

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282199

研究課題名(和文) 運動による骨格筋由来マイオカイン分泌を活用した動脈硬化改善のための運動療法の開発

研究課題名(英文) Development of exercise therapy for reduction of arterial stiffness by exercise-induced secretion of myokines

研究代表者

家光 素行 (Iemitsu, Motoyuki)

立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：90375460

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、中高齢者の有酸素性トレーニングによりマイオカインの分泌が動脈硬化度の低下に關与するか否かについて検討した。健康な中高齢者男女を対象に、60-70%V02peak運動強度の自転車運動(週3日、45分間)を8週間実施した。運動トレーニングにより動脈硬化度は有意に低下し、マイオカインの1つであるapelinおよびirisinの血中濃度は有意に増加した。これらのマイオカインと動脈硬化度の変化率との間には負の相関関係が認められた。以上の結果から、中高齢者の有酸素性トレーニングによる動脈硬化度改善の機序にマイオカインの1つであるapelinやirisinが關与する可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify whether the association with regular aerobic exercise-induced reduction of arterial stiffness to circulating levels of myokines (apelin and irisin) in middle-aged and older adults. Thirty-four healthy middle-aged and older subjects were divided into two groups: exercise intervention and sedentary controls. Subjects in the training group completed 8-week of aerobic exercise (60-70% peak oxygen uptake for 45 min, 3 days/week). In the training group, arterial stiffness indexes were significantly decreased, and circulating levels of apelin and irisin were significantly increased after the intervention. Additionally, significant negative correlations between the training effects of circulating apelin and irisin levels and arterial stiffness indexes were observed. These results suggest that the increased in circulating apelin and irisin levels may be associated with exercise training-induced alternation of arterial stiffness in middle-aged and older adults.

研究分野：運動生理学

キーワード：マイオカイン 中高齢者 動脈硬化 有酸素性運動

1. 研究開始当初の背景

「血管は年とともに老いる」といわれるように、中高齢期から動脈硬化性疾患（虚血性心疾患，脳血管疾患）などのリスクは急増する。中高齢期からの有酸素性運動トレーニングは動脈硬化に対して改善効果があることは明らかである（Tanaka et al. Circulation 2000）。しかしながら，その運動効果メカニズムに関してはまだ不明な点が多く，より効果的な運動プログラムを提供する上では，機序解明は必要である。最近，運動刺激によって骨格筋から分泌される内分泌因子（骨格筋由来内分泌因子）：マイオカインは筋自身への自己作用だけでなく，血液を介して，脂肪細胞や骨細胞に作用することが明らかとなった（Pedersen BK et al. Nat Rev Endocrinol 2012）。しかしながら，骨格筋への運動刺激によって誘発されるマイオカインが動脈硬化改善に関与するか否かの検討は国内外を見ても皆無である。

2. 研究の目的

動脈硬化に対する運動効果のメカニズムに関与するマイオカインを探索し，骨格筋と動脈血管との間のクロストークの解明を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者：

健常な中高齢者 34 名（平均年齢：67.0 ± 1.3 歳，男性：14 名，女性：20 名）を対象とし，高齢者を 2 群に分割した：運動トレーニング群 18 名（平均年齢：66.4 ± 2.1 歳，男性 7 名，女性 11 名），コントロール群 16 名（平均年齢：67.8 ± 1.5 歳，男性：7 名，女性：9 名）。すべての被験者は慢性疾患がなく，被験者の中には運動習慣のない被験者および活動的な被験者が含まれているが，スポーツ競技者は含まれていなかった。本研究は，立命館大学の倫理審査委員会の承諾を受け，ヘルシンキ宣言の精神に則り行われた。被験者には，研究の目的および測定方法の説明をした後に実験参加の承諾を得て，測定を実施した。

(2) 実験手順：

被験者は，有酸素性トレーニング介入に先立ち，12 時間以上の絶食後，早朝より測定を開始した。身長，体重を測定の後，座位安静状態にて採血を実施した。その後，安静時の血圧，心拍数，動脈硬化度を測定した。最後に，最高酸素摂取量（peak oxygen uptake: VO_{2peak} ）の測定を実施した。トレーニング群は，8 週間のトレーニングが終了した 48 時間後にトレーニング前と同様の項目の測定を実施した。また，コントロール群も同様の測定を実施した。

(3) 有酸素性トレーニング介入：

有酸素性トレーニングには，自転車エルゴ

メーター（828E: Monark 社製）を使用した。自転車エルゴメーターのペダルの回転数を 60 回転/分に設定し，60-70% VO_{2peak} の運動負荷を 1 日 45 分，週 3 回，8 週間実施した。実験開始 1 週目は，50% VO_{2peak} の運動強度で 45 分間の運動を行った。ウォームアップとクーリングダウンは，40% VO_{2peak} の運動強度でそれぞれ 5 分間行った。有酸素性トレーニングはすべて監視下で実施した。

(4) 測定項目：

VO_{2peak} の測定

VO_{2peak} の測定は，自転車エルゴメーター（828E: Monark 社製）を使用し，多段階漸増負荷法で呼気ガスを採取し，測定した。

動脈硬化指標の測定

すべての被験者は，動脈硬化の指標として，頸動脈 β -stiffness および脈波伝播速度（PWV），血圧の測定を行った。

頸動脈 β -stiffness の測定は，超音波診断装置（Vivid S6: GE 社製）を用いて頸動脈直径を測定し，圧波形を，トノメトリーセンサー（form PWV/ABI，オムロンコーリン社製）を用いて左頸動脈から得られた。頸動脈最大収縮期直径，最小拡張期直径と頸動脈径較差，頸動脈収縮期血圧（Carotid Systolic Blood Pressure: CSBP）と頸動脈脈圧（Carotid Pulse Pressure: CPP）および拡張期血圧（DBP）から，以下の式によって頸動脈 β -stiffness を算出した。

頸動脈 β -stiffness (index) = $\ln(\text{CSBP}/\text{DBP}) / (\text{頸動脈径較差} / \text{頸動脈拡張期径})$

また，PWV 測定は，form PWV/ABI（オムロンコーリン社製）および頸動脈・大腿動脈トノメトリーセンサーを用いて，頸動脈 - 大腿動脈間脈波伝播速度（cfPWV）を測定した。

血漿 NOx，apelin 濃度および血清 irisin，musclin 濃度測定：

血漿 NOx，apelin 濃度および血清 irisin，musclin 濃度を測定するまで -80 °C で冷凍保存した。血漿 NOx 濃度は，R&D システム社製の実験プロトコルに従って，Griess 法により，測定した。吸光度値は，マイクロプレートリーダー（xMark microplate spectrophotometer; Bio-Rad Laboratories 社製）を用いて 540nm の波長で測定した。また，血漿 apelin 濃度および血清 irisin，musclin 濃度は，酵素免疫測定法（enzyme-linked immunosorbent assay: ELISA）により，測定した。irisin，apelin，musclin の吸光度値は，マイクロプレートリーダー（xMark; Bio-Rad Laboratories 社製）を用いて 450nm の波長で測定した。

(5) 統計解析

本研究結果は，すべて平均値 ± 標準誤差で表した。8 週間の介入前後による頸動脈 β -

ティフネスや cfPWV, 血中 NOx 濃度, irisin 濃度, apelin 濃度, musclin 濃度の変化率における運動トレーニング群およびコントロール群の 2 群間の比較は, 対応のない T 検定を用いた。さらに, 相関関係をピアソンの相関係数によって検討するとともに, 単回帰により回帰直線を求めた。危険率は 5% 未満を有意水準とした。すべての統計解析は, StatView5.0 (SAS 社製) を使用した。

4. 研究成果

トレーニングにより, VO_{2peak} は有意に増大し, 体脂肪率や頸動脈 スティフネスおよび cfPWV は有意に低下した(それぞれ $P < 0.05$)。血中脂質や血糖値は統計学的な差が認められなかった。

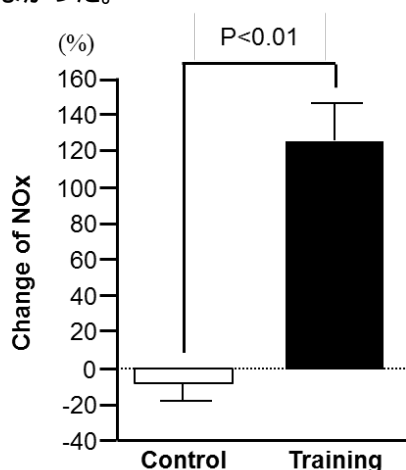


図 1: 8 週間の有酸素性運動介入前後の血中 NOx 濃度の変化率

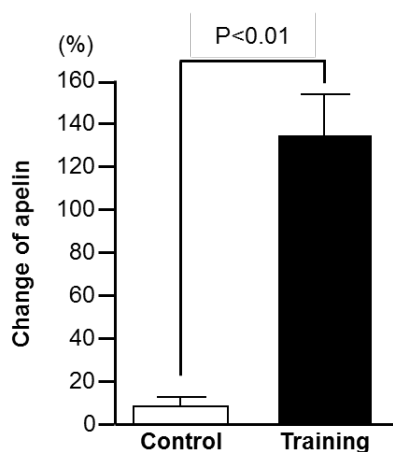


図 2: 8 週間の有酸素性運動介入前後の血中 apelin 濃度の変化率

血漿 NOx および血中 irisin, apelin, musclin 濃度は, 運動トレーニングにより有意に増加したが(それぞれ $P < 0.05$) (図 1 および 2), 血中 musclin 濃度は有意な変化は認められなかった。一方, コントロール群では 8 週間前後のすべての測定項目に対して有意な変化は認められなかった。

さらに, 血中 NOx 濃度と頸動脈 スティフネスの変化率との間, あるいは, cfPWV の変

化率との間において負の相関関係が認められた(それぞれ $P < 0.05$)。apelin 濃度と頸動脈 スティフネスの変化率との間には負の相関関係 ($r = -0.508$, $P = 0.032$) が認められた。さらに, 血中 irisin 濃度の変化率と cfPWV の変化率との間には有意な負の相関関係 ($r = -0.516$, $P < 0.05$) が認められた。マイオカインの 1 つである, irisin, apelin は血管内皮細胞内の NO 合成酵素の活性化を促進させることから, 運動による血中 irisin, apelin 濃度の増大が血液を介して血管内皮細胞内の NO 産生を増大させたことが, 動脈硬化度の低下に關与した可能性が考えられる。

以上の結果から, 中高齢者の有酸素性トレーニングによる動脈硬化度改善の機序にマイオカインの 1 つである apelin や irisin による NO 合成の促進が關与する可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 17 件)

Fujie S, Hasegawa N, Kurihara T, Sanada K, Hamaoka T, lemitsu M. Association between aerobic exercise training effects of serum adropin level, arterial stiffness, and adiposity in obese elderly adults. *Appl Physiol Nutr Metab* 42: 8-14, 2017. 査読有, doi: 10.1139/apnm-2016-0310.

Sato K, Fujita S, lemitsu M. *Dioscorea esculenta*-induced increase in muscle sex steroid hormones is associated with enhanced insulin sensitivity in a type 2 diabetes rat model. *FASEB J* 31: 793-801, 2017. 査読有, doi: 10.1096/fj.201600874R.

Hasegawa N, Fujie S, Kurihara T, Homma T, Sanada K, Sato K, Hamaoka T, lemitsu M. Effects of habitual aerobic exercise on the relationship between intramyocellular or extramyocellular lipid content and arterial stiffness. *J Hum Hypertens* 30: 606-612, 2016. 査読有, doi: 10.1038/jhh.2016.28.

Sato K, lemitsu M, Katayama K, Ishida K, Kanao Y, Saito M. Responses of sex steroid hormones to different intensities of exercise in endurance athletes. *Exp Physiol* 101: 168-175, 2016. 査読有, doi: 10.1113/EP085361.

Zempo-Miyaki A, Fujie S, Sato K, Hasegawa N, Sanada K, Maeda S, Hamaoka T, lemitsu M. Elevated pentraxin 3 level at the early stage of exercise training is associated with reduction of arterial stiffness in middle-aged and older adults. *J Hum Hypertens* 30: 521-526, 2016. 査読

有, doi: 10.1038/jhh.2015.105.

Fujie S, Hasegawa N, Sato K, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Aerobic exercise training-induced changes in serum adropin level are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 309: H1642-H1647, 2015. 査読有, doi: 10.1152/ajpheart.00338.2015

Hasegawa N, Kurihara T, Sato K, Homma T, Fujie S, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Intramyocellular and Extramyocellular Lipids Are Associated With Arterial Stiffness. *Am J Hypertens* 28: 1473-1479, 2015. 査読有, doi: 10.1093/ajh/hpv041

Miyamoto-Mikami E, Sato K, Kurihara T, Hasegawa N, Fujie S, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Tabata I, Iemitsu M. Endurance training-induced increase in circulating irisin levels is associated with reduction of abdominal visceral fat in middle-aged and older adults. *PLoS One* 10: e0120354, 2015. 査読有, doi: 10.1371/journal.pone.0120354

Watanabe S, Sato K, Hasegawa N, Kurihara T, Matsutani K, Sanada K, Hamaoka T, Fujita S, Iemitsu M. Serum C1q as a novel biomarker of sarcopenia in older adults. *FASEB J* 29: 1003-1010, 2015. 査読有, doi: 10.1096/fj.14-262154

Sato K, Iemitsu M. Exercise and sex steroid hormones in skeletal muscle. *J Steroid Biochem Mol Biol* 145: 200-205, 2015. 査読有, doi: 10.1016/j.jsbmb.2014.03.009

Matsuo T, Saotome K, Seino S, Eto M, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, Ohshima H, Tanaka K, Mukai C. Low-volume, high-intensity, aerobic interval exercise for sedentary adults: VO_2 max, cardiac mass, and heart rate recovery. *Eur J Appl Physiol* 114: 1963-1972, 2014. 査読有, doi: 10.1007/s00421-014-2917-7

Park J, Aizawa K, Akimoto T, Iemitsu M, Agata U, Maeda S, Lim K, Omi N. Dehydroepiandrosterone administration increased trabecular mass and dihydrotestosterone levels in the cancellous region of the tibia in young female rats. *Horm Metab Res* 46: 651-655, 2014. 査読有, doi: 10.1055/s-0034-1374630

Fujie S, Sato K, Miyamoto-Mikami E, Hasegawa N, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Reduction of arterial stiffness by exercise training is associated with increasing plasma apelin level in middle-aged and older adults. *PLoS One* 9: e93545, 2014. 査読有, doi:

10.1371/journal.pone.0093545

Iemitsu M, Fujie S, Murakami H, Sanada K, Kawano H, Gando Y, Kawakami R, Tanaka N, Miyachi M. Higher cardiorespiratory fitness attenuates the risk of atherosclerosis associated with ADRB3 Trp64Arg polymorphism. *Eur J Appl Physiol* 114: 1421-1428, 2014. 査読有, doi: 10.1007/s00421-014-2862-5

Murakami H, Iemitsu M, Fuku N, Sanada K, Gando Y, Kawakami R, Miyachi M. The Q223R polymorphism in the leptin receptor associates with objectively measured light physical activity in free-living Japanese. *Physiol Behav* 129: 199-204, 2014. 査読有, doi: 10.1016/j.physbeh.2014.02.053

Sato K, Fujita S, Iemitsu M. Acute administration of diosgenin or dioscorea improves hyperglycemia with increases muscular steroidogenesis in STZ-induced type 1 diabetic rats. *J Steroid Biochem Mol Biol* 143: 152-159, 2014. 査読有, doi: 10.1016/j.jsbmb.2014.02.020

Sato K, Iemitsu M, Matsutani K, Kurihara T, Hamaoka T, Fujita S. Resistance training restores muscle sex steroid hormone steroidogenesis in older men. *FASEB J* 28: 1891-1897, 2014. 査読有, doi: 10.1096/fj.13-245480

〔学会発表〕(計 26件)

Hasegawa N, Fujie S, Horii N, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Ageing-induced elevation in circulating C1q level is associated with arterial stiffness. American Heart Association scientific sessions 2016. November 15, 2016. New Orleans, USA.

Hasegawa N, Fujie S, Horii N, Tabata I, Iemitsu M. Short periods of high-intensity intermittent exercise decreases arterial stiffness via upregulation of endothelial nitric oxide signaling. American Heart Association scientific sessions 2016. November 14, 2016. New Orleans, USA.

Fujie S, Hasegawa N, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Elevation of serum adropin level at the early stage of aerobic exercise training is associated with reduction of arterial stiffness in middle-aged and older adults. American Heart Association Scientific Sessions 2016. November 13, 2016. New Orleans, USA.

Fujie S, Hasegawa N, Horii N, Sato K, Iemitsu M. Reduction of arterial stiffness by aerobic exercise training is associated with endothelial nitric oxide synthase activation via increasing arterial adropin levels in type 2 diabetic rats.

2016 APS Intersociety Meeting Integrative Biology of Exercise VII. November 4, 2016. Phoenix, USA.

藤江隼平, 堀居直希, 長谷川夏輝, 佐藤幸治, **家光素行**. 2 型糖尿病ラットの有酸素性トレーニングによる動脈硬化の改善に動脈血管の adropin 産生の増大が影響する. 第 71 回日本体力医学会大会, 2016 年 9 月 23 日, 盛岡市民文化ホール・いわて県民情報交流センター (岩手県盛岡市).

藤江隼平, 長谷川夏輝, 真田樹義, 浜岡隆文, **家光素行**. 中高齢者の有酸素性トレーニングによる降圧効果に血中 salusin-濃度の増大が関与する. 第 24 回日本運動生理学会大会, 2016 年 7 月 23 日, 熊本大学 (熊本県熊本市).

藤江隼平, 長谷川夏輝, 佐藤幸治, 真田樹義, 浜岡隆文, **家光素行**. 中高齢者の動脈硬化改善に必要な有酸素性トレーニング期間と血管拡張物質産生に関する経時的検討. 第 16 回日本抗加齢医学会総会, 2016 年 6 月 10 日, パシフィコ横浜会議センター (神奈川県横浜市).

Fujie S, Hasegawa N, Sato K, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. Serum adropin level is associated with arterial stiffness and cardiorespiratory fitness in older adults. 63rd American College of Sports Medicine Annual Meeting 2016. June 1, 2016. Boston, USA.

Hasegawa N, Sato K, Fujie S, Watanabe S, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. Effects of different types of exercise training on arterial stiffness and endothelial nitric oxide synthase. 63rd American College of Sports Medicine Annual Meeting 2016. Jun 1, 2016. Boston, USA.

藤江隼平, 佐藤幸治, **家光素行**. 肥満モデルラットの DHEA 長期摂取は動脈組織の apelin 産生増大を介して nitric oxide 産生調節に影響する. 第 70 回日本栄養・食糧学会大会, 2016 年 5 月 15 日, 神戸ポートピアホテル ポートピアホール・武庫川女子大学 (兵庫県西宮市).

Fujie S, Sato K, Hasegawa N, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. Serum adropin level is associated with exercise training-induced improvement of arterial stiffness in obese adults. American Heart Association Scientific Sessions 2015. November 9, 2015. Orlando, USA.

長谷川夏輝, 藤江隼平, 藤田聡, 真田樹義, 佐藤幸治, 浜岡隆文, **家光素行**. 加齢に伴う血中 C1q 濃度の増加と動脈硬化との関係. 第 70 回日本体力医学会大会, 2015 年 9 月 18 日, 和歌山県民文化会館・ホテルアバローム紀の国 (和歌山県和歌山市).

藤江隼平, 佐藤幸治, 長谷川夏輝, 藤田聡, 真田樹義, 浜岡隆文, **家光素行**. 肥満者の有酸素性トレーニングによる血中 adropin

濃度の増大は動脈硬化リスク低下に關与する. 第 70 回日本体力医学会大会, 2015 年 9 月 18 日, ホテルアバローム紀の国 (和歌山県和歌山市).

Hasegawa N, Kurihara T, Sato K, Homma T, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. The relationship between intramyocellular or extramyocellular lipid contents and cardiovascular disease risks in different cardiorespiratory fitness levels. 20th Annual Congress of the European College of Sport Science. June 25, 2015. Malmo, Sweden.

Hasegawa N, Sato K, Fujie S, Watanabe S, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. Serum CTRP9 level is associated with arterial stiffness and cardiorespiratory fitness. 62nd American College of Sports Medicine Annual Meeting 2015. May 29, 2015. San Diego, USA.

Fujie S, Sato K, Hasegawa N, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. Serum adropin level is associated with exercise training-induced reduction of arterial stiffness in the elderly. 62nd American College of Sports Medicine Annual Meeting 2015. May 27, 2015. San Diego, USA.

Hasegawa N, Kurihara T, Sato K, Fujita S, Sanada K, Otsuka M, Hamaoka T, **lemitsu M**. Muscular lipid is associated with a risk factor of arterial stiffness. American Heart Association scientific sessions 2014. November 16, 2014. Chicago, USA.

Fujie S, Sato K, Hasegawa N, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, **lemitsu M**. Plasma apelin level contributes exercise training-induced improvement of arterial stiffness in the middle and older adults. American Heart Association Scientific Sessions 2014, November 16, 2014, Chicago, USA.

長谷川夏輝, 栗原俊之, 佐藤幸治, 藤田聡, 真田樹義, 浜岡隆文, **家光素行**. 有酸素性トレーニングによる動脈硬化改善と筋細胞内・外脂肪含有量との関係. 第 69 回日本体力医学会大会. 2014 年 9 月 20 日, 長崎大学 (長崎県長崎市).

藤江隼平, 佐藤幸治, 長谷川夏輝, 藤田聡, 真田樹義, 浜岡隆文, **家光素行**. 中高齢者における有酸素性トレーニングが血中 adropin 濃度に及ぼす影響. 第 69 回日本体力医学会大会, 2014 年 9 月 20 日, 長崎大学 (長崎県長崎市).

②1 藤江隼平, 佐藤幸治, 長谷川夏輝, **家光素行**. 肥満ラットの運動トレーニングによる動脈血管拡張因子の改善に動脈 Apelin 産生の増大が関与する. 第 22 回日本運動生理学会大会. 2014 年 7 月 20 日, 川崎医療福祉大学 (岡山県倉敷市).

②2 長谷川夏輝, 佐藤幸治, 藤江隼平, 渡邊

真也, 藤田聡, 真田樹義, 大塚光雄, 家光素行. 体力レベルの違いが筋細胞内・外脂肪含有量と動脈硬化指数の関係に及ぼす影響. 第22回日本運動生理学会大会. 2014年7月19日, 川崎医療福祉大学(岡山県倉敷市).

⑳ Hasegawa N, Kurihara T, Sato K, Fujita S, Sanada K, Otsuka M, Hamaoka T, Iemitsu M. Effects of intramyocellular and extramyocellular lipid contents on arterial stiffness. 19th Annual Congress of the European College of Sport Science. July 3, 2014. Amsterdam, Netherlands.

㉑ Yamato Y, Hasegawa N, Sato K, Iemitsu M. Effect of central arterial stiffness on acute stretching exercise in young men. 19th Annual Congress of the European College of Sport Science. July 3, 2014, Netherlands, Amsterdam.

㉒ Hasegawa N, Kurihara T, Watanabe S, Sato K, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Effects of cardiorespiratory fitness level, age, and sex on intramyocellular and extramyocellular lipid contents. 61th ACSM Annual Meeting. May 29, 2014. Orland, USA.

㉓ Fujie S, Sato K, Miyamoto-Mikami E, Hasegawa N, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Iemitsu M. Reduction of Arterial Stiffness by Exercise Training Is Associated with Increasing Plasma Apelin Level, 61nd American College of Sports Medicine Annual Meeting 2014, May 29, 2014, Orland, USA.

〔図書〕(計 1件)

日本抗加齢医学会 専門医・指導士認定委員会編集. 家光素行. メジカルビュー. アンチエイジング医学の基礎と臨床. 2015, 296-297.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

家光 素行 (IEMITSU, Motoyuki)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号: 90375460

(2) 研究分担者

藤田 聡 (FUJITA, Satoshi)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号: 80451863

(3) 研究分担者

浜岡 隆文 (HAMAOKA, Takafumi)
東京医科大学・医学部・教授
研究者番号: 70266518

(4) 研究分担者

真田 樹義 (SANADA, Kiyoshi)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号: 50421227

(5) 研究分担者

橋本 健志 (HASHIMOTO, Takeshi)
立命館大学・スポーツ健康科学部・准教授
研究者番号: 70511608

(6) 連携研究者

佐藤 幸治 (SATO, Koji)
神戸大学大学院・人間発達環境学研究科・准教授
研究者番号: 20584022

(7) 連携協力者

早野 俊哉 (HAYANO, Toshiya)
立命館大学・生命科学部・教授
研究者番号: 90332303