

氏名（本籍） いけなが まさひろ
池永 昌弘 (山口県)

学位の種類 博士(スポーツ健康科学)

報告番号 甲第 1523 号

学位授与の日付 平成 26 年 9 月 13 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当 (課程博士)

学位論文題目

高齢者の身体機能向上を目的とした運動プログラム研究

| | | | |
|-------------|--------|----|-------|
| 論文審査委員 (主査) | 福岡大学 | 教授 | 清永 明 |
| (副査) | 福岡大学 | 教授 | 田中 宏暁 |
| | 福岡大学 | 教授 | 檜垣 靖樹 |
| | 京都学園大学 | 教授 | 木村みさか |

研究① 三軸加速度計を用いた身体活動量と身体機能の関係

【目的】

本研究は 3 軸加速度計を用いて評価した身体活動量の強度と、筋力または歩行速度の関連性を調査した。

【方法】

70~79 歳の地域在住高齢男性 178 名を対象に、握力 (HGS)、膝伸展力 (KES) と通常歩行速度 (PGS) ならびに最大歩行速度 (MGS) を調査した。身体活動の時間と強度は、3 軸加速度計を用いて連続した 8 日間を評価し、各活動強度に要した合計時間 (不活動、低強度 : LPA、中強度 : MPA、高強度 : VPA) と一日の歩数を算出した。

【結果】

年齢、BMI、体脂肪率で調整後、歩数と KES ならびに MGS は有意な相関関係を示した。MPA 時間は KES ($r = 0.225, P < 0.01$) と MGS ($r = 0.159, P < 0.05$) と有意な相関関係を示した (Fig.1)。PGS と HGS はいずれの身体活動指標とも有意な相関関係を示さなかった。対象者を歩数または MPA 時間で四分位に分類すると、MGS と KES は歩数ならびに MPA 時間と有意な関連性を示した (P for trend < 0.05)。

【結論】

本研究は、年齢、BMI、体脂肪率での調整後、高齢者の身体活動を比較的正確に評価可能な三軸加速度計で評価した MPA 時間と最大歩行速度、膝伸展筋力の間に関連性を示した。しかし両者の関連性は強くなく、dynapenia 予防としては、日常の身体活動増加に加え、筋力増強を目的とした運動も必要である可能性が示唆された。

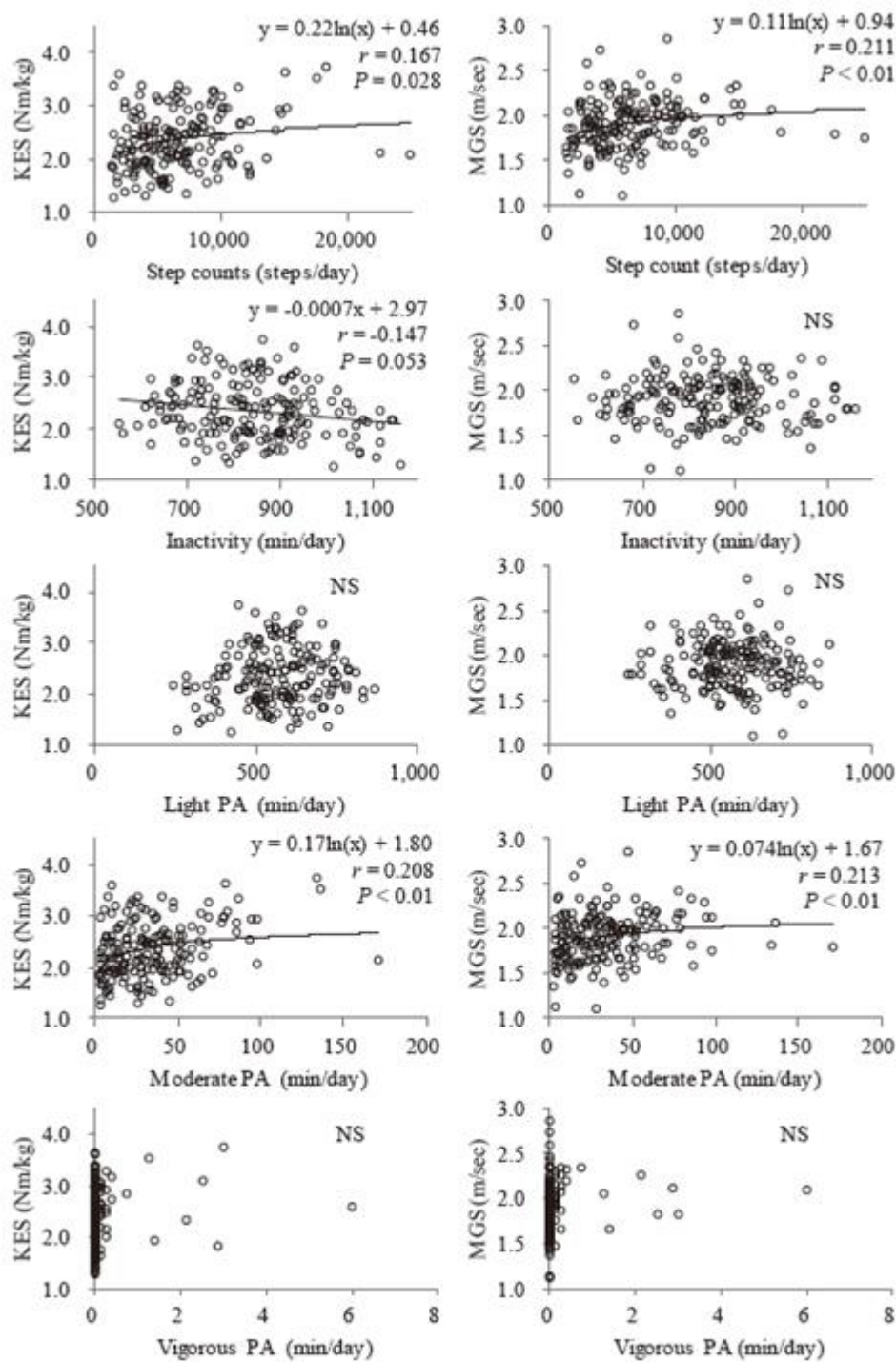


Fig. 2 Relationships between knee extension strength (KES) or maximal gait speed (MGS) and step count and the duration of each physical activity (PA) intensity. Partial correlation coefficients (r) were calculated with age, BMI and %BF as control variables.

研究② 高齢者の日常身体活動量とサルコペニアの関係

【目的】

日常生活における身体活動量は、加齢に伴う骨格筋の萎縮（サルコペニア）と関係し、特に中等度（ >3 METs, Moderate Physical Activity: MPA）の身体活動が重要であることが報告されている。高齢者の骨格筋細胞の評価には、加齢に伴い細胞の間隙が増加するため、細胞内液量（intracellular water: ICW）と細胞外液量（extracellular water: ECW）の水分分布を評価する必要がある。ICW は多周波生体電気インピーダンス法により測定でき、筋収縮要素である筋細胞を反映することが報告されている。本研究は、地域在住高齢者における S-BIS で評価した筋量指標を用いたサルコペニアと身体活動量の関係を調査することを目的とした。

【方法】

対象は福岡県筑紫郡那珂川町に在住する 65 歳から 88 歳までの高齢者 666 名（男性 325 名、女性 341 名）とした。身体活動量の評価には 3 軸加速度計付の歩数計を用い、歩数、身体活動レベル（PAL）、MPA 時間、LPA 時間を算出した。体水分量の評価には部位別対周波生体電気インピーダンス（S-BIS）法を用い、体重あたりの四肢筋量指標（ICW）を算出した。サルコペニアの基準には、ヨーロッパ老年医学会の提唱する基準を用い、筋量低下を必須項目とし、握力または歩行速度の低下とした。骨格筋量の減少は、若年サンプルの $-2SD$ 以下とした。サルコペニアと非サルコペニアとの比較には共分散分析を用い、身体活動量低下によるサルコペニアの発症リスクの分析には、ロジスティック回帰分析を行った。

【結果】

身体特性と身体活動量を年齢を調整して比較した結果です。

サルコペニアと非サルコペニアを比較した結果、男性においては、歩数、不活動時間、中強度活動時間に有意差を認めた。一方、女性においてはいずれの項目も有意差を認めなかった（表1）。男性の身体活動量を四分位に分類し、サルコペニアを有するリスクをロジスティック回帰分析により解析した結果、歩数に関しては、一日約9000歩以上のQ4のサルコペニア発症リスクは、約4000歩以下のQ1の0.35倍になることが示された。また、MPA時間では、16分から30分程度のQ2または50分以上のQ4のサルコペニア発症リスクは、Q1の0.25倍、0.39倍になることが示された（図2）。

【考察】

男性においては、少なくとも17分以上のMPA活動を行うことがサルコペニア発症のリスクを下げる可能性がある。女性は、男性よりも不活動時間が少なくLPA時間が長いため、家事等の日常身体活動量が多いことが推察される。そのため、女性では日常の身体活動量だけではサルコペニアの有無と関連しなかったと考えられる。年齢調整により男性では関連性が弱くなり、女性では関連性が認められなくなったことから、サルコペニアは加齢の影響を大きく受ける為、日常の身体活動だけでなく、効果的に身体機能を維持するような活動を負荷することが必要であるといえる。しかし本研究は横断調査であり、身体活動量とサルコペニアの因果関係については不明である。

【結論】

地域在住高齢男性において身体活動量はサルコペニアと関係し、歩数が9,000歩以上もしくはMPA時間が一日当たり17分以上実施している者はサルコペニアのリスクが低いことが示唆された。

表1. 非サルコペニアとサルコペニアの身体特性・身体活動量

| 項目 | 男性 (n=324) | | 女性 (n=341) | |
|--------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | 非サルコペニア | サルコペニア | 非サルコペニア | サルコペニア |
| 身長 (cm) | 163.4 ± 5.3 | 160.6 ± 5.4** | 151.6 ± 4.7 | 147.6 ± 4.7** |
| 体重 (kg) | 63.9 ± 8.0 | 59.1 ± 7.6** | 52.5 ± 7.5 | 49.3 ± 6.6** |
| BMI (kg/m ²) | 23.9 ± 2.7 | 22.9 ± 2.3** | 22.9 ± 3.1 | 22.6 ± 2.9 |
| 腹囲 (cm) | 87.2 ± 8.1 | 85.9 ± 6.3 | 86.3 ± 9.2 | 85.7 ± 8.0 |
| 大腿部周囲径 (cm) | 50.6 ± 3.6 | 48.8 ± 3.7 | 50.4 ± 4.1 | 49.2 ± 4.2 |
| 除脂肪体重 (kg) | 44.5 ± 4.6 | 41.0 ± 4.6 | 32.1 ± 2.7 | 29.7 ± 2.5 |
| 体脂肪率 (%) | 19.4 ± 5.7 | 18.1 ± 4.8 | 38.2 ± 6.4 | 39.0 ± 5.7 |
| 大腿筋量 (kg) | 4.2 ± 0.7 | 3.5 ± 0.6** | 2.6 ± 0.4 | 2.2 ± 0.4** |
| 歩数 (歩/日) | 7443 ± 3971 | 5525 ± 3035* | 6222 ± 2731 | 5762 ± 2916 |
| 不活動時間 (分/日) | 827.0 ± 131.7 | 881.8 ± 132.3* | 750.1 ± 126.1 | 775.6 ± 127.9 |
| LPA時間 (分/日) | 164.2 ± 58.2 | 149.4 ± 56.4 | 204.9 ± 59.7 | 196.2 ± 62.1 |
| MPA時間 (分/日) | 39.3 ± 28.5 | 26.5 ± 19.9* | 34.9 ± 22.9 | 29.4 ± 22.0 |
| VPA時間 (分/日) | 0.7 ± 3.1 | 0.1 ± 0.5 | 0.1 ± 0.2 | 0.0 ± 0.1 |

BMI: Body mass index;

LPA: Light physical activity; MPA: Moderate physical activity; VPA: Vigorous physical activity

* P < 0.05, **P < 0.01, vs. 非サルコペニア

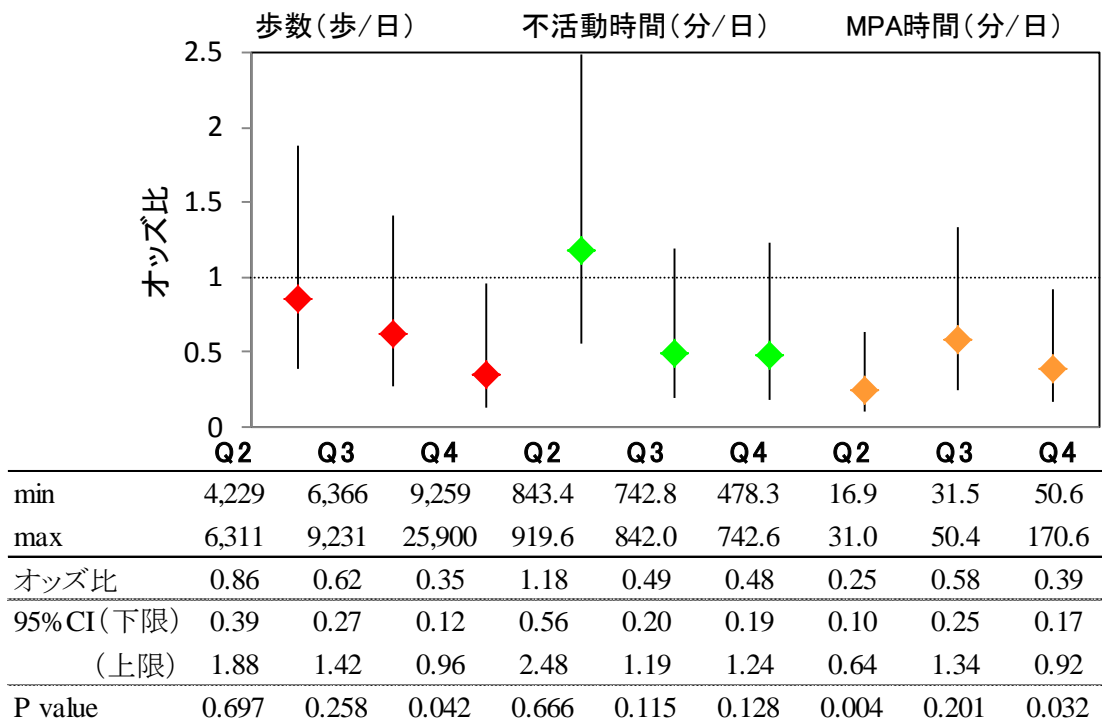


図2. 身体活動量低下によるサルコペニアのリスク(男性)

研究③ 重量負荷靴を用いた運動プログラムの効果検証

【目的】

本研究は軽度に重量負荷した靴による 12 週間の運動介入が、高齢者の下肢骨格筋量と歩容に及ぼす影響を調査した。

【方法】

歩行運動習慣のある 29 人の健常な日本人高齢者を重量負荷靴または通常靴の介入グループに無作為に割り付けた。対象者は 12 週間の介入中は身体活動量を変えないように教示された。下肢骨格筋量の指標として部分細胞内液量 (ICW) と筋組織厚 (MT) を測定した。運動学的な歩容のデータは動作分析によって得た。歩行の安定性は身体重心の鉛直動揺の標準偏差により評価した (COM 動揺)。日常の身体活動量には加速度計を用いて記録した。

【結果】

NS 群に比較して WS 群の大腿 ICW と大腿直筋 MT が有意に増加し (ICW: 13.8% vs. 2.2%, MT: 12.1% vs. 1.3%), さらに WS 群の通常歩行時の COM 動揺が有意に減少した。

【結論】

本研究は軽度の重量負荷靴による介入が健康な高齢者の大腿部筋量を増加させ、歩容を変化させる可能性があることを示した。

Table2. Changes in physical parameters and an index of skeletal muscle in the lower limb.

| Variables | Baseline | | Week 12 | | Change | |
|---|------------|------------|------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| | NS group | WS group | NS group | WS group | NS group | WS group |
| weigh of shoe (g) | 317.9±128 | 261±62 | 292.9±101 | 493±151 [†] | -24.9±78.8 | 231.7±130.7* |
| step counts (steps/day) | 10372±7679 | 8567±3045 | 10519±7818 | 10313±2941 [†] | 147±1607 | 1846±1963* |
| exercise time(min/day) | 54.1±20.6 | 42.8±18.6 | 47.5±16.3 | 37.5±15.4 | -2.1±18.6 | -5.3±17.6 |
| SBP (mmHg) | 129.3±11.6 | 133.5±11.6 | 126.5±12.7 | 127.3±18.5 | -2.9±9.1 | -6.2±17.8 |
| DBP (mmHg) | 73.7±6.6 | 77.9±4.5* | 71.1±9.2 | 71.5±6.5 [†] | -2.6±8.5 | -6.5±6.7 |
| ICW _{thigh} (L) | 2.80±0.57 | 2.61±0.89 | 2.92±0.62 | 2.94±0.90 [†] | 0.06±0.17 | 0.33±0.23* |
| ICW _{calf} (L) | 1.08±0.17 | 1.00±0.20 | 1.16±0.20 [†] | 1.09±0.21 [†] | 0.08±0.10 | 0.09±0.05 |
| MT _{rectus femoris} (mm) | 18.7±2.8 | 17.1±2.6 | 18.7±2.7 | 19.0±2.7 [†] | 0.03±2.7 | 1.91±2.2* |
| MT _{intermediate vastus muscle} (mm) | 15.0±3.5 | 15.4±2.8 | 15.0±3.6 | 15.3±3.2 | 0.02±3.5 | -0.07±2.7 |
| MT _{regio cruralis anterior} (mm) | 26.8±2.7 | 27.1±3.0 | 27.3±2.7 | 28.3±3.9 | 0.52±1.3 | 1.24±2.1 |
| MT _{regio cruralis posterior} (mm) | 25.8±4.4 | 23.4±2.9 | 24.7±4.4 | 24.6±2.3 | -1.08±3.2 | 1.23±3.0 |

Values are mean±SD.

SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure

ICW: intra-cellular water index, MT: muscle thickness

* Significant difference ($P<0.05$) WS group vs. NS group.

[†] Significant difference ($P<0.05$) Baseline vs. Week 12.

Table3. Changes in gait parameters.

| Variables | Baseline | | Week 12 | | Change | |
|----------------------------------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|------------|------------|
| | NS group | WS group | NS group | WS group | NS group | WS group |
| <i>Usual speed</i> | | | | | | |
| velocity (m/s) | 1.60±0.24 | 1.52±0.13 | 1.54±0.18 | 1.47±0.15 | -0.06±0.28 | -0.02±0.15 |
| stride frequency (Hz) | 1.14±0.09 | 1.10±0.08 | 1.12±0.10 | 1.14±0.11 | -0.02±0.08 | 0.02±0.07 |
| stride length (m) | 1.41±0.15 | 1.39±0.14 | 1.37±0.13 | 1.30±0.13 | -0.03±0.13 | -0.06±0.14 |
| COM fluctuation (cm) | 1.01±0.11 | 1.00±0.20 | 0.97±0.19 | 0.91±0.13 [†] | -0.04±0.15 | -0.11±0.13 |
| ROM _{hip joint} (deg) | 37.7±5.5 | 35.6±4.7 | 36.6±5.3 | 34.8±2.9 | -1.04±4.8 | -0.75±4.8 |
| ROM _{knee joint} (deg) | 60.0±4.1 | 58.9±4.8 | 58.3±3.4 | 54.8±6.8 [†] | -1.68±3.7 | -4.11±4.2 |
| ROM _{ankle joint} (deg) | 25.5±4.5 | 22.8±4.4 | 26.8±5.9 | 25.4±6.3 | 1.32±5.7 | 2.58±4.8 |
| <i>Maximal speed</i> | | | | | | |
| velocity (m/s) | 1.96±0.27 | 1.83±0.19 | 2.02±0.20 | 1.82±0.23 | 0.07±0.23 | -0.03±0.20 |
| stride frequency (Hz) | 1.31±0.11 | 1.24±0.08 | 1.35±0.13 [†] | 1.27±0.15 | 0.04±0.06 | 0.01±0.08 |
| stride length (m) | 1.49±0.19 | 1.48±0.15 | 1.50±0.16 | 1.43±0.11 | 0.01±0.16 | -0.04±0.13 |
| COM fluctuation (cm) | 0.97±0.26 | 0.99±0.18 | 0.95±0.25 | 0.90±0.19 | -0.02±0.30 | -0.07±0.13 |
| ROM _{hip joint} (deg) | 41.7±7.0 | 37.6±4.5 | 39.4±5.1 | 36.5±4.3 [†] | -2.33±3.4 | 1.13±5.6 |
| ROM _{knee joint} (deg) | 59.5±5.3 | 57.7±4.3 | 57.0±4.4 [†] | 54.5±7.3 [†] | -2.52±4.4 | -3.17±3.9 |
| ROM _{ankle joint} (deg) | 27.2±8.8 | 23.6±5.8 | 30.4±7.1 | 26.8±5.5 | 3.16±5.2 | 3.25±8.0 |

Values are mean±SD.

COM: center of mass, ROM: range of motion

* Significant difference ($P<0.05$) WS group vs. NS group.

[†] Significant difference ($P<0.05$) Baseline vs. Week 12.

結果の要旨

加齢に伴う身体機能の低下は、高齢者の身体的自立度を著しく阻害させ、病気や転倒・骨折、さらには認知症といった介護状態と強く関係すると言われている。近年では加齢に伴う筋力や筋量の減少（サルコペニア）が、高齢期に生じる虚弱（フレイル）の中核的症状であるとされ、具体的なサルコペニア予防の確立が課題となっている。サルコペニアは身体不活動による廃用が主たる原因であることから、運動は極めて重要なサルコペニア予防方法とされているが、科学的エビデンスの報告は少ないのが現状である。運動は安全かつ効果的であることが必須であり、それらを考慮した高齢者の運動プログラムに関する研究は数少ない。

申請者は上記の課題に対する運動プログラムを提案するために、身体活動量と身体機能もしくはサルコペニアの関係について明らかとし、日常生活下でのサルコペニア予防としての介入方法を提案し、その効果検証を行うことを目的としている。本論文は下記の3つの研究課題により構成されている。

1. 高齢者の下肢筋力と歩行速度と3軸加速度計による身体活動量との関連性を横断調査により検証した。その結果、男性高齢者において、比較的正確な身体活動量の測定法である3軸加速度計で評価した中強度（3.0～5.9METs）の身体活動の時間は、下肢筋力と最大歩行速度と低～中程度の正の相関関係を示した。さらに同時に1軸加速度計を用いて検証を行っており、1軸では3軸で認められた関連性については示されず、高齢者の身体活動量を定量化する上で、生活活動を比較的正確に捉える事が可能な3軸加速度計を用いる必要性も主張することができた。

2. 高齢者の日常身体活動量がサルコペニアに及ぼす影響を調査した。骨格筋量の指標には部位別多周波生体電気インピーダンス分光法を用い、骨格筋量の低下と歩行速度または握力の低下をサルコペニアと定義、分析を実施した。その結果、サルコペニアと判定されたのは男性で20.4%、女性では32.6%であった。身体活動量との関連性に関しては、男性においてのみサルコペニア群と非サルコペニア群の間に、歩数・不活動時間・中強度活動時間に有意な差が認められ、歩数と中強度活動時間が多い程、サルコペニアのリスクを下げる事が明らかとなった。

3. 靴に重量負荷した靴（重量負荷靴）を着用した介入が骨格筋量に及ぼす影響を無作為比較試験により検証した。その結果、中敷に約200g重量負荷した靴の運動介入は、高齢者の下肢筋量の増加が期待でき、生活の中で自然に取り入れやすい実用的かつ効果的な運動プログラムとなることを明らかとした。

本論文の内容は次の点を中心に高く評価できるものである。

1. 地域在住高齢者を対象に大規模に身体活動量を客観的に評価した研究は少なく、さらに本研究で用いた 3 軸加速度計は二重標識水により測定の妥当性が検証された唯一の機器である。高齢者の身体活動量を測定する上で、より精度の高い機器を用いた加速度計で活動量を分析することで、より詳細な情報が得られている点で新規性が高いという。本論文で示された結果から、日常身体活動量の増加だけでなく、筋肥大を意識した運動の必要性が示され、運動プログラムを作成する上で有益な情報を提示することができた。

2. 本研究では骨格筋量の指標として、多周波生体電気インピーダンス分光法を用いている。この手法は電気特性上、体内の細胞内液量と外液量を分離して評価することができる。この細胞内液量は相対的に外液量の増加する高齢者においては、真の筋細胞量に近い値と考えることができる。本研究では多人数を対象として、幅広い身体活動量を有している高齢者のデータをまとめたものであり、サルコペニアの予防としての身体活動量の重要性あるいは運動の必要性を示した重要な研究である。

3. 重量負荷靴は運動としての意識を極力減らした「生活介入」であるとも考えられ、日常の生活の中で着用するだけで自然に骨格筋適応を引き起こす新たな運動プログラムといえる。本研究では歩容の変化などを認めたことから、歩行指導の必要性など検討が必要があるが、運動指導は実施せずに、着用だけで骨格筋量の増加が示されたことは極めて興味深い結果である。

以上、審査の結果、本論文の著者はスポーツ健康科学博士の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

外部評価

1) 池永昌弘, 山田陽介, 三原里佳子, 吉田智恵, 藤井慶輔, 森村和浩, 平野雅巳, 江西浩一郎, 進藤宗洋, 清永明. 中敷に重量負荷した靴の運動介入が高齢者の下肢筋量御飛び歩容に及ぼす影響.

体力科学.61(5) 469-477. 2012

2) M.Ikenaga, Y.Yamada, N.Takeda, M.Kimura, Y.Higaki, H.Tanaka, A.Kiyonaga and Nakagawa Study Group Dynapenia, gait speed and daily physical activity measured using triaxial accelerometer in older Japanese men. J Phys Fitness Sports Med. 3(1): 147-154, 2014