

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：33703

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K10943

研究課題名（和文）閉経後中高年女性の骨を、低回数ハイインパクトレジスタンストレーニングで強くする

研究課題名（英文）Low repetition high-impact resistance training is effective for increasing the bone strength of postmenopausal middle-aged women

研究代表者

加藤 尊 (Kato, Takeru)

朝日大学・保健医療学部・教授

研究者番号：00329913

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：閉経後中高年女性の大腿骨近位端部、橈骨遠位端部の骨塩量、骨密度定量をDXA法に定量した。大腿骨頸部、大腿近位部全体の骨塩量、大腿中位部筋横断面積の変化率は、それぞれ-2.5%、-1.6%、-3.0%であった。橈骨遠位端部は1/3、1/6、1/10を測定し、同様にそれぞれが、-0.3%、-1.1%、-0.1%と、大腿骨近位端部&大腿中位部筋横断面積と比べ低値であった。Gボールを用いたスクワット運動の床反力分析結果は、体重の0.49倍が足底部に、また、ボール側には3.0倍の床反力が加わっていたことを示しており、効果的であったという先行研究の床反力値の閾値（2.5-8.0）の中であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究期間にコロナ渦に見舞われ、実験、測定の継続が実験期間中に完了しないという、今まで経験したことない状況に直面した。その中でも、中高齢者への腰椎骨強度増強の試みとしてGボールを用いたスクワット運動の床反力を、2枚のフォースプレートを用いてそれぞれ測定できた。この運動ではターゲットは腰椎に置いていたため、ボール側のGRFが体重の3倍程度確認できたことは成果であった。また、腰椎、大腿骨近位端部の骨塩量は同様に骨折頻発箇所である橈骨遠位端部と比べ低値（-2.5～-1.6% vs -0.3%、-1.1%、-0.1%）であることも明らかとなり、積極的な腰椎を含めた下肢の強化の必要性が明かされた。

研究成果の概要（英文）：After menopause, bone mineral content and bone density were quantified by DXA method at the proximal end of the femur and the distal end of the radius in middle-aged and elderly women. The percentage changes in bone mineral content of the femoral neck, total proximal femur, and cross-sectional area of the mid-thigh muscle were -2.5%, -1.6%, and -3.0%, respectively. The distal end of the radius was measured at 1/3, 1/6, and 1/10, showing similarly low values compared to the proximal end of the femur and mid-thigh muscle cross-sectional area, with changes of -0.3%, -1.1%, and -0.1%, respectively. Floor reaction force analysis of squat exercises using a G-ball showed that 0.49 times body weight was applied to the lower extremities and 3.0 times to the ball side, falling within the threshold (2.5-8.0) of floor reaction force values from previous studies, indicating effectiveness.

研究分野：運動生理学 スポーツバイオメカニクス

キーワード：閉経後中高齢女性 高強度レジスタンストレーニング 腰椎 大腿骨近位端部 橈骨遠位端部 Gボール 大腿中位部筋横断面積 BMD BMC

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生活習慣病対策は今や我が国だけの問題ではなく、世界的に見てその対策は急務である。近年我が国では、水泳を含むアクアビクスは中高年者へ大変に人気があり広く根付いている。アクアビクスの生活習慣病に対する効果は、呼吸循環器系や筋量の維持増進を含め広く知られている。しかし、水中では浮力による負荷としての体重の軽減、水の粘性抵抗による動作の減速など、骨強度増強に最適な環境とは言えない。例えば水泳競技選手の骨塩量、骨密度がハイインパクトスポーツ選手と比べ大幅に低値であること、宇宙飛行士が地球への帰還後、大幅に骨密度低下することなどからも明らかである。

骨を短時間に素早く歪ませる代表的な運動として、ハイインパクトジャンプトレーニングがある。一日 10 回、週 3 回の最大努力による垂直方向へのジャンプトレーニングで若年女性の大腿骨頸部、腰椎の骨密度が有意に上昇したとの報告もある (Kato et al. 2006)。しかしながら、ハイインパクトジャンプトレーニングは中高年女性の誰もが安全に出来るトレーニングとは言えない。そこで、中高年が無理なく行える骨を素早く歪ませる運動負荷として、我々は運動動作速度に着目した。バランスボールを用い、連続したスクワット運動の導入を検討した。ボールに座り弾性を利用しながら連続的に素早くスクワット運動を行うことで、自らの筋力のみで行うスクワット運動と比べ、動作速度が格段に高まる。すなわち、極めて短い 1 回 1 回の動作時間で、より高い負荷を骨へ加えることになる。日常生活で起こる負荷を越えるストレスが骨を歪ませ、その歪に適應して骨は強くなる (メカノスタット理論 : Frost 1997)。我々が知る限り、骨の負荷となる運動動作の速度、骨へ負荷する時間に着目したヒト対象の研究は未だ見当たらない。

複合的に行うトレーニングの一つとしての有酸素性トレーニングを、水泳や水中運動としてしている点も、今までは見られなかったポイントである。様々な生理学的な面から見た有用性が数多くのエビデンスとして明示されている水泳、水中運動であるが、その特徴から骨に対しては運動負荷として十分ではないという可能性が示唆されて来ている。特に競技選手レベルの若年層での比較による研究が多いが、中高年、特に閉経後をターゲットとした研究は非常に限られている。水中でのトレーニングと運動自体の動作速度が速く、負荷する時間の短いトレーニングとの組み合わせは、我々が知る限りヒトを対象とした研究は見当たらない。

### 2. 研究の目的

骨量維持・増加に最も効果的な運動負荷様式は、短時間に素早く骨を歪ませる動作様式である。そこで本研究では、閉経後の中高年女性の骨を素早く歪ませる様式の運動を取り入れ、水泳やアクアビクスとの組み合わせが骨に及ぼす影響を明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

#### 骨塩量 & 骨密度 & 筋横断面積測定

スイミングスクールに週 3 回以上、3 年以上継続して通っている 32 名の閉経後中高年女性 (69.7 ± 4.0 歳、154.3 ± 4.3cm、50.6 ± 7.0 kg) の大腿骨近位端部、橈骨遠位端部の骨塩量、骨密度定量を DXA 法にて一名の診療放射線技師が定量した。また、大腿中位部筋横断面積を MR 画像より算出し分析した。

#### G ボールを使ったスクワット運動の床反力測定

Kister 社製のフォースプレイトを 2 台並べ、G ボール側と両脚側の双方を同時に測定した。サンプリング周波数は 1 KHz にて、連続した 10 回の G ボールを使用したスクワット運動を 14 名の成人男性に行ってもらった。

### 4. 研究成果

大腿骨頸部の骨塩量は、3.14 ± 0.38 vs 3.06 ± 0.38g、大腿近位部全体では、24.37 ± 2.39 vs 23.98 ± 2.80g、大腿中位部筋横断面積は 108.03 ± 16.53 vs 104.70 ± 14.16 平方センチであった。大腿骨頸部骨塩量、大腿近位部全体、さらに、大腿中位部筋横断面積は、順に -2.5%、-1.6%、-3.0% という変化率であり、全てで減少していた。

一方で橈骨遠位端部は 1/3、1/6、1/10 と 3 か所を測定しているが、それぞれ 0.58 ± 0.09 vs 0.58 ± 0.09、0.55 ± 0.09 vs 0.054 ± 0.09、0.63 ± 0.12 vs 0.64 ± 0.12g であった。1/3、1/6、1/10 では、-0.3%、-1.1%、-0.1% が前年度からの変化率であった。

どの値も大腿骨近位端部 & 大腿中位部筋横断面積と比べ低値であった。

2 台のフォースプレイトをそれぞれ両脚の足部と G ボールに分け、垂直方向に加わる力の分析を行った。足部の全被検者平均値は 384.6 ± 25.8N であり、ボール側は 2314.4 ± 274.9N であった。これは体重の 0.49 倍が足底部に、また、ボール側には 3.0 倍の床反力が加わっていたこと

となる。

様々なスポーツ動作の床反力を測定し、その運動を行った際、有意に骨塩量増えたという先行研究の体重当たりの値は 2.5-8.0 であった。今回のスクワット運動では、G ボールを介して床面に加えた力は骨塩量増量に効果があった体重当たりの値に含まれていた。

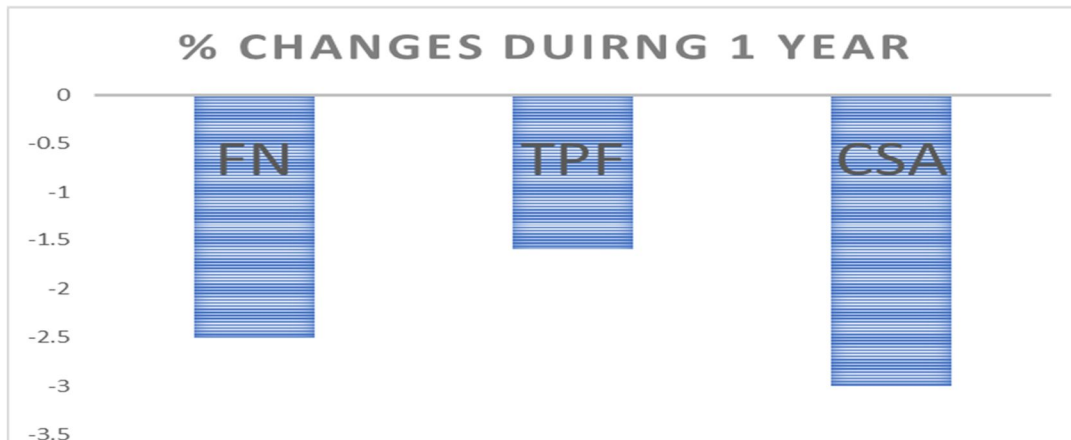


図1. 大腿骨頸部 (FN)、大腿骨近位端部全体 (TPF) の骨塩量、大腿中位部筋横断面積 (CSA) の変化率の参加者平均

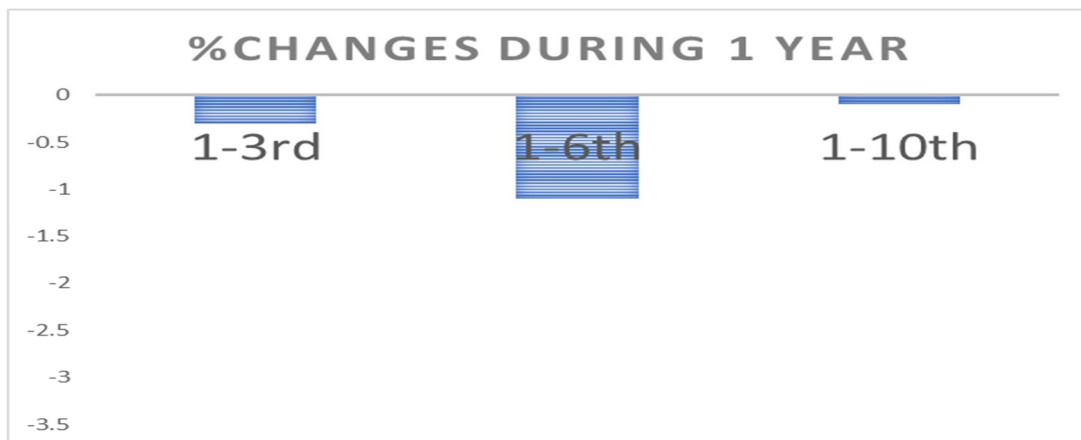


図2. 橈骨遠位端部 1/3、1/6、1/10 各部の骨塩量変化率の全参加者平均値

中高齢者はやはり、上半身の骨塩量減少率の方が下肢より低く、G ボールを使ったスクワット運動のような運動を積極的に取り入れることで、骨折頻発箇所である大腿骨遠位端部や頸部の骨塩量維持増進に役立つ可能性が見いだされた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kato T, Yamashita T, Terashima T, Sugino K, K Takami and Sugajima Y.	4. 巻 3
2. 論文標題 Site-Specific Changes in BMD Over a Two-Year Period In Swimming Trained Postmenopausal Middle-Aged Women	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 ASIA-SINGAPORE CONFERENCE ON SPORT SCIENCE- Practical challenges encountered in sport and solutions adopted in Sport Science'	6. 最初と最後の頁 33-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 加藤 尊	4. 巻 3
2. 論文標題 第25回ヨーロッパスポーツサイエンス科学学会に参加して	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 朝日大学保健医療学部健康スポーツ科学科紀要	6. 最初と最後の頁 26-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kato T, Tomioka T, Yamasita T, Yamamoto H, Sugajima Y, Ohnishi N	4. 巻 19
2. 論文標題 Nordic Walking Increases Distal Radius Bone Mineral Content in Young Women	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Sports Science and Medicine	6. 最初と最後の頁 237-244
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kato T, Yamashita T, Terashima T, Sugino K and Sugajima Y.	4. 巻 1
2. 論文標題 Bone mineral content, dietary intake, and flow-mediated dilation in regularly exercising middle-aged women.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asia-Singapore Conference on Sport Science -Practical challenges encountered in sport and solutions adopted in Sport Science	6. 最初と最後の頁 12-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kato T, Kondo K, Sugino K, Yamashita T, Umemura Y,	4. 巻 14(2)
2. 論文標題 Leg rise increase Lumbar spine bone mineral content and density in young women,	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Asian journal of sports medicine	6. 最初と最後の頁 e129645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5812/asj-sm-129645	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 加藤 尊	4. 巻 2(1)
2. 論文標題 第9回Asia Conference on Kinesiology 2018に参加して	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 朝日大学保健医療学部健康スポーツ科学科紀要	6. 最初と最後の頁 21-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計12件(うち招待講演 1件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Kato T, Yamashita T, Terashima T, Sugino K, K Takami and Sugajima Y.
2. 発表標題 Site-Specific Changes in BMD Over a Two-Year Period In Swimming Trained Postmenopausal Middle-Aged Women
3. 学会等名 2022 ASIA-SINGAPORE CONFERENCE ON SPORT SCIENCE- Practic,e-ISBN: 978-981-18-4564-2aI challenges encountered in sport and solutions adopted in Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeru KATO, Kiho Kondo, Takenori Yamashita, Misato Inagaki, Yasuhiro Sugajima
2. 発表標題 Relationship between diet, vascular endothelial function and bone mineral content in women
3. 学会等名 The 25th Annual congress of the European College of Sports Science (Sevilla) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kato T
2. 発表標題 Effect of home-based resistance exercise on bone mineral density at femoral neck in young women
3. 学会等名 The 25th Annual congress of the ECSS (Sevilla) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kato T, Sugajima Y.
2. 発表標題 Middle-aged postmenopausal women have different response on BMC between proximal femur and distal radius.
3. 学会等名 Asian Conference on Kinesiology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato T, Yamashita T, Terashima T, Sugino K & Sugajima Y.
2. 発表標題 Bone mineral content, dietary intake and flow-mediated dilation in regularly trained middle aged women
3. 学会等名 ACSS (Singapore) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 尊
2. 発表標題 骨量維持のための運動・スポーツの考え方と方法
3. 学会等名 第19回日本抗加齢学会(横浜)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 尊、山下剛範、杉野香江、若杉悠佑、近藤妃畝、寺島 徹
2. 発表標題 閉経後中高年女性の腰椎、大腿骨近位部骨塩量、大腿中位部筋横断面積、骨形成、骨吸収マーカの1年間の変動
3. 学会等名 日本体力医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉野香江、若杉悠佑、山下剛範、寺島徹、加藤尊
2. 発表標題 運動習慣のある閉経後女性の骨密度変化と食習慣の関連
3. 学会等名 日本栄養改善学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kato T, Yamashita T, Terashima T, Sugino K, Sugajima Y
2. 発表標題 Middle-aged postmenopausal women have different response on BMC between proximal femur and distal radius.
3. 学会等名 Asian Conference on Kinesiology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉野香江、若杉悠佑、山下剛範、寺島徹、加藤尊
2. 発表標題 中高年女性のロコモティブシンドロームの現状と身体組成および身体機能の関連について
3. 学会等名 日本栄養改善学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 尊、山下剛範、杉野香江、若杉悠佑、近藤妃畝、寺島 徹
2. 発表標題 スイミングスクールに通う閉経後中高年女性の部位別骨塩量変化 -大腿骨近位端部と橈骨遠位部に着目して-
3. 学会等名 日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三谷悠、山下剛範、加藤尊
2. 発表標題 スイミングスクールに通う閉経後中高年女性の骨塩量・骨密度経年変化はサイトスペシフィックか、
3. 学会等名 日本人間工学会東海支部会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 加藤 尊、北川 薫	4. 発行年 2020年
2. 出版社 市村出版	5. 総ページ数 103
3. 書名 運動とスポーツの生理学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	山下 剛範  (Yamashita Takenori)  (10410937)	鈴鹿医療科学大学・保健衛生学部・准教授   (34104)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	寺島 徹  (Terashima Touru)  (10449499)	鈴鹿医療科学大学・薬学部・助教    (34104)	
研究分担者	今泉 佳宣  (Imaizumi Yoshinobu)  (00288391)	朝日大学・保健医療学部・教授    (33703)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関