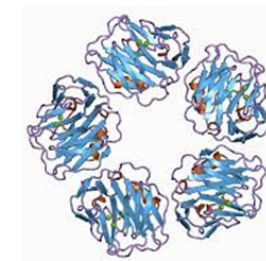
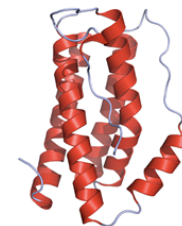
膝痛を有する高齢者を対象として

WBVTの実践は炎症が増加せず

筋力トレーニングの効果を得られる。

評価項目：炎症バイオマーカー

- Interleukin-6：T細胞やマクロファージ等の細胞により生産されるレクチンであり，液性免疫を抑制するサイトカインの一つである。
算出方法：ELISA法（R&D社 USA）
- High-C-reactive Protein：体内で炎症反応や組織の破壊が起きている時に血中に現れるタンパク質
算出方法：ELISA法（R&D社 USA）

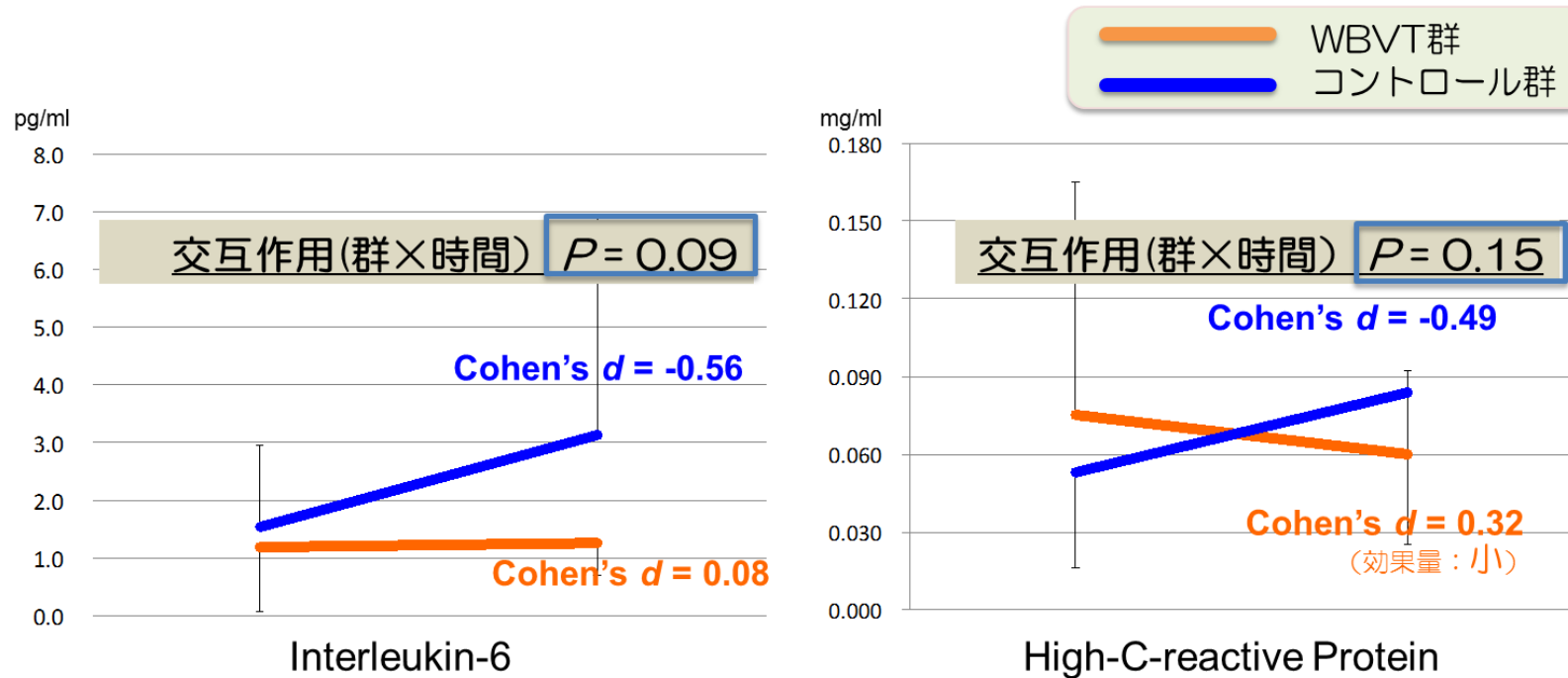


対象者および運動プログラムは
課題Ⅱ-3と同様

WBVT 2回/週, 20週間

- ワーミングアップ：30s/1 set
- 筋力トレーニング：30s/2 sets
- クールダウン：60s/1 set

「課題Ⅲ」 炎症バイオマーカーにより評価したWBVTの効果



*Interleukin-6*および*High-C-reactive Protein*について

WBVT群とコントロール群の間に

有意差が見られなかった。

研究課題Ⅲ まとめ

- ✓ 膝痛の治療法として
筋力トレーニングが効果的

(Hochberg et al., 1995)



- 重度の者の膝痛がさらに悪化する危険性がある。

(Messier et al., 2005)

- ✓ 手術
- ✓ 薬物治療併用

脱落者が発生 (Patel et al., 2010)

膝痛を有する高齢者に筋力トレーニングは
炎症の増加を誘発する。
(Messier et al., 2005)

研究課題Ⅲ まとめ

- ✓ 膝痛の治療法として
筋力トレーニングが効果的 (Hochberg et al., 1995)



- 重度の者の膝痛がさらに悪化する危険性がある。
✓ 手術 (Messier et al., 2005)
✓ 薬物治療併用

脱落者が発生 (Patel et al., 2010)

WBVTの実践は炎症の増加せず

筋力トレーニングができることから、

安全かつ運動器機能への効果を確保

「課題Ⅰ」

膝痛の有無および膝OAの重症度と運動器機能を検討した結果、
下肢機能（特に大腿四頭筋）と深く関係することがわかった。



WBVマシンを用い膝機能向上を中心とした下肢機能を強化するため
新規運動プログラムを作成した。

「課題Ⅱ，Ⅲ」

新しく作成した運動プログラム（WBVT）の実践により、
膝OAの重症度に関わらず運動器機能が向上した。

- 膝痛もしくは膝OAを有する高齢者の運動器機能低下の予防
および改善が可能であり、老人ホームや病院の
新規リハビリプログラムとして役立つ。

関連論文

課題 2-1, 2 の関連論文

1. 尹之恩, 辻大士, 金森章浩, 田中喜代次, 大藏倫博. 全身振動 (whole-body vibration) トレーニングが変形性膝関節症及び膝痛を有する中年・高齢女性の膝機能及び身体機能に及ぼす影響. *体力科学* 63(4): 371-382, 2014.
2. Tsuji T, Yoon J, Aiba T, Kanamori A, Okura T, Tanaka K. Effects of whole-body vibration exercise on muscular strength and power, functional mobility and self-reported knee function in middle-aged and older Japanese women with knee pain. *The Knee*: 160-164, 2014