

BMRT スロー法による健康増進への取り組み

順天堂大学大学院 中 潟 崇
(共同研究者) 医薬基盤健康栄養研究所 山 田 陽 介
順 天 堂 大 学 内 藤 久 士

Implications for Exercise Prescription and Health Promotion Using Body Mass Resistance Training with Slow Movement

by

Nakagata Takashi

Sportology Center,

Juntendo University Graduate School of Medicine

Yosuke Yamada

National Institute of Health and Nutrition,

National Institute of Biomedical Innovation, Health and Nutrition

Hisashi Naito

Graduate School of Health and Sports Science,

Juntendo University

ABSTRACT

【Background】 The benefit of body weight resistance exercise with slow movement (BWRE-slow) for muscle function is well-documented, but not for energy metabolism. We aimed to examine physiological responses (e.g., energy expenditure (EE),

respiratory exchange ratio (RER), and blood lactate (La)) during and after BWRE-slow compared with EE-matched treadmill walking (TW).

【Methods】 Eight healthy young men (23.4 ± 1.8 years old, 171.2 ± 6.2 cm, 63.0 ± 4.8 kg) performed Squat, Push-up, Lunge, Heel-raise, Hip-lift, and Crunch exercises with BWRE-slow modality: Both the concentric and eccentric phase were set to 3 sec. A total of 3 sets (10 repetitions) with 30 sec rest between sets were performed for each exercise (26.5 min). On another day, subjects walked on a treadmill for 26.5 min during which EE during exercise was matched to that of BWRE-slow with the researcher controlling the treadmill speed manually.

【Results】 The time course changes of EE and RER were measured. The EE during exercise for BWRE-slow (92.6 ± 16.0 kcal for 26.5 min) was not significantly different from the EE during exercise for TW (95.5 ± 14.1 kcal, $P=0.36$). BWRE-slow elicited greater recovery EE (40.55 ± 3.88 kcal for 30-min) than TW (37.61 ± 3.19 kcal, $P=0.029$). RER was significantly higher in BWRE-slow during and 0-5 min after exercise, but became significantly lower during 25-30 min after exercise, suggesting greater lipid oxidation was induced about 30-min after exercise in BWRE-slow compared with TW.

【Conclusion】 We also indicated BWRE-slow has 3.1 METs in average which is categorized into moderate-intensity physical activity.

要 旨

【背景】 自体重スローレジスタンス運動 (Body Weight Resistance Exercise with slow movement, BWRE-slow) は筋力や筋機能の向上に効果的であることは報告されているが、エネルギー代謝やエネルギー消費量に関しては検討されていない。本研究は BWRE-slow 中および終了後 30 分間のエネルギー消費量、呼吸交換比、心拍数、乳酸濃度を、運動中のエネルギー消費量を同等に揃えたウォーキングと比較することとした。

【方法】 8 名の若年男性 (23.4 ± 1.8 歳, 171.2 ± 6.2 cm, 63.0 ± 4.8 kg) は、スクワット、プッシュアップ、ランジ、ヒールレイズ、ヒップリフト、腹筋の 6 種目を上記の順番に 3 セットずつ実施した。実施速度は挙上・降下ともに 3 秒 (往復 6 秒) とし、1 セット 10 回、セット間休息を 30 秒とし、合計 3

セットずつ実施した (合計 26 分 30 秒)。別日に運動時間、運動中のエネルギー消費量を BERT-slow と同等に揃えたトレッドミルウォーキング (TW) を実施した。

【結果】 BWRE-slow は平均 3.1 メッツで、運動中のエネルギー消費量は条件間に差を認めなかった (BWRE-slow; 92.6 ± 16.0 , TW; 95.5 ± 14.1 kcal, $P=0.36$)。運動後 30 分間のエネルギー消費量は BWRE-slow が TW よりも有意に高かった (40.55 ± 3.88 kcal for 30-min) than TW (37.61 ± 3.19 kcal, $P=0.029$)。運動終了直後 (0-5 分) の呼吸交換比は、BWRE-slow が TW よりも有意に高かったが、運動後 30 分間の終盤 (25-30 分) においては TW よりも有意に低く、エネルギー基質として脂質酸化量が高かった。

【結論】 若年男性において BWRE-slow は平均 3.1 メッツの中等度強度に相当する身体活動であるこ

とを示した。

緒言

加齢に伴う筋量、骨量や身体機能の低下を抑制するために、ウォーキングのような有酸素運動だけでなくレジスタンス運動 (Resistance exercise, RE) を週2日以上実施することが身体活動量・運動に関する国際的なガイドラインで推奨されている³¹⁾。また Kamada らは、高齢女性において週145分以下のREが虚血性心疾患や死亡率の低下に貢献することを報告している¹²⁾。

一般的にREは専用のトレーニングマシンやフリーウェイトを用いた高負荷・高強度(最大挙上重量の約60-80%)のトレーニングが推奨されている。しかし近年の研究から、低負荷・高回数(Low-load High-volume)^{9,18)} または低負荷スロートレーニング^{24,25)} のREでも筋肥大や筋力の向上が得られることが明らかにされている。しかしこれらの研究は前述したようなマシンやフリーウェイトを用いたREであり、施設へのアクセスなどの問題から誰もが簡単に実施可能ではない。一方、自分の体重のみを用いたRE (Body Weight Resistance Exercise, BWRE) は施設や特別な器具を用いる必要がなく、筋力や筋機能の向上が報告されている。またBWREの限界である「低負荷」という点を克服するために、Watanabeら²⁹⁾ は筋発揮張力維持スロー法 (BWRE with slow movement, BWR-slow) を用いた介入研究を行い、健康な高齢者において筋力や筋機能が向上することを報告し、さらにTsuzukuらも同様に、高齢者において筋肥大に伴う筋力の向上を報告している^{27,28)}。これらの先行研究からBWRE-slowが筋量・筋力の向上に有効なREであるが、一方エネルギー代謝 (Energy metabolism) やエネルギー消費量 (Energy expenditure, EE) に関する研究はこれまでにほとんど行われていない。

マシンやフリーウェイト、サーキット形式の

REのエネルギー消費量 (EE) は5-10kcal/min^{4,6,14)} とされており、運動中のエネルギー基質酸化量は中等度強度のウォーキングやジョギングとは異なることが報告されている¹³⁾。一般的に運動中のエネルギー基質酸化量は運動強度に依存するため、高強度のREは運動中に脂質よりも糖質を優先的に用いるが、呼気ガス分析を用いた間接熱量測定やその他の方法を用いた研究から、運動終了30-60分後は β 酸化システムを用いて運動中に用いた糖質の再補充と脂質の選択的利用が明らかにされている¹⁶⁾。また運動中のEEをREとトレッドミルウォーキング運動を揃えた研究において、運動終了後のRERはREが有意に低かったことが報告されている^{7,10)}。

我々はBWRE-slowの運動強度メッツ (Metabolic equivalents, METs) は1.8-3.7メッツと、マシンやフリーウェイトを用いたREよりも低いことを明らかにした¹⁹⁾。つまりBWRE-slowの運動強度メッツは時速4km程度の通常ウォーキングとほぼ同等である。しかしウォーキングは持続的な運動様式であるのに対して、REは30-60秒の運動と休息を繰り返す間欠的な運動様式である。したがって運動強度メッツが同等のREとウォーキングを運動時間および運動中のエネルギー消費量を揃えた場合、運動後の酸素摂取量 (Recovery oxygen consumption, ROC) や基質酸化量は異なるものと予想されるが、この点に関しては我々の知る限り研究は行われていない。

そこで本研究は、BWRE-slowの運動中および運動後の生理学的応答を明らかにすることを目的とした。

1. 方法

年齢22-27歳の8名の男性が本研究に参加した(23.4±1.8歳, 171.2±6.2cm, 63.0±4.8kg, 表1)。すべての対象者は大学で毎年実施される健康診断を受診し、高血圧、心電図、心疾患を含む既往的

表 1 身体的特徴 (n=8)

項目	平均値	標準偏差
年齢 (yrs)	23.4 ± 1.8	
身長 (cm)	171.2 ± 6.2	
体重 (kg)	63.0 ± 4.8	
BMI	21.5 ± 1.2	
体脂肪率 (%)	11.9 ± 2.9	

に問題ないことを確認した上で本研究に参加した。対象者 8 名は週 1-3 日定期的な運動を実施しており、本研究で実施する BWRE-slow には十分慣れていた。本研究参加前に、口頭及び書面による同意説明を行い、インフォームドコンセントを得た後に研究に参加した。本研究は順天堂大学スポーツ健康科学部倫理委員会の承認を得た。

1. 1 研究デザイン

全対象者は自体重スロートレーニング (BWRE-slow) 条件をトレッドミルウォーキング (TW) 条件の前に実施した。これは TW 条件のエネルギー消費量を BWRE-slow のエネルギー消費量に揃えるためである。すべての測定は順天堂大学運動生理学研究室内の実験室で、気温 20 度、湿度 50% に管理された条件で実施した。

実験スケジュールを図 1 に示す。対象者は実験前日の激しい身体活動量・運動を禁止し、前日 13 時前に昼食を食べた以降は水のみ摂取可とし、夕方 18 時までには研究室に到着した。夕食は対象者の体重に基づき、摂取カロリーを計算した食事 (タンパク質 15%、脂質 25%、炭水化物 60%) を 19 時に摂取した。その後は絶食 (水のみ可) とし、

23 時に研究室内に宿泊し、翌朝 7 時に起床した。その後排泄を行い、安静 30 分以上経過した後に身長 (0.1cm 単位)、体重 (0.1kg 単位) を測定した。体脂肪率および骨格筋量は空腹状態および排泄を行った状態で、生体電気インピーダンス法 (Inbody) を用いて推定した。その後実験室内に移動し、呼気ガス分析器 (AE-300s, ミナト医科学社製) およびフェイスマスクを用いて安静時代謝 (Resting energy expenditure, REE) を 30 分間測定した。REE 測定後、運動を実施した。これらすべてのスケジュールは BWRE-slow, TW 条件どちらも同じとした。

1. 2 Body weight resistance exercise with slow movement (BWRE-slow)

スクワット、プッシュアップ、ランジ、ヒールレイズ、ヒップリフト、クランチの 6 種目を採用し、全対象者はこの順番で実施した。6 種目の実施方法は我々の先行研究に記載する¹⁹⁾。RE は大筋群および多関節運動を前半に実施し、後半に小筋群および多関節運動を実施することが推奨されている¹⁾ ため、スクワットを 1 種目目、クランチを 6 種目目とした。実施速度は、挙上 3 秒、降下 3 秒 (1 往復合計 6 秒)、10 回を 1 セット、1 種目あたり 3 セットとした。対象者はメトロノームの音に合わせて合計 26 分 30 秒実施した。

1. 3 Treadmill walking (TW)

全対象者はトレッドミル上で 26 分 30 秒の

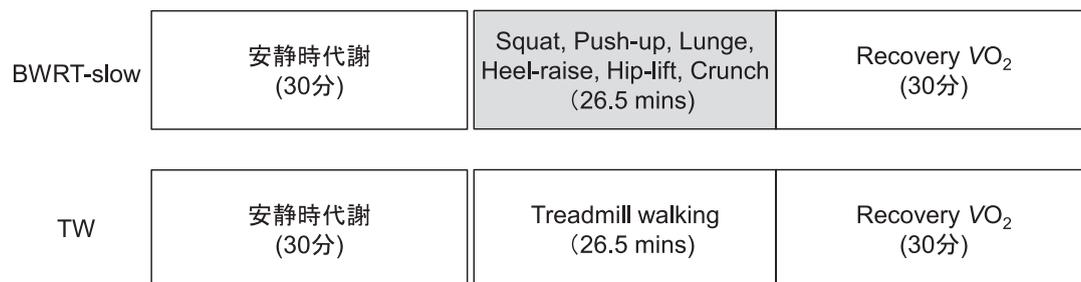


図 1

ウォーキングを、BWRE-slow 条件から最低 2 日以上の間隔を空けた後に実施した。TW 運動中のエネルギー消費量を BWRE-slow に揃えるため、TW 条件を BWRE-slow 条件の後に実施した。トレッドミルの勾配を 0 度、初期速度 60-70m/min に設定した 4 分間のウォーミングアップを行った後、運動中のエネルギー消費量を揃えるためにトレッドミルの速度を 2 分毎に調整しながら 22 分 30 秒 TW を実施した。

1. 4 エネルギー消費量測定

先行研究¹⁹⁾に基づき呼気ガス分析器およびフェイスマスクを用いエネルギー消費量を測定した。実験開始前に 2L のシリンジを用いてフローセンサーの流量校正、既知濃度のガス (O₂ 14.98%, CO₂ 4.99%, N₂ balance; O₂ 20.73%, N₂ balance) を用いてガス校正を行った。酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) を用いて EE (kcal/min) を計算した³⁰⁾。呼吸交換比 (RER) は $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ として計算した。REE30 分間のうち後半 10 分間の平均値を各個人の REE とした。運動終了後、速やかに脚固定のイスに座り、フェイスマスクを装着したまま 30 分間の酸素摂取量 (Recovery oxygen consumption, ROC) を測定した^{8,23)}。

1. 5 心拍数, 主観的運動強度

実験中すべての時間において心電計 (フクダ電子社製) を用いて心拍数を測定した。主観的運動強度 (RPE) は Borg スケール (6-20 ステップ) を用いて運動終了後に測定した。

1. 6 血中乳酸濃度

耳朶採血を行い、20 μ l の血液を運動直後、運動終了 5, 10, 20, 30 分後に血中乳酸濃度の分析を行った (EKF Diagnostik, Barleben, Germany)。

1. 7 統計処理

得られたデータは Microsoft Office Excel 2017 および統計パッケージ (SPSS) を用いて集計、解析を行った。データは平均値 \pm 標準偏差 (Mean \pm SD) で示した。主効果 (運動様式、時間) および交互作用を検討するために two-way repeated ANOVA および One-way repeated ANOVA を行った。BWRE-slow 条件と TW 条件に有意差を認めた場合、対応のある t 検定を行った。統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

2. 結果

表 2 に運動前 (安静)、運動中および運動後の

表 2 運動前 (安静)、運動中および運動後の生理学的応答 (Mean \pm SD)

項目	BWRT-slow	TW	p value
運動前 (安静)			
EE (kcal/min)	1.2 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1	0.28
RER	0.86 \pm 0.03	0.88 \pm 0.03	0.15
HR (bpm)	66.8 \pm 11.4	66.8 \pm 9.6	1.00
La (mM·L ⁻¹)	0.9 \pm 0.2	0.9 \pm 0.2	0.90
運動中			
EE (kcal/min)	3.5 \pm 0.6	3.6 \pm 0.5	0.36
METs	3.1 \pm 0.3	3.2 \pm 0.4	0.22
RER	0.98 \pm 0.03	0.84 \pm 0.02	< 0.001*
HR (bpm)	98.8 \pm 14.0	87.2 \pm 10.6	< 0.001*
La (mM·L ⁻¹)	3.5 \pm 1.0	0.9 \pm 0.2	< 0.001*
RPE	13.5 \pm 2.3	9.0 \pm 2.0	< 0.001*
運動後 30 分			
EE (kcal)	40.6 \pm 3.9	37.6 \pm 3.2	0.029*

BWRT-slow, body weight resistance training with slow movement; TW, treadmill walking; EE, energy expenditure; RER, respiratory exchange ratio; Ex, exercise; METs, metabolic equivalents; HR, heart rate; La, blood lactate; RPE, relative perceived exertion.

*statistically significant.

生理学的応答を示す。

運動開始前の安静時レベルの EE, RER, 心拍数, 血中乳酸濃度は両運動条件間に差は見られなかった。また運動中の EE は BWRE-slow, TW 条件に差は見られなかったことから, 本研究は両運動条件の EE を揃えることができたことを確認した。TW の平均速度は分速 $66.8 \pm 7.8\text{m}$ であった。

運動中の RER, 心拍数, RPE は BWRE-slow が TW よりもすべて有意に高く, また運動終了後の血中乳酸濃度も BWRE-slow が TW よりも有意に高かった (BWRE-slow; $3.5 \pm 1.0 \text{ mmol/L}$, $0.9 \pm 0.2 \text{ mmol/L}$, $p < 0.001$)。

図 2 に運動終了後含むすべての時間帯における EE および RER の 5 分ごとの経時変化を示す。運動中の EE は条件間に差は見られなかったが, 運動終了直後は BWRE-slow が TW よりも有意に高かった。

3. 考 察

本研究では, 呼気ガス分析法と血中乳酸濃度測定を用い, 運動中の EE を同等に揃えた条件において, 自体重スロートレーニング (BWRE-slow) とトレッドミル歩行 (TW) のエネルギー消費量 (EE) と運動後の酸素摂取量 (ROC), 基質酸化量の指標として呼吸交換比 (RER) を調べた。その結果, BWRE-slow の平均 EE は $3.5 \pm 0.6 \text{ kcal/min}$ および 26.5 分間で $92.6 \pm 16.0 \text{ kcal}$ であった。この運動強度は, 中等度 (3.0-5.9 METs) に相当し, BWRE-slow は時速 4km 程度の速度での通常ウォーキングと同等の運動強度であることを明らかにした。また, 運動終了 30 分時点において, RER が低値を示したことから, エネルギー基質酸化量として, 脂質の利用が亢進したと考えられる。

トレーニングマシンやフリーウェイトを用いた従来の高負荷・高強度レジスタンス運動 (RE) は $5-10 \text{ kcal/min}$ (5-8 METs) であると報告されている^{4, 6, 14}。本研究より, BWRE-slow は $3.5 \pm 0.6 \text{ kcal/min}$ および $3.1 \pm 0.3 \text{ METs}$ と従来の RE よりも低いことが示された。これは BWRE-slow は絶対的負荷 (重量) がマシンやフリーウェイトを用いた RE よりも小さいことが影響しているものと考えられる。また運動中の心拍数 (HR) は, 従来の高負荷 RE は, 140-160 bpm (約 80% HRmax)^{2, 3)} であるが, BWRE-slow の HR は $98.8 \pm 14.0 \text{ bpm}$ (約 50% HRmax) であった。したがって, BWRE-slow は, 少なくとも健康な若年男性では低～中程度の運動強度であると考えられる。

マシンやフリーウェイトを用いた RE 終了後に酸素摂取量の亢進 (ROC) が報告されている^{5, 20}。例えば, Binzen らは, 合計 45 分間の高負荷 RE (10 回 × 3 セット, 70-80% 1 回最大挙上重量) 終了後 2 時間の ROC は, コントロール条件 (座位)

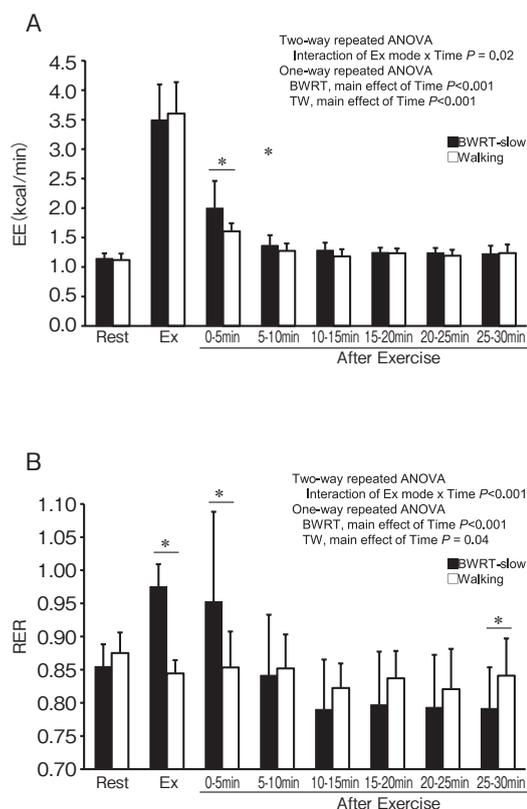


図 2

と比較して18.6%高い (RE: 167 ± 12 kcal, コントロール: 136 ± 2 kcal) ことを報告している⁵⁾。図2 (A) に示すように、BWRE-slow 後のEEは0-5, 5-10 および 15-20 分で運動前の安静時レベルより有意に高かったが、20-25 および 25-30 分で安静時レベルと有意差は見られず、30分間合計EEは 40.6 ± 3.9 kcal であった(表2)。したがって、運動中のEEとROCを考慮すると、BWRE-slow 中の合計EEは140-150kcalであった。

本研究の強みは、BWRE-slow と TW 運動中のエネルギー消費量を揃え、運動後の酸素摂取量 (ROC) や基質酸化量を比較検討した点である。表2に示すように、運動終了後30分間のRERは両運動間に差は見られなかったが、two-way ANOVAの結果、運動終了30分間の経時的变化はBERE-slow と TW で交互作用を認めた。BWRE-slow 運動中および終了直後のRERは高かったが、その後徐々に低下していった。高負荷REを用いた先行研究^{5, 26)}においても、運動終了後にRERが低下したことが報告されており、この結果はRE終了後に脂質の利用が高まったことを示唆している。また本研究のモデル論文となるBraunらは、RE終了直後に高かったRERが運動終了30分後以降においてTWよりも有意に低かったことを報告している⁷⁾。この要因の1つとして、運動中のエネルギー基質酸化量が影響しているものと考えられる。強度の高い運動は、運動中のエネルギー基質酸化量として糖をより多く利用し²¹⁾、運動後に糖を再補充する過程においてより脂質の利用が高まる^{11, 16)}。本研究において、運動中のRERおよびLaはBWRE-slowがTWよりも有意に高かったことから、BWRE-slow と TW は運動中のEEは同等にもかかわらず、BWRE-slow は運動中のエネルギー基質酸化量として糖をより利用する運動様式であることを示している。したがってREの負荷(強度)はマシンやフリーウェイトと比較して小さいものの、BWR-

slowにおいても、運動終了後に脂質の利用が高まる可能性がある。

我々の研究では、いくつかの限界がある。第1に、呼気ガス分析による $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RERと血中乳酸濃度で基質酸化量を評価している。呼気ガス分析測定によって得られたRERは、口から組織への O_2 供給が速いが、組織から口への CO_2 排出は時間遅延を有するので、筋肉組織レベルにおける呼吸商(RQ)を完全に反映しない¹⁶⁾。したがって、運動中の基質酸化の過大評価および過小評価につながる可能性がある^{12, 15, 16, 23)}。2つ目として、我々は運動終了後の酸素消費量(ROC)の測定は30分であるため、ROCおよび基質酸化に対するBWREのより長時間における影響(例えば24時間)は不明なままである。過去の研究において、高強度および低強度運動中の基質酸化が運動後期間(24時間)に補償されることが報告されている^{17, 22)}。最後に、本研究のサンプルサイズは小さく(n=8)、健常な若年男性に限られる。BWRE-slowは、少なくとも健常な若年男性では軽度から中等度の身体活動であったが、BWRE-slowの強度は他の対象者では相対的に高い強度の運動となる可能性がある。例えば15-20ml/kg/minの $\dot{V}O_{2max}$ または5METsの全身持久力を持つ高齢者の場合、BWRE-slowは約60% $\dot{V}O_{2max}$ 運動に相当する。したがって健康運動指導士やトレーナーは、BWRE-slowを用いた運動プログラムを提供する場合、特に体力レベルが低い個人または高齢者(65歳以上)を使用する個人のフィットネスレベルを考慮する必要がある。これらの点について、さらなる研究が行われることが重要である。

4. 結論

これまでBWRE-slowのEEは十分に調べられていなかった。本研究により健康な若年者BWRE-slowのEEは、 3.5 ± 0.6 kcal/min および

3.1±0.3METsであり、運動強度は時速4kmの速度での通常の歩行とほぼ同等である。またBWRE-slowは従来のマシンやフリーウエイトを用いたREよりも負荷（強度）は小さいが、運動中の基質酸化量はより糖質を利用し、運動終了25分後以降はRERが低下した。この結果は、BWRE-slow運動中に消費した骨格筋グリコーゲンを運動後に補うために脂肪酸化が促進したと考えられる。BWRE-slowは、人々が日常の身体活動や運動のバリエーションを提供するために有益な運動であると同様に、施設や天候の影響によって運動実施ができない場合でも実施可能で、通常ウォーキングとほぼ同等の運動強度の運動である。

謝 辞

本研究に対する助成をいただいた公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団にこの場を借りて感謝申し上げます。また本研究に参加していただいた被験者および測定補助者の方々に感謝申し上げます。

文 献

- 1) American College of Sports Medicine: American college of sports medicine position stand, Progression models in resistance training for healthy adults, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **41**, 687-708 (2009)
- 2) Ballor D.L., Becque M.D., Katch V.L.: Metabolic responses during hydraulic resistance exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **19**, 363-367 (1987)
- 3) Ballor D.L., Becque M.D., Marks C.R., Nau K.L., Katch V.L.: Physiological responses to nine different exercise:Rest protocols, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **21**, 90-95 (1989)
- 4) Beckham S.G., Earnest C.P.: Metabolic cost of free weight circuit weight training, *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, **40**, 118-125 (2000)
- 5) Binzen C.A., Swan P.D., Manore M.M.: Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **33**, 932-938 (2001)
- 6) Bloomer R.J.: Energy cost of moderate-duration resistance and aerobic exercise, *J. Strength Cond. Res.*, **19**, 878-882 (2005)
- 7) Braun W.A., Hawthorne W.E., Markofski M.M.: Acute epoc response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **94**, 500-504 (2005)
- 8) Brehm B.A., Gutin B.: Recovery energy expenditure for steady state exercise in runners and nonexercisers, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**, 205-210 (1986)
- 9) Burd N.A., West D.W., Staples A.W., et al.: Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men, *PLoS One.*, **5**, e12033 (2010)
- 10) Burleson M.A., Jr., O'Bryant H.S., Stone M.H., Collins M.A., Triplett-McBride T: Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **30**, 518-522 (1998)
- 11) Henderson G.C., Fattor J.A., Horning M.A., et al.: Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the postexercise recovery period, *J. Physiol.*, **584**, 963-981 (2007)
- 12) Kamada M., Shiroma E.J., Buring J.E., Miyachi M., Lee I.M.: Strength training and all-cause, cardiovascular disease, and cancer mortality in older women: A cohort study, *Journal of the American Heart Association.* **6**, (2017)
- 13) Knuttgen H.G.: Strength training and aerobic exercise: Comparison and contrast, *J. Strength Cond. Res.*, **21**, 973-978 (2007)
- 14) Lagally K.M., Cordero J., Good J., Brown D.D., McCaw S.T.: Physiologic and metabolic responses to a continuous functional resistance exercise workout, *J. Strength Cond. Res.*, **23**, 373-379 (2009)
- 15) Luszczuk M., Flis D.J., Szadejko I., Laskowski R., Ziolkowski W.: Excess post-exercise oxygen consumption and fat oxidation in recreationally trained men following exercise of equal energy expenditure: Comparisons of spinning and constant endurance exercise, *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, (2017)
- 16) Malatesta D., Werlen C., Bulfaro S., Cheneviere X., Borrani F.: Effect of high-intensity interval exercise

- on lipid oxidation during postexercise recovery, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **41**, 364-374 (2009)
- 17) Melanson E.L., MacLean P.S., Hill J.O.: Exercise improves fat metabolism in muscle but does not increase 24-h fat oxidation, *Exerc. Sport Sci. Rev.*, **37**, 93-101 (2009)
- 18) Mohamad N.I., Cronin J.B., Nosaka K.K.: Difference in kinematics and kinetics between high- and low-velocity resistance loading equated by volume: Implications for hypertrophy training, *J. Strength Cond. Res.*, **26**, 269-275 (2012)
- 19) Nakagata T., Naito H., Yamada Y.: Metabolic equivalents of body weight resistance training with slow movement: Implications for exercise prescription and health promotion, *J. Exerc. Physiol. Online.*, **21**, 29-38 (2018)
- 20) Osterberg K.L., Melby C.L.: Effect of acute resistance exercise on postexercise oxygen consumption and resting metabolic rate in young women, *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, **10**, 71-81 (2000)
- 21) Romijn J.A., Coyle E.F., Sidossis L.S., et al.: Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration, *Am. J. Physiol.*, **265**, E380-391 (1993)
- 22) Saris W.H., Schrauwen P.: Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men, *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, **28**, 759-765 (2004)
- 23) Schleppenbach L.N., Ezer A.B., Gronemus S.A., Widenski K.R., Braun S.I., Janot J.M.: Speed- and circuit-based high-intensity interval training on recovery oxygen consumption, *International journal of exercise science.* **10**, 942-953 (2017)
- 24) Tanimoto M., Ishii N.: Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men, *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*. **100**, 1150-1157 (2006)
- 25) Tanimoto M., Sanada K., Yamamoto K., et al.: Effects of whole-body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men, *J. Strength Cond. Res.*, **22**, 1926-1938 (2008)
- 26) Thornton M.K., Potteiger J.A.: Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on epoc, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **34**, 715-722 (2002)
- 27) Tsuzuku S., Kajioka T., Endo H., Abbott R.D., Curb J.D., Yano K.: Favorable effects of non-instrumental resistance training on fat distribution and metabolic profiles in healthy elderly people, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **99**, 549-555 (2007)
- 28) Tsuzuku S., Kajioka T., Sakakibara H., Shimaoka K.: Slow movement resistance training using body weight improves muscle mass in the elderly: A randomized controlled trial, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, **28**, 1339-1344 (2018)
- 29) Watanabe Y., Tanimoto M., Oba N., Sanada K., Miyachi M., Ishii N.: Effect of resistance training using bodyweight in the elderly: Comparison of resistance exercise movement between slow and normal speed movement, *Geriatrics & gerontology international.* **15**, 1270-1277 (2015)
- 30) Weir J.B.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *J. Physiol.*, **109**, 1-9 (1949)
- 31) World Health Organization: Global recommendations on physical activity for health. (2010)