

## 抵抗性運動時の血圧上昇に及ぼす クロストレーニングの効果

流通経済大学 大槻 毅  
(共同研究者) 同 吉川 徹  
同 膳法 亜沙子

### **Effects of Cross-Training on Resistance Exercise Blood Pressure in Older Adults**

by

Takeshi Otsuki, Toru Yoshikawa,  
Asako Zempo-Miyaki  
*Faculty of Sport and Health Sciences,  
Ryutsu Keizai University*

#### ABSTRACT

An exaggerated blood pressure response to exercise is a risk factor for cardiovascular disease. To test whether combined aerobic and low-intensity resistance exercise training (cross-training) decreases blood pressure during resistance exercise, 43 healthy older individuals participated in a 6-week program as a part of the cross-training group (3 times a week: walking, 60-75% maximal heart rate and 30 min and 4 resistance exercises using one's body weight, 8-10 repetitions and 2-3 sets) or the control group (asked not to modify their lifestyle during the experimental period). The cross-training intervention decreased systolic blood pressure (SBP) during a one-hand arm curl exercise at 20% and 40% of one-repetition maximum. In addition, decreases in exercise SBP during the experimental period were greater in the training group versus the

control group. These results suggest that combined aerobic and low-intensity resistance training decreases blood pressure during resistance exercise.

## 要 旨

運動時血圧は心血管疾患の独立した危険因子である。本研究では、有酸素性運動と低強度抵抗性運動のクロストレーニングが抵抗性運動時の血圧に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。43人の健康な中高齢者が対照群（生活習慣を変えない）と介入群（週3回のウォーキング [60～75%最大心拍数, 30分間] および筋力づくり運動 [4種目, 8～10回×2～3セット, 主に自体重による]）に分かれて実験に参加し、介入期間（6週間）の前後で安静時およびアームカール運動時（最大挙上重量の20%および40%）に血圧を測定した。その結果、介入前に比べて介入後に、介入群における運動時の収縮期血圧（systolic blood pressure, SBP）は低値を示した。また、運動時SBPの低下量は対照群に比べて介入群で大きかった。安静時のSBPに、介入期間中の変動は認められなかった。これらの結果から、有酸素性運動と低強度抵抗性運動のクロストレーニングは抵抗性運動時の血圧を低下させると考えられた。

## 緒 言

有酸素性運動時の過剰な血圧上昇は心血管疾患の独立した危険因子である<sup>1,2)</sup>。また、抵抗性運動時の過剰な血圧上昇も、仮面性高血圧症の指標であること<sup>3)</sup>、心血管疾患の独立した危険因子である動脈ステイフネスおよび自由行動下24時間血圧と相関関係にあること<sup>3,4)</sup>、将来の本態性高血圧症の発症に関連すること<sup>5)</sup>が報告されている。著者らは先行研究で、中高齢者における抵抗性運動時の血圧は、6週間の有酸素性トレーニング

により改善（低下）すること<sup>6)</sup>、その改善は一酸化窒素（血管弛緩性物質）の産生増大に関連することを示した<sup>7)</sup>。しかし、健康の維持増進においては筋力を増強させる抵抗性トレーニングも重要なトレーニング手段であり、健康づくり運動の現場では有酸素性と抵抗性の運動が並行して行われる（クロストレーニング）ことが多い。有酸素性と抵抗性のトレーニングは心血管系に異なる影響を及ぼすことが知られており、例えば、動脈ステイフネスは有酸素性トレーニングで低下する一方、高強度の抵抗性トレーニングでは増大する場合もある<sup>8)</sup>。従って、クロストレーニングが抵抗性運動時の血圧に及ぼす影響は、改めて検討する必要がある。そこで本研究では、中高齢者におけるクロストレーニングが抵抗性運動時の血圧に及ぼす影響を検討することとした。

## 1. 研究方法

### 1. 1 対象者

本研究の対象者は中高齢者43人である。対象者は、対照群（n = 28）または介入群（n = 15）を任意で選択して本研究に参加した。日常生活における身体活動量が多いと介入効果が偽陰性になる恐れがあるので、研究参加時点における身体活動量が多い者は分析対象から除外した。身体活動量の多少は、厚生労働省の国民健康・栄養調査を基準に判断した（後述）。また、降圧剤の服用者、研究期間中に服薬・運動習慣（本研究のトレーニングは除く）が変わった者、データに欠損があった者も分析対象から除外した。

実験開始に先立ち、対象者に文書および口頭で実験の内容等を説明し、文書により承諾を得た。本研究は、ヘルシンキ宣言に従い、流通経済大学

有酸素性運動（ウォーキング）



抵抗性運動（スクワット）



図1 トレーニングの実施風景

研究倫理委員会の承認(第15号)を得て実施した。

数(8~10回×2~3セット)を漸増させた。

1.2 実験デザイン

介入群は、週に1回、有酸素性および抵抗性の運動を、著者らの監視下で実施した。また、これらと同内容の運動を週2回の頻度で自主的に行い、それらの内容を記録させた。対照群には、生活習慣を変えないように指示した。介入期間は6週間とし、その前後に各種の測定を行った。

1.3 トレーニング

有酸素性運動として、対象者は30分間のウォーキングを行った(図1左)。対象者には、最初の10分間は普段通りの速度で、残りの20分間は目標心拍数が出現する速度で歩くように指示した(RS400, ポラール)<sup>7)</sup>。目標心拍数は、第一週は年齢推定最大心拍数の60%とし、次週以降、75%最大心拍数まで漸増させた。

抵抗性運動として、自体重およびゴムバンドを用いた下肢の筋力づくり運動を対象者に行わせた(図1右)。運動種目はスクワット、ランジ、カーフ・レイズ、ヒップ・エクステンションとした。種目毎に強度の異なる3種の運動(例[スクワット]: 椅子の座り立ち運動, 自体重によるスクワット, ゴムバンドを用いたスクワット)を準備し、各対象者の体力増強に応じて強度と回数およびセット

1.4 測定項目と測定方法

日常生活における平均歩数を測定するため、対象者は3軸の加速度計(Active Style Pro, オムロンヘルスケア)を、入浴時および就寝時を除いて2週間にわたり装着した。対象者には、生活習慣を変えず、普段通りに生活するように指示した。

運動負荷試験として、肘の屈曲伸展運動(アームカール)を最大筋力(one-repetition maximum, 1RM)の20%および40%で、それぞれ10回×2セット行った(図2)<sup>6,7)</sup>。運動のテンポは、エクササイズガイド2006(運動所要量・運動指針



図2 運動時血圧の測定風景

の策定検討会 2006)に従って8秒間に1回とした。対象者には、運動中は自然に呼吸する様に指示した。血圧は運動開始 20 秒後から運動終了時の間に1回測定し(DINAMAP, GEヘルスケア), 2セットの平均値を解析に用いた。

動脈スティフネスの指標として、上腕および足首の血圧波形を記録し、身長から推定される血管相当距離と脈波到達の時間差との比として上腕-足首間脈波伝播速度 (brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV) を算定した (formPWV/ABI, フクダコーリン)。

体力測定として 5M 歩行と椅子座り立ちテストを行った。5M 歩行では、7M の直線を普段通りの速度で歩行するように対象者に指示し、中間の 5M における所要時間を測定した。椅子座り立ちテストにおいては、対象者を、前腕を胸の前で組んで椅子に着席させ、立ち上がって再度着席する動作を出来るだけ速く 10 回行うように指示して、その所要時間を測定した。

## 1. 5 統計解析

介入に伴う変化量の比較では平均値 ± 標準誤差, それ以外では平均値 ± 標準偏差でデータを示している。群間の比較には対応の無い *t* 検定を用い、有意水準は 5% 未満とした。

## 2. 結果

日常生活における歩数に、対象者全体、男性、女性のいずれにおいても群間差は認められなかった (図 3)。平成 19 ~ 29 年における日本人の平均歩数は、男性では 7,100 ~ 7,400 歩/日、女性では 6,100 ~ 6,600 歩/日であった (国民健康栄養調査, 厚生労働省)。そこで本研究では、男性では 7,400 歩/日、女性では 6,600 歩/日をカットオフ値とし、歩数がそれらよりも多い者、その他の除外基準に該当する者を分析対象から除外し、残る対照群 10 人および介入群 6 人を分析対象にした。介入期間前における年齢、体格指数 (body mass index)、血中脂質および糖質関連指標に群間の差は認められなかった (表 1)。また、介入期間前の血圧、心拍数、主観的運動強

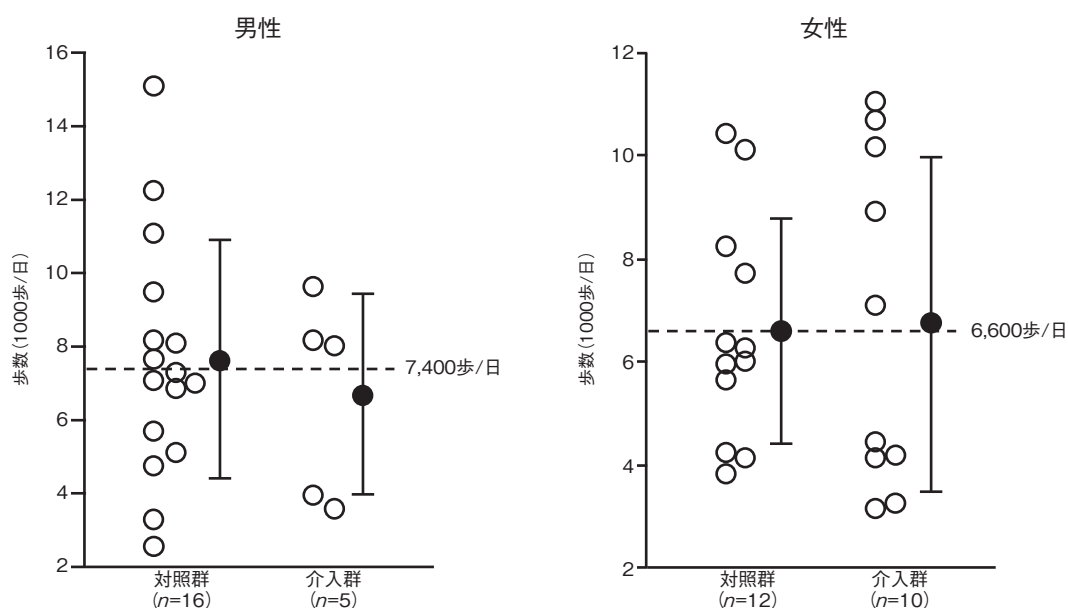


図 3 日常生活における歩数

研究参加時点で身体活動量が多いことに由来する偽陰性を避けるため、日常生活における歩数が多い対象者(男性 7,400 歩/日以上、女性 6,600 歩/日以上)は分析対象から除外した。○は個人毎の値、●は平均値 ± 標準偏差。

表 1 介入期間前の身体特性

	対照群	介入群
男性比率 (%)	70	33
年齢 (歳)	65 ± 6	68 ± 4
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	22 ± 3	21 ± 2
HDL コレステロール (mg/dL)	77 ± 22	59 ± 9
LDL コレステロール (mg/dL)	132 ± 32	170 ± 49
中性脂肪 (mg/dL)	103 ± 48	116 ± 31
グルコース (mg/dL)	99 ± 17	92 ± 3
インスリン (μU/mL)	4 ± 3	5 ± 1
5M 歩行 (秒/5M)	3.4 ± 0.5	3.7 ± 0.8
椅子座り立ち (秒/10回)	14 ± 3	14 ± 4

値は平均値 ± 標準偏差.

表 2 介入期間前の血圧および心拍数と主観的運動強度

	対照群	介入群
収縮期血圧		
安静時	112 ± 18	125 ± 15
20% 1RM	141 ± 26	152 ± 20
40% 1RM	143 ± 27	153 ± 22
拡張期血圧		
安静時	67 ± 9	69 ± 14
20% 1RM	81 ± 113	82 ± 15
40% 1RM	85 ± 15	83 ± 14
心拍数		
安静時	60 ± 6	61 ± 11
20% 1RM	72 ± 6	72 ± 12
40% 1RM	75 ± 7	73 ± 11
主観的運動強度		
20% 1RM	10 ± 1	9 ± 2
40% 1RM	13 ± 1	12 ± 2

値は平均値 ± 標準偏差. 1RM, one-repetition maximum (最大挙上重量).

度 (ボルグの 6 ~ 20 スケール) にも, 群間の差は認められなかった (表 2). 介入群における有酸素性運動および抵抗性運動の実施率は, それぞれ 102 ± 31% (100% = 30 分 × 週 3 回) および 98 ± 14% (100% = 8 ~ 10 回 × 2 ~ 3 セット) であった.

5M 歩行の所要時間は, 対照群では介入期間前に比べて期間後に遅延 (悪化) した (図 4). 介入群には介入期間前後の変動は認められなかったが短縮 (改善) 傾向にあり, 対照群と介入群で変化量に差が認められた. 椅子座り立ちテストにおいては, 介入群で介入前に比べて介入後に所要時間が短縮し, その変化量に群間の差が認められた.

安静時の収縮期血圧 (systolic blood pressure, SBP) は介入期間中に変化しなかった (図 5).

介入群と対照群のいずれにおいても, また, 介入期間の前と後のいずれにおいても, SBP は運動時で安静時に比べて上昇した. 介入群の運動時 SBP は, 20% と 40% の両強度で, 介入期間前に比べて期間後に低下した. 同じ期間中に, 対照群における 20% 強度の SBP は低下した. 20% と 40% の両強度において, SBP の低下量は介入群で対照群に比べて大きかった. 安静時の拡張期血圧 (diastolic blood pressure, DBP) に介入期間中の変動は認められなかったが, 対照群は上昇傾向, 介入群は低下傾向にあり, 両群間に変化量の差が認められた (図 6). 運動時の DBP は両群で介入期間前に比べて期間後に低下したが, 変化量に群間差は認められなかった. baPWV に変動は認められなかったが, 対照群では上昇傾向, 介入群で

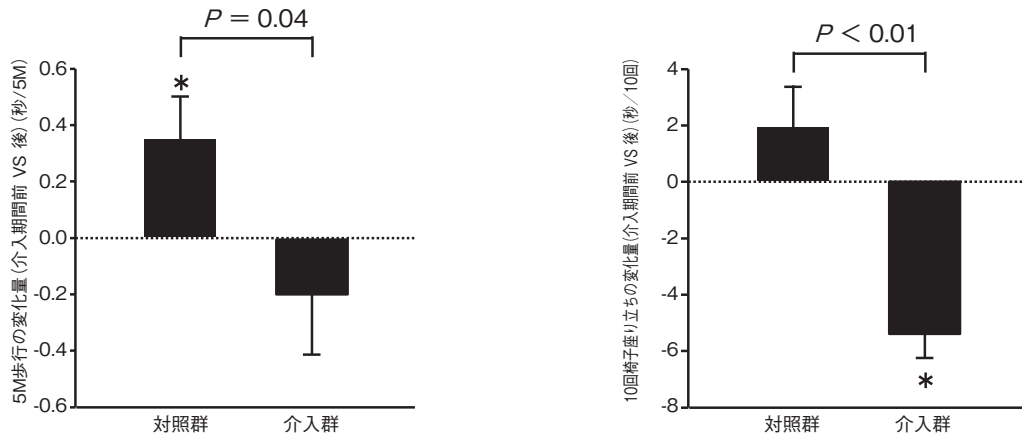


図4 5M歩行および椅子座り立ちテストの所要時間値は平均値 ± 標準誤差。\* $P < 0.05$ , 介入期間前 vs 介入期間後。

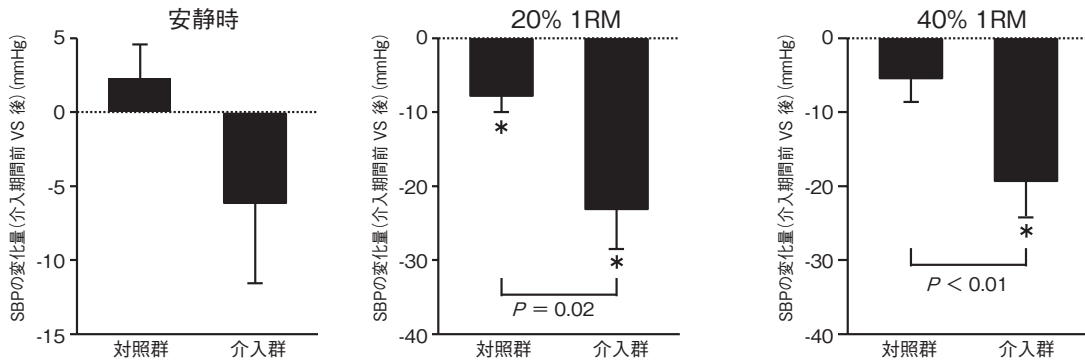


図5 安静時および抵抗性運動時における収縮期血圧値は平均値 ± 標準誤差。\* $P < 0.05$ , 介入期間前 vs 介入期間後。  
1RM, one-repetition maximum (最大挙上重量); SBP, systolic blood pressure (収縮期血圧)。

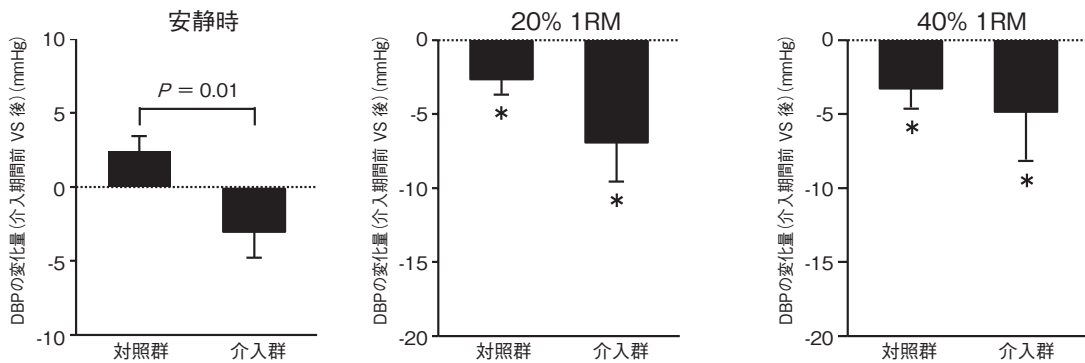
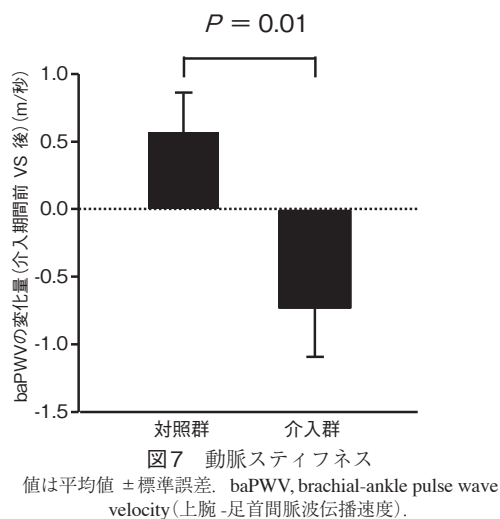


図6 安静時および抵抗性運動時における拡張期血圧値は平均値 ± 標準誤差。\* $P < 0.05$ , 介入期間前 vs 介入期間後。  
1RM, one-repetition maximum (最大挙上重量); DBP, diastolic blood pressure (拡張期血圧)。

は下降傾向にあり, その変化量に群間差が認められた (図 7)。

### 3. 考 察

本研究は, 有酸素性運動と抵抗性運動のクロストレーニングが抵抗性運動時の血圧に及ぼす影



響を検討した初めての研究である。中高齢者が6週間にわたって60～75%最大心拍数でのウォーキングと自体重での抵抗性運動を行ったところ、20%および40%1RMでの片腕アームカール運動時のSBPは低下した。この結果は、クロストレーニングにより、抵抗性運動時の血圧上昇は抑制されることを示唆する。

筆者らは有酸素性トレーニングにより抵抗性運動時のSBPが低下することを先行研究<sup>6,7)</sup>で明らかにしている。しかし、中高齢者の健康づくりにおいては、有酸素性トレーニングだけでなく、筋力の維持増進を狙いとする抵抗性トレーニングも重要なトレーニング手段である。有酸素性トレーニングと抵抗性トレーニングは心血管系に異なる影響を及ぼすことはよく知られており、両者のクロストレーニングが抵抗性運動時の血圧に及ぼす影響は興味深い研究課題であった。血圧決定因子の一つである動脈ステイフネスについては、複数のメタ解析がクロストレーニングは動脈ステイフネスを低下も増大もさせないと結論付けている<sup>8,9,10)</sup>。ただし、これらのメタ解析で分析された先行研究の多くは抵抗性運動を中～高強度(50～80%1RM)で行っているか、運動強度を明記していない。本研究では、抵抗性トレーニング

デサントスポーツ科学 Vol.41

に自体重を主とする低強度種目を採用したところ、動脈ステイフネスの指標であるbaPWVの変化量に群間の差が認められた。従って、本研究のクロストレーニングで運動時血圧が低下したのは抵抗性運動を低強度で行った成果であり、得られた知見の範囲は低強度の抵抗性運動によるクロストレーニングに限定されるのかもしれない。

血圧と動脈ステイフネスとの間には相互作用があり、血圧の上昇は動脈ステイフネスを増大させ、その一方で、動脈ステイフネスの増大は血圧を上昇させる。特に運動時においては、動脈負荷における動脈ステイフネスの貢献度は安静時に比べて増大する<sup>11,12)</sup>。従って、介入群の運動時におけるSBP上昇の抑制には動脈ステイフネスの低下が関与する可能性は考えられる。また、肥満女性を対象にした先行研究<sup>13)</sup>は、有酸素性運動と低強度抵抗性運動のクロストレーニングは血漿窒素酸化物濃度を上昇させたと報告している。この先行研究の結果は、血管弛緩性物質である一酸化窒素の産生能はクロストレーニングにより改善することを示唆する。本研究においても、一酸化窒素の産生能が改善し、その改善が動脈ステイフネスや運動時の機能的交感神経遮断を介して運動時のSBP上昇を抑制した可能性も考えられる。

#### 4. 結 論

有酸素性運動と低強度の抵抗性運動によるクロストレーニングは抵抗性運動時の血圧を低下させると考えられた。

#### 謝 辞

本研究は公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団および科学研究費補助金(17K01763)により実施された。

#### 文 献

- 1) Keller K., Stelzer K., Ostad M.A. et al., Impact

- of exaggerated blood pressure response in normotensive individuals on future hypertension and prognosis: systematic review according to PRISMA guideline., *Adv. Med. Sci.*, **62**: 317-329(2017)
- 2) Schultz M.G., La Gerche A., Sharman J.E., Blood pressure response to exercise and cardiovascular disease., *Curr. Hypertens. Rep.*, **19**: 89(2017)
  - 3) Koletsos N., Dipla K., Triantafyllou A. et al., A brief submaximal isometric exercise test 'unmasks' systolic and diastolic masked hypertension., *J. Hypertens.*, **37**: 710-719(2019)
  - 4) Otsuki T., Kotato T., Blood pressure during resistance exercise is associated with 24-h ambulatory blood pressure and arterial stiffness., *J. Phys. Fitness Sports Med.*, **8**: 209-216(2019)
  - 5) Chaney R.H., Eyman R.K., Blood pressure at rest and during maximal dynamic and isometric exercise as predictors of systemic hypertension., *Am. J. Cardiol.*, **62**: 1058-1061(1988)
  - 6) Otsuki T., Kotato T., Zempo-Miyaki A., Habitual exercise decreases systolic blood pressure during low-intensity resistance exercise in healthy middle-aged and older individuals., *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, **311**: H1024-H1030(2016)
  - 7) Otsuki T., Nakamura F., Zempo-Miyaki A., Nitric oxide and decreases in resistance exercise blood pressure with aerobic exercise training in older individuals., *Front. Physiol.*, **10**: 1204(2019)
  - 8) Li Y., Hanssen H., Cordes M. et al., Aerobic, resistance and combined exercise training on arterial stiffness in normotensive and hypertensive adults: a review., *Eur. J. Sport Sci.*, **15**: 443-457(2015)
  - 9) Ashor A.W., Lara J., Siervo M. et al., Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials., *PLoS One*, **9**: e110034(2014)
  - 10) Sardeli A.V., Gaspari A.F., Chacon-Mikahil M.P., Acute, short-, and long-term effects of different types of exercise in central arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis., *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **58**: 923-932(2018)
  - 11) Otsuki T., Maeda S., Iemitsu M. et al., Contribution of systemic arterial compliance and systemic vascular resistance to effective arterial elastance changes during exercise in humans., *Acta. Physiol.*, **188**: 15-20(2016)
  - 12) Otsuki T., Maeda S., Iemitsu M. et al., Systemic arterial compliance, systemic vascular resistance, and effective arterial elastance during exercise in endurance-trained men., *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, **295**: R228-235(2008)
  - 13) Wong A., Sanchez-Gonzalez M.A., Son W.M. et al., The effects of a 12-week combined exercise training program on arterial stiffness, vasoactive substances, inflammatory markers, metabolic profile, and body composition in obese adolescent girls., *Pediatr. Exerc. Sci.*, **30**: 480-486(2018)