

# バランスボールを用いたトレーニングによる酸素摂取量と運動強度～若年女性と高齢女性における比較～

日本体育大学大学院体育科学研究科

**研究代表者：大野 誠**

**研究協力者：植田 央**

メディカルフィットネス研究所

**太藻ゆみこ**

日本体育大学体育研究所

**向本敬洋**

聖マリアンナ医科大学整形外科教室

**別府諸兄**

## 要旨

本研究では若年女性および高齢女性を対象に、ボール体操の初級者用プログラム（以下、ボール体操）における運動中および運動後の生理的応答を酸素摂取動態の面から観察し、運動強度とEEについて解析することを目的とした。

実験1では、若年女性10名（年齢23.0 ± 2.0歳、以下、若年群）を対象とし、ボール体操と速歩の酸素摂取量 oxygen uptake（以下、 $\dot{V}O_2$ ）および運動強度を比較した。ボールは、Gymnic Classic Plus BRQのサイズ65cmを用いた。プログラムの内容は、5分間のウォームアップ、20分間の主運動、5分間のクールダウンとし、計30分間のボール体操を行った。主運動の20分間では、前半10分間を上下に「弾む」動作、後半10分間を左右に「転がす」動作を行った。さらに、ボール体操とは別の日にトレッドミルを用いて、速歩（95m/分）を30分間行った。ボール体操および速歩実施中の30分間

と、運動終了後90分間、breath by breath法にて呼気ガスを継続的に測定した。その結果、ボール体操（主運動20分間）の $\dot{V}O_2$ は、10.3 ± 2.7 ml/kg/分であり、速歩の15.4 ± 2.5 ml/kg/分と比較して低値を示した（ $p < 0.01$ ）。本研究で用いたボール体操の運動強度は、2.9 ± 0.8 METsであり、速歩の4.3 ± 0.9 METsと比較して低値を示した（ $p < 0.01$ ）が、厚生労働省による健康づくりのための運動指針2006における活発な身体活動（運動）に該当することが明らかになった。

実験2では、高齢女性10名（年齢74.1 ± 5.1歳、以下、高齢群）を被験対象として、実験1と同様な手順でボール体操を実施させ、その生理的応答について若年群と比較検討した。その結果、本研究で用いたボール体操の運動強度は、高齢群では3.6 ± 0.5 METsであり、若年群と比べて有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。一方、エネルギー消費量は、若年群では52.9 ± 16.0 kcal/20分、高齢群では57.4 ± 22.7 kcal/20分であり、両群間

に有意な差はみられなかった。動作別の運動強度について解析したところ、「弾む」動作は若年群  $2.3 \pm 0.7$  METs, 高齢群  $3.0 \pm 0.5$  METs, 「転がす」動作は若年群  $3.4 \pm 0.9$  METs, 高齢群  $4.2 \pm 0.6$  METs であり, いずれの年齢群においても「転がす」動作の運動強度が「弾む」動作のそれよりも有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

以上の成績から本研究で用いたボール体操初級者用プログラム (主運動 20 分間) は, 厚生労働省による健康づくりのための運動指針 2006 における活発な身体活動 (運動) に該当することが明らかになったと同時に, 若年女性よりも高齢女性においてより運動強度が高まり, さらに「弾む」動作よりも「転がす」動作においてより運動強度が高いことが明らかになった。したがって, 本研究で用いたボール体操初級者用プログラムは, 高齢女性の健康づくりに役立つトレーニングプログラムの一つであると言えることができよう。

## 緒言

バランスボールは, 1963 年にイタリアのプラスチック製造会社が開発し, スイスでリハビリテーションのための医療器具として使用され, エクササイズボールや G ボール, フィットネスボールなど様々な名称で普及してきた。本邦では 1980 年初期に, アスリートの競技パフォーマンス向上の目的としてバランスボールが使用されるようになり, 筋機能および平衡感覚機能を向上させるために活用されている<sup>1,2)</sup>。先行研究によると, バランスボール運動により立位姿勢が安定し,

座位バランス能力が改善したことなどが報告<sup>3,4)</sup>されている。また, Marshall ら<sup>5)</sup>によると, 床上での腕立て伏せ運動に比べて, バランスボール上での腕立て伏せ運動の方が筋活動が 25~30%高まることを報告している。このように, バランスボールを用いて様々な運動を行うことにより, 平衡感覚機能の向上や筋活動レベルをより高く維持できることが明らかとなり, 競技パフォーマンスの向上のみならず, 健康維持・増進や様々な生活習慣病の予防・改善を目的に, 小児から高齢者, 有疾患者に至るまで幅広く実施されている<sup>6~8)</sup>。

一方, 誰にでも簡単に行いうる有酸素運動としては, 古くからウォーキングが知られている。ウォーキングは個人の体力に合わせて運動強度や運動時間など様々な条件を調節することが可能である。しかしながら, 実際には, 下肢に疾患を有する対象者では十分に実施できない場合もある。したがって, このような対象者には下肢の関節への負荷を軽減した状態で運動を行う工夫が必要となる。一方, ボール体操はバランスボール上で座位にて行うため, 立位での運動と比べ下肢関節に対する床からの衝撃が小さく<sup>9)</sup>, 股関節や膝関節に障害のある対象者にも負担が少ない運動といわれる。林ら<sup>10~12)</sup>は椅座位で行うチェア・エクササイズ「すわるピクス」の生理的応答を調査した。その結果, 中高年者および下肢関節障害を有する患者において安全に実施でき, また, 運動強度を調節することにより, 有酸素運動の効果を最大限に引き起こしうることを報告している。

星野ら<sup>13)</sup>は 59 歳から 86 歳の女性 24 名

を対象に、バランスボールを用いて体操を1年間実施した結果、歩幅の増大および歩行時加圧面積と歩行時加重の減少、起居動作時間の短縮が認められたことを報告した。しかし、ボール体操における酸素摂取量 oxygen uptake (以下、 $\dot{V}O_2$ ) および運動強度について詳細に解析した報告は見当たらない。

ところで、厚生労働省から発表された健康づくりのための運動指針 2006<sup>14)</sup>では、健康づくりに役立つ身体活動量の目安として、『週 23 エクササイズ (メッツ・時) の活発な身体活動 (運動・生活活動) ! そのうち 4 エクササイズは活発な運動』を目標に挙げている。ここで、活発な身体活動とは 3 metabolic equivalents (以下、METs) 以上の身体活動と定義されており、この指針に掲載されている身体活動のエクササイズ表には、各種の身体活動の運動強度が METs で提示されているが、ボール体操の運動強度については記載されていない。そこで、ボール体操のなかでも特に初級者用プログラムにおけるエネルギー消費量 energy expenditure (以下、EE) や運動強度を明らかにすることは、運動指導の中でボール体操を処方する際の重要な基礎資料になると考えられる。

このような視点から、本研究では若年女性および高齢女性 (表 1) を対象に、ボール体操の初級者用プログラムにおける運動中および運動後の生理的応答を酸素摂取動態の面から観察し、運動強度と EE について解析することを目的とした。

## 方法

### A. 被験対象

被験対象の身体的特徴を表 1 に示した。被験対象は、若年女性 10 名 (以下、若年群) と高齢女性 10 名 (以下、高齢群) とした。若年群は、ボール体操の経験がなく、特別な競技を行っておらず、運動習慣は週に 1~3 時間であった。高齢群は、ボール体操の経験が 2 年以上あり、週に 1~2 回の頻度でバランスボール体操を実践していた。なお、全ての被験対象は喫煙および飲酒習慣を有していなかった。被験対象の健康状態については、入念に聴き取り調査を行い、測定を行うにあたり支障のない健康体であることを確認した。本研究は、ヘルシンキ宣言の精神に則って実施し、研究の開始に先立ち、研究の主旨、内容および注意点について口頭で説明し、研究へ参加する同意書面により得た。また日本体育大学倫理審査委員会の承認 (承認番号: 第 008-H03 号) を得て実施した。

被験対象の身体的特徴は、身長では若年群、血圧では高齢群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。また、両群の体重と BMI に有意な差はみられなかったものの、体脂肪率は高齢群が若年群より有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

表1. 被験対象の身体的特性

	若年群 (n=10)	高齢群 (n=10)
年齢(歳)	21.8 ± 2.1	74.1 ± 5.1 **
身長(cm)	158.6 ± 5.1	150.9 ± 3.6 **
体重(kg)	54.0 ± 5.8	52.4 ± 6.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.2 ± 2.5	23.0 ± 3.2
体脂肪率(%)	26.5 ± 4.1	33.5 ± 3.6 **
収縮期血圧(mmHg)	101.3 ± 13.8	146.9 ± 24.1**
拡張期血圧(mmHg)	69.1 ± 7.3	85.1 ± 10.1**

平均 ± 標準偏差 \*\* p<0.01  
BMI: body mass index

## B. 実験1：ボール体操と速歩の比較

### a. 実験スケジュールおよび手順

若年群を被験対象として実験1を行った。測定に際しては、実験前日の運動、飲酒を禁止し、夜9時以降には飲水以外の一切の飲食を禁止とした。実験当日、被験者には空腹のまま、なるべく運動量の少ない手段を用いて実験室へ来るよう指示し、午前9時から測定を開始した。なお、実験室の室温は、22~25℃に設定した。

はじめに、座位安静にて呼気ガスを60分間採取し、安静時の $\dot{V}O_2$ を測定した。次に、ボール体操と速歩を各々1週間の間隔をあけて実施した。呼気ガスおよび心拍数 heart rate (以下, HR) は、運動開始10分前から運動中30分間、運動終了後90分間まで継続して測定した。

### b. ボール体操

使用したバランスボールは、Gymnic Classic Plus BRQ (Ledraplastic, Italia)の65cmサイズであった。運動中に腰部と膝関節の負担を最小限に抑えるため、大腿骨大転子が膝蓋骨の位置よりも高くなるようボールに座り、膝関節の屈曲角度が45~60°になるようボールの空気圧を調節した。なお、被験対象には、大腿後面全体とバランスボールが常に接している状態で座るよう指示した。

ボール体操のプログラムは、健康運動指導士の資格を有する(財)日本フィットネス協会公認エアロビックダンスエクササイズインストラクターが構成したプログラムを採用した。本プログラム<sup>15)</sup>は、下肢に整形外科的障害を有する患者を対象に、EEを増やすとともに下肢筋群の筋力向上およびバランス機能の向上を目的

として開発され、臨床応用されているものである。

プログラムの内容は、運動開始から5分間のウォームアップ、次の20分間の主運動、最後の5分間のクールダウンからなる。主運動の20分間のうち、前半の10分間は左右にステップを踏みながら主に上下に「弾む」動作を行い、後半の10分間は、主に左右に「転がす」動作を行うよう構成した。運動中は音楽のビートに合わせてながら、インストラクターが被験対象と対面しながらデモンストレーションを行った。

### c. 速歩

速歩は、トレッドミル(Health-Jogger HJ-3555 CHUOH-HEALTH, Japan)を用いて、歩行速度を95m/分、傾斜角度0°に設定し、30分間実施させた。なお、ボール体操とは対照的に速歩では、ウォーミングアップとクールダウンを除き、運動開始から終了まで上記の速度で継続的に実施させた。

### d. 測定方法および運動強度とEEの算出方法

呼気ガスは、携帯型呼気ガス分析装置(METAMAX3B, CORTEX, Germany)を用いて breath by breath 法で測定した。本研究で用いた携帯型呼気ガス分析装置は、固定型呼気ガス分析装置と同等な測定精度を有することが報告<sup>16,17)</sup>されている。測定においては、本体とトランスデューサーを接続し、サンプルチューブをセンサーの上の呼気ガス送出口に差し込み、呼気ガスを継続的に採取した。得られた呼気から、1呼吸毎に換気量および、酸素濃度、炭酸ガス濃度が測定され、テレメトリ送信器によって外部に接続されたパ

ソコンに送信される。それらを呼気ガス代謝分析ソフト (MetaSoft, CORTEX, Germany) で分析した。また、HR は、胸部に装着した心拍ベルト (POLAR, Kempele, Finland) によって無線送信され、上記の呼気ガス代謝分析ソフトにオンライン入力した。

運動中 30 分間の HR、 $\dot{V}O_2$  の解析は、運動開始の 4 分前から直前まで (0 分)、運動開始 1~5 分 (5 分)、6~10 分 (10 分)、11~15 分 (15 分)、16~20 分 (20 分)、21~25 分 (25 分)、26~30 分 (30 分) の 6 区間各々の平均値を算出した。なお運動終了後も同様に、5 分間毎の平均値を算出した。

安静時の HR、 $\dot{V}O_2$  は、60 分間測定し、測定開始 5 分から 55 分までの計 50 分間の平均値を算出した。HR および  $\dot{V}O_2$  の平均値は、ボール体操ではウォームアップとクールダウンの時間を除いた主運動 20 分間の平均値を算出し、速歩では 20 分間 (運動開始 6~25 分) の平均値を算出した。

運動強度は、運動中 (20 分間) における平均  $\dot{V}O_2$  を 3.5 ml/kg/分 で除して算出した (以下、運動強度①)<sup>18)</sup>。なお、これとは別に個々の対象者の安静時  $\dot{V}O_2$  (50 分間の平均値) で除した値 (以下、運動強度②) も算出した。

EE は、Elia M and Livesey G の式<sup>19)</sup>を用いて 1 分間の値を算出し、ボール体操では主運動 20 分間、速歩では 20 分間 (運動開始 6 分~25 分) の総和を総 EE とした。

#### e. 統計解析

全ての測定値は、平均±標準偏差で示した。ボール体操、速歩、安静時の 3 者間

の比較には、一元配置分散分析を用い、F 値が有意であった場合には、Fisher の最小有意差法により多重比較検討を行った。また、ボール体操時の動作別分析は、対応のある Student t-test を用いて比較した。なお、有意性の検定には、いずれも 5%未満を採用した。

本研究に参加した被験対象は 10 名であったが、測定期間中に 2 名の被験対象が事情により速歩と安静時の測定に参加できなかったため、統計解析は、ボール体操 10 名、速歩および安静時はそれぞれ 8 名で比較・検討した。

### C. 実験 2 : ボール体操における若年群と高齢群の比較

実験 2 では、高齢群を対象に、実験 1 と同様な手順でボール体操を実施させ、その生理的応答について若年群と比較検討した。

## 結果

### A. 実験 1 : 若年群におけるボール体操と速歩の比較

#### a. ボール体操と速歩の心拍数 (HR) の経時変化

運動中、運動後の HR の経時変化を図 1 に示した。運動中、運動後において全ての時点で、ボール体操と速歩の間に有意な差はみられなかった。また、ボール体操および速歩のいずれも、運動終了直後から 5 分の時点まで HR は安静時よりも有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

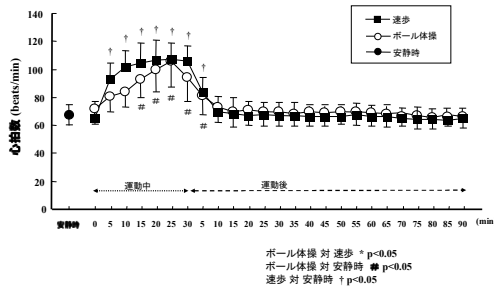


図1. 若年群におけるボール体操と速歩の心拍数(HR)の経時変化

b. ボール体操と速歩の酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>) の経時変化

運動中、運動後の VO<sub>2</sub> の経時変化を図 2 に示した。運動中の VO<sub>2</sub> は、25 分を除いて他の全ての時点で、ボール体操より速歩が有意に高値を示した (p<0.05)。運動終了後の VO<sub>2</sub> は、ボール体操では 1~5 分の時点で、速歩では 1~5 分、11~15 分の時点で、安静時よりも有意に高値を示した (p<0.05)。

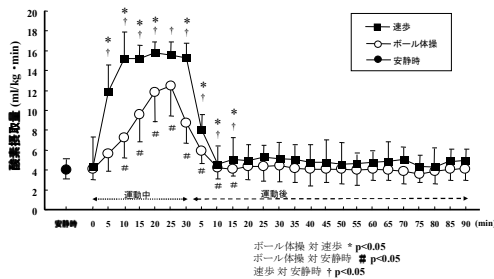


図2. 若年群におけるボール体操と速歩の酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>) の経時変化

c. ボール体操と速歩における各測定項目の比較

ボール体操 (主運動 20 分間)、速歩 (20 分間) における平均 HR、平均 VO<sub>2</sub>、運動強度①・②、総 EE を表 2 に示した。ボール体操における平均 HR は 95.5 ± 14.2 拍/分であり、速歩におけるそれは 105.0

± 12.2 拍/分と比べて有意な差はみられなかった。

ボール体操における平均 VO<sub>2</sub> は 10.3 ± 2.7 ml/kg/分であり、速歩におけるそれは 15.4 ± 2.5 ml/kg/分と比べて有意に低値を示した (p<0.01)。運動強度①は、ボール体操では 2.9 ± 0.8 METs、速歩では 4.3 ± 0.9 METs であり、前者は後者よりも有意に低値を示した (p<0.01)。運動強度②は、ボール体操では 2.6 ± 0.5 METs、速歩では 4.1 ± 0.9 METs であり、前者は後者よりも有意に低値を示した (p<0.01)。

ボール体操 (主運動 20 分間) の総 EE は 52.9 ± 16.0 kcal / 20 分であり、速歩 (20 分間) のそれ 74.9 ± 12.7 kcal / 20 分よりも有意に低値を示した (p<0.01)。

表2. 若年群のボール体操と速歩における各測定項目の比較

	安静時	ボール体操	速歩
平均心拍数( beats/min )	68.0 ± 9.0	95.5 ± 14.2	105.0 ± 12.2
平均酸素摂取量( ml/kg·min )	4.0 ± 0.8	10.3 ± 2.7	15.4 ± 2.5
運動強度①( METs )	1.1 ± 0.3	2.9 ± 0.8	4.3 ± 0.9
運動強度②( METs )		2.6 ± 0.5	4.1 ± 0.9
総エネルギー消費量 ( kcal/20min )	19.5 ± 3.5	52.9 ± 16.0	74.9 ± 12.7
平均 ± 標準偏差			群間比較 * p<0.01
運動強度①: 運動中酸素摂取量 / (3.5ml/kg/分)			
運動強度②: 運動中酸素摂取量 / 安静時酸素摂取量			

d. ボール体操の動作別の比較

ボール体操主運動 20 分間中の前半 10 分間と後半 10 分間を表 3 に示した。前半 10 分間の「弾む」動作における平均 HR は 88.4 ± 11.8 拍/分、平均 VO<sub>2</sub> は 8.4 ± 2.3 ml/kg/分、運動強度は 2.3 ± 0.7 METs、総 EE は 21.6 ± 6.9 kcal / 10

分であった。後半 10 分間の「転がす」動作の平均 HR は  $102.6 \pm 16.8$  拍/分、平均  $\dot{V}O_2$  は  $12.2 \pm 3.0$  ml/kg/分、運動強度は  $3.4 \pm 0.9$  METs、総 EE は  $31.29 \pm 9.24$  kcal / 10 分であった。「転がす」動作における HR、 $\dot{V}O_2$ 、運動強度、総 EE は、「弾む」動作におけるそれらよりも有意に高値を示した ( $p < 0.01$ )。

## B. 実験 2: ボール体操の生理的応答—若年群と高齢群の比較—

### a. ボール体操における心拍数 (HR) の経時変化

ボール体操における HR の経時変化を図 3 に示した。安静時 HR は若年群  $71.9 \pm 11.3$  拍/分、高齢群  $74.1 \pm 5.1$  拍/分であり、両群間に有意な差はみられなかった。運動中 10 分から 30 分まで、運動後では 10 分から 25 分までと 35 分の時点で、若年群より高齢群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。運動後の HR は、若年群では 5 分および 15 分、35 分、60 分の時点、高齢群では 5 分から 20 分の時点まで、安静時よりも有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

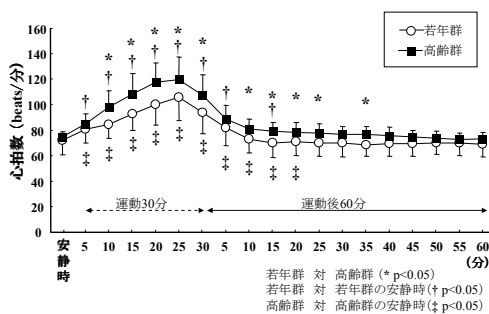


図3. ボール体操における心拍数 (HR) の経時変化—若年群と高齢群の比較—

### b. ボール体操における酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の経時変化

ボール体操における  $\dot{V}O_2$  の経時変化を図 4 に示した。安静時  $\dot{V}O_2$  は若年群  $4.1 \pm 1.1$  ml/kg/分、高齢群  $3.8 \pm 0.7$  ml/kg/分であり、両群間に有意な差はみられなかった。 $\dot{V}O_2$  は、運動中 5 分から 20 分の時点まで、若年群と比べて高齢群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ) もの、運動後は全ての時間帯で両群間に有意な差はみられなかった。運動後の  $\dot{V}O_2$  は、若年群では 5 分の時点、高齢群では 5 分と 10 分の時点で安静時の値より有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

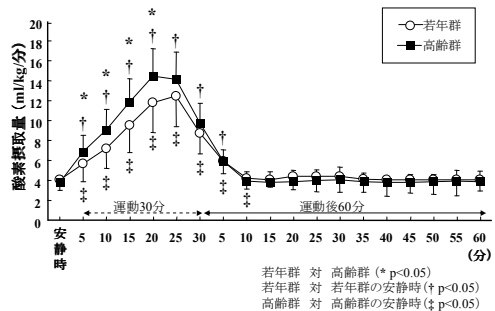


図4. ボール体操における酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の経時変化—若年群と高齢群の比較—

### c. ボール体操における呼吸交換比 (RER) の経時変化

ボール体操における呼吸交換比 respiratory exchange ratio (以下、RER) の経時変化を図 5 に示した。RER は、運動中 10 分、15 分、25 分の時点で若年群より高齢群が有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ) もの、運動後は全ての時間帯で両群間に有意な差はみられなかった。なお、運動中の RER は、若年群では 5 分、10 分、15 分、30 分の時点、高齢群では 5 分、15 分、20 分の時点で安静時の値より有意に低値を示し ( $p < 0.05$ )、運動後は両群ともにすべての時間帯で安静時の値よ

り有意に低値を示した ( $p<0.05$ ).

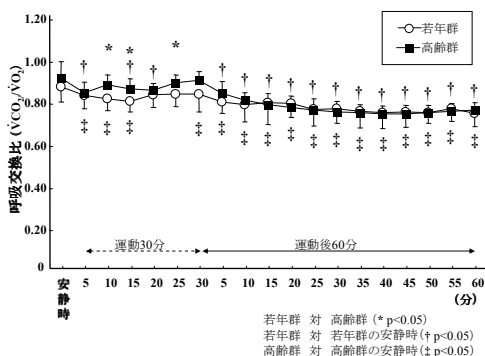


図5. ボール体操における呼吸交換比(RER)の経時変化  
—若年群と高齢群の比較—

d. ボール体操の運動強度およびエネルギー消費量 (EE) の比較

ボール体操の運動強度およびエネルギー消費量 (EE) を表 4 に示した. 運動強度①は, 若年群  $2.9 \pm 0.8$  METs と比べて, 高齢群  $3.6 \pm 0.5$  METs が有意に高値を示し, 運動強度②も若年群  $2.6 \pm 0.5$  METs より高齢群  $3.5 \pm 0.6$  METs が有意に高値を示した ( $p<0.05$ ). なお, 主運動 20 分間の総 EE は, 若年群の  $52.9 \pm 16.0$  kcal / 20 分と高齢群の  $57.4 \pm 22.7$  kcal / 20 分間に有意な差はみられなかった.

表4. ボール体操の運動強度とエネルギー消費量(EE)の比較

	若年群	高齢群
運動強度①(METs)	$2.9 \pm 0.8$	$3.6 \pm 0.5$ *
運動強度②(METs)	$2.6 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.6$ **
エネルギー消費量 20分(kcal)	$52.9 \pm 16.0$	$57.4 \pm 22.7$
平均 ± 標準偏差		* $p<0.05$ , ** $p<0.01$

運動強度①: 運動中酸素摂取量 / (3.5ml/kg/分)  
運動強度②: 運動中酸素摂取量 / 安静時酸素摂取量

e. ボール体操の動作別の運動強度の比較  
ボール体操の動作別の運動強度を表 5 に示した. 若年群では「弾む」動作  $2.3 \pm 0.7$  METs, 「転がす」動作  $3.4 \pm 0.5$  METs, 高齢群では「弾む」動作  $3.0 \pm 0.5$  METs, 「転がす」動作  $4.2 \pm 0.6$  METs であり, いずれの年齢群においても「転がす」動作の運動強度が「弾む」動作のそれよりも有意に高値を示した ( $p<0.05$ ). また, いずれの動作の運動強度も, 高齢群におけるそれが若年群のそれよりも有意に高値を示した ( $p<0.05$ ).

表5. ボール体操の動作別の運動強度の比較

	弾む (10分間)	転がす (10分間)
若年群	$2.3 \pm 0.7$	$3.4 \pm 0.9$ (METs)
高齢群	$3.0 \pm 0.5$	$4.2 \pm 0.6$ (METs)
平均 ± 標準偏差		* $p<0.05$ , ** $p<0.01$

## 5. 考察

### A. ボール体操と速歩の生理的応答について

ボール体操および速歩における HR の経時変化は, 運動中の各時間帯において有意な差はみられなかった (図 1). ボール体操は座位にて運動を行うため, 関節への衝撃的な負荷は小さいが, バランスを保つために多くの筋群の活動が大きくなるため<sup>5)</sup>, HR も速歩と同等に上昇したと推測される. しかし,  $\dot{V}O_2$  の経時変化をみると, 運動開始 25 分の時点を除く他の全ての時間帯で速歩の方が有意に高値を示した (図 2). 本研究で用いたボール体操のプログラムは, 時間が経過すると共に徐々に強度が高まるよう設定されていた



が、速歩は運動開始から終了まで分速 95 m の速度を持続させる条件であった。このように 2 つの運動条件の設定が異なっていたため、ボール体操における  $\dot{V}O_2$  が速歩におけるそれよりも低値を示した可能性が推察される。

運動終了後の  $\dot{V}O_2$  における回復過程は、ボール体操では 5 分、速歩では 15 分の時点で安静時レベルに戻った (図 2)。本研究で採用したボール体操のプログラムは、運動中の定常状態が短く、主運動の前後にクールダウンを含んでいるにも関わらず、運動開始から終了まで同じ速度で実施した速歩と同様の回復過程を示した。先に述べたように、ボール体操は速歩よりも下肢関節の動作が大きいため運動中に動員される筋群の活動が大きいと考えられる。このことから、運動中の定常状態が短くても、使用される筋群の活動が大きければ運動後の  $\dot{V}O_2$  が増加しうる可能性が推察される。しかし本研究では、ボール体操中の使用筋群の動員および活動状況について測定していないため、運動後の  $\dot{V}O_2$  動態に影響する要因については、今後の検討を要する課題である。

## B. ボール体操の運動強度の算出法による差異について

運動強度の値は、 $3.5 \text{ ml/kg/分}^{18)}$  で除した運動強度① ( $2.9 \pm 0.8 \text{ METs}$ ) と、対象者の安静時  $\dot{V}O_2$  で除した運動強度② ( $2.6 \pm 0.5 \text{ METs}$ ) に差異がみられた (表 2)。これらは、実際に測定した被験対象の安静時  $\dot{V}O_2$  ( $4.0 \pm 0.8 \text{ ml/kg/分}$ ) が  $3.5 \text{ ml/kg/分}$  より高値であったことに起因しており、本研究で用いた breath by breath 法の実測値と、1METs の算定に用

いられる一般的な基準 ( $3.5 \text{ ml/kg/分} = \text{体重 } 70\text{kg の人} : 1.2 \text{ kcal/分}^{18)}$  との間に差異がみられることが明らかになった。安静時  $\dot{V}O_2$  の差異に影響する要因としては、熱量測定方法の違いによる可能性が考えられる。本研究で用いた breath by breath 法は、呼気ガス濃度およびガス流量を連続的に積算することにより肺における酸素・炭酸ガスのガス交換をみるものであり、一定の時間の呼気量から呼気成分を分析するダグラスバック法やミキシングチャンバー法と比較した場合、測定値に差異が生じる可能性がある。また、Haugen ら<sup>21)</sup>は、午前より午後の方が基礎代謝は高いことを報告している。本研究の実験開始時間は、全例午前 9 時であったが、測定開始の時間帯によって  $\dot{V}O_2$  の測定値が変動する可能性も考えられる。

## C. ボール体操の動作別比較について

本研究で用いたボール体操の主運動 20 分間では、HR,  $\dot{V}O_2$ , 運動強度, EE の全ての項目において、「転がす」動作の方「弾む」動作よりも有意に高値を示した (表 3)。左右に「転がす」動作は、片脚で身体を支えバランスを保つため、大腿筋群の活動も大きくなる。このため、両脚が地面に着地しており、反動を用いて行える「弾む」動作と比べ、「転がす」動作の運動強度が高値を示したと考えられる。

本研究で用いた「弾む」、「転がす」の動作を取り入れたボール体操のプログラムを、1日 40 分行うと 2 エクササイズに相当すると考えられる<sup>13)</sup>。そこでこの運動を週に 5 日間、毎日 40 分間づつ行うことによって、メタボリックシンドローム改善のために必要とされる 10 エクササイズ/週<sup>22)</sup>の基準を達成できる計算になる。

しかし、「弾む」動作 ( $2.3 \pm 0.7$  METs) 単独では、活発な身体活動として評価される運動強度 (3METs) には到達しえない。これに対して、「転がす」動作 ( $3.4 \pm 0.9$  METs) のみを継続するプログラムを採用した場合には、週に5日のうち2日は40分間、3日は20分間の体操を実施することで、10エクササイズ/週の基準を達成できる計算になる。

さて、本研究で用いたボール体操初級者用プログラムの運動強度および EE が明らかにされたことにより、運動処方を考える際はもとより個人がボール体操に取り組む際に運動量の概要を把握する上で重要な基礎資料になると考えられる。今後は、対象者の体力レベルに対応して幅広い分野で活用できるよう、動作内容や運動時間を考慮し、様々なボール体操プログラムにおける生理的応答を解析する必要があると思われる。

#### D. 若年群と高齢群におけるボール体操の運動強度について

本研究で用いたボール体操初級者用プログラムは、若年群と高齢群のいずれにおいても運動強度 3METs 以上の活発な身体活動 (運動) に該当し、生活習慣病予防・改善の面からも効果を期待しうる運動であることが明らかとなった。

さて、若年群と高齢群の身体特性を比較した結果、体重および BMI は、両群間に有意な差がみられなかったものの、体脂肪率は若年群と比べて高齢群のほうが有意に高値 ( $p < 0.01$ ) を示していた (表 1)。一般に、加齢に伴い身体活動、筋力、基礎代謝量は低下する<sup>23~26)</sup> ことはよく知られており、とくに除脂肪体重の減少<sup>27)</sup> は顕著であるといわれる。Fukagawa ら<sup>28)</sup>

は、除脂肪体重の減少にともない安静時  $\dot{V}O_2$  も低下するが、高齢者の場合には組織の代謝活性との関係も深いことを報告した。また Tzankoff と Norris<sup>29)</sup> は、高齢者の基礎代謝量の低下は筋肉量の減少と筋自体の  $\dot{V}O_2$  の低下によることを報告している。しかし、本研究の高齢群における安静時  $\dot{V}O_2$  ( $3.8 \pm 0.7$  ml/kg/分) は、若年群の  $4.1 \pm 1.1$  ml/kg/分との間に有意な差はみられなかった (表 1)。この一因として、高齢群の被験対象全員が2年以上のボール体操実践経験があり、日頃からよく運動を心がけている対象であったことが影響している可能性を指摘することができる。

Poole ら<sup>30)</sup> は、絶対強度で下肢エルゴメータ運動中の  $\dot{V}O_2$  を比較し、高齢者の  $\dot{V}O_2$  は若年者と有意な差がないということ報告した。また、この結果について、動脈酸素較差は若年者よりも高いことに起因しており、加齢に伴って低下した活動筋への血流量を補うために酸素利用率をあげようとする適応であるという可能性を示唆している。さて、本研究における運動中の経時変化は、運動中に HR では10分の時点から運動終了まで、 $\dot{V}O_2$  では運動開始から20分の時点まで、若年群よりも高齢群が有意に高値を示した (図 3, 4)。これは、下肢エルゴメータ運動よりも全身を使うボール体操の方がより多くの  $\dot{V}O_2$  を消費するということが裏付けられる結果であると考えられる。また、ボール体操は、多くの運動単位を動員させる可能性を指摘することもできよう。

さて、高齢群の場合は、「弾む」動作 ( $3.5 \pm 0.5$  METs) のみを行っても、若年群が「転がす」動作 ( $3.4 \pm 0.9$  METs) を継

続するプログラムを実施した場合と同等の身体活動量になることが予測される。さらに、高齢群における「転がす」動作 ( $4.2 \pm 0.6$  METs) は、若年群における速歩に匹敵する運動強度であることは注目に値する。すなわち、高齢群ではあえて速歩を行わなくとも、ボール体操における「転がす」動作を15分間継続することで1エクササイズの身体活動量を達成することができる計算になる。

一般に高齢者では若年者よりも体力が低下し、下肢の筋力低下や障害を併発する可能性が高まるが、このようなケースでは速歩より負担が少ないにもかかわらず同等の運動強度を期待しうる運動処方の一つとして、「転がす」動作を中心としたボール体操を提案できることが明らかになった点は特筆に値するといえよう。

## 6. まとめ

- A 若年群におけるボール体操初級者用プログラムの運動強度は  $2.9 \pm 0.8$  METs であり、速歩 ( $4.3 \pm 0.9$  METs) と比べて有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。
- B ボール体操初級者用プログラムの運動強度は、若年群 ( $2.9 \pm 0.8$  METs) と比べて、高齢群 ( $3.6 \pm 0.5$  METs) で有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。
- C 動作別の運動強度は、「弾む」動作が若年群  $2.3 \pm 0.7$  METs、高齢群  $3.0 \pm 0.5$  METs であり、「転がす」動作は若年群  $3.4 \pm 0.9$  METs、高齢群  $4.2 \pm 0.6$  METs であった。いずれの年齢群においても、「転がす」動作の運動強度が「弾む」動作のそれよりも有意に高値を示した ( $p < 0.05$ )。

- D 高齢群におけるボール体操の「転がす」動作の運動強度は、若年群における速歩のそれとほぼ同等であった。
- E 以上の成績から本研究で用いたボール体操初級者用プログラム(主運動20分間)は、厚生労働省による健康づくりのための運動指針2006における活発な身体活動(運動)に該当することが明らかになったと同時に、若年女性よりも高齢女性においてより運動強度が高まり、さらに「弾む」動作よりも「転がす」動作のほうが運動強度が高いことが明らかになった。したがって、本研究で用いたボール体操初級者用プログラムは、高齢女性の健康づくりに役立つトレーニングプログラムの一つであると言えることができよう。

## 謝辞

本研究は、平成20年度財団法人日本股関節研究振興財団の研究助成によるものであります。財団法人日本股関節研究振興財団に深謝いたします。

## 7. 参考文献

- 1) Jeffrey M, Willardson. : Core stability training: applications to sports conditioning programs. JStrength Cond Res 2007, 21(3): 979-85.
- 2) Stanton R, Reaburn PR, Humphries B. : The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. J Strength Cond Res 2004, 18(3): 522-8.
- 3) 中谷敏昭, 灘本雅一, 森井博之. : 身体動揺に及ぼすバランスボール・トレーニングの効果. 体力科学

- 2001, 50: 643-646.
- 4) 長谷川聖修. : 体ほぐし, 体力向上および姿勢改善からみた G ボール運動の効果. 体育科学 2001, 30: 102-114.
  - 5) Marshall P, Murphy B. : Changes in muscle activity and perceived exertion during exercises performed on a swiss ball. Appl Physiol Nutr Metab 2006, 31(4): 376-83.
  - 6) 平井陽子, 白木仁, 覚張秀樹ほか : バランスボールトレーニングが平衡機能に与える影響. 臨床スポーツ医学 2004, 21(6): 677-683.
  - 7) Yoshiki Kamiyama, Takako Shirasawa, Takeshi Kawaguchi, et al. : Study on the Effects of Muscle Training by Community Inhabitants on Medical Economy. International Journal of Sport and Health Science 2006, 4: 606-616.
  - 8) Gregory J Lehman, Brandon MacMillan, Ian MacIntyre, et al. : Shoulder muscle EMG activity during push up variations on and off a Swiss ball. Dynamic Medicine 2006, 5(7): 1-7.
  - 9) 林達也. : 座位を基本とした有酸素運動・レジスタンストレーニングの臨床的有用性. 体力科学 2005, 2: 44.
  - 10) 林達也. : Editorial Report 話題の最前線 「生活筋力」を向上させる座位プログラム 2004, 66: 36-39.
  - 11) 林達也. : 生活習慣病の予防と改善のためのチェアエクササイズ—京都大学第 2 内科開発の座位での有酸素運動プログラム(特集 座位でのエクササイズ—発展するチェアエクササイズとボールエクササイズ). Sportsmedicine 2001, 35: 13-16.
  - 12) 林達也. 生活習慣病改善のためのチェア・エクササイズ「すわるビクス」. 肥満研究 2003, 9(1): 84-85.
  - 13) 星野克之, 別府諸兄, 杉原俊弘, 石井庄次, 増田敏光, 日比野豊, 西山敬浩, 青木治人 : 転倒予防教室における高齢者の歩行の変化. 骨折 2005, 27(1) : 102-105.
  - 14) 厚生労働省 (運動所要量・運動指針の策定検討会). 健康づくりのための運動指針 2006~生活習慣病のために~<エクササイズガイド 2006> 2006, 7.
  - 15) 別府諸兄, 太藻ゆみ子 : 変形性股関節症に対する運動療法の実際—エクササイズボールを使用したボール太操—. 糸満盛憲, 戸山芳昭編. 私のすすめる運動器疾患保存療法実践マニュアル. 全日本病院出版会, 2007, 144-151.
  - 16) 高見澤格. 携帯型呼気ガス分析装置 (METAMAX3B を中心に). エレクトロニクスの臨床 : 心臓リハビリテーション特集, 2005, 1, 45-49.
  - 17) 田島明彦, 伊藤春樹. 携帯型呼気ガス分析器の人工肺による基礎的精度検定について. 心臓リハビリテーション, 2005, 10, 11-13.
  - 18) Jette M, Sidney K, Blumchen G. : Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of

- functional capacity. *Clin Cardiol.* 1990, 13(8): 555-565.
- 19) Elia, M, Livesey, G. : Theory and validity of indirect calorimetry during net lipid synthesis. *Am. J. Clin. Nutr.* 1983, 47: 591-607.
- 20) 加登万裕子, 嶋田裕哉, 古市泰郎ほか: 斜歩行時の運動強度の推定. *日本運動生理学雑誌* 2009, 16(1): 9-16.
- 21) Haugen HA, Melanson EL, Tran ZV, et al.: Variability of measured resting metabolic rate. *Am J Clin Nutr.* 2003, 78(6): 1141-1145
- 22) 津下一代: 第 18 回日本臨床スポーツ医学会 学術集会 シンポジウム II : メタボリックシンドロームの予防と治療 2. 健康づくりのための運動指針 2006 (エクササイズガイド) を共通言語に!. *日本臨床スポーツ医学会誌* 2008, 16(3).
- 23) 韓一栄, 仲立貴, 向本敬洋, 大野誠: 高齢女性における歩行速度と下肢筋力の左右バランスに関する研究. *日本体育大学紀要* 2005, 35(1): 51-56.
- 24) Aniansson, A. : Muscle morphology, enzyme activity and muscle strength in men and women. *Clin. Physiol.*, 1981, 1 : 73-86.
- 25) Lexell, J. : Aging and human muscle, observation from Sweden. *Can. J. Appl. Physiol.*, 1993, 18 : 2-17.
- 26) Rogers, M. A. : Change in skeletal muscle with aging, *Effects of exercise training*, ed. by J. O. Holloszy. *Exer. Sports Sci Rev.*, 1993, 21 : 65-102.
- 27) Keys A, Taylor HL, Grande F. : Basal metabolism and age of adult man. *Metabolism* 1973, 22(4) : 579-587.
- 28) Fukagawa, N. K., Bandimi, L. G. and Young, J. B. : *Am. J. Physiol.* 1990, 259 : E233-8.
- 29) Tzankoff, S. P. and Norris, A. H. : Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes. *J Appl Physiol* 1997, 43 (6) : 1001-1006.
- 30) Poole JG, Lawrenson L, Kim J, Brown C, Richardson RS. Vascular and metabolic response to cycle exercise in sedentary humans: effect of age. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2003;84(4) : H1251-1259.