

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01616

研究課題名(和文) 運動による抗動脈硬化作用：全身への波及メカニズムの解明とその応用

研究課題名(英文) Exercise induced anti-atherogenic effect: the mechanism of endothelial adaptations beyond active muscle

研究代表者

福場 良之 (Fukuba, Yoshiyuki)

県立広島大学・人間文化学部・教授

研究者番号：00165309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：下肢運動を行うと、下肢のみならず上肢の血管にまで抗動脈硬化作用が及ぶことは知られているが、その詳細な機序は不明である。そこで、下肢自転車運動時の上腕動脈(BA)のシェアストレス(SS)の調節機序の解明を目的に研究を行った。運動中に肘から先の皮膚表面へ冷却、あるいは温熱の刺激を行った際のSS様相を検討したところ、BAのSS調節には、有毛部の皮膚血流調節が強く関与していることがわかった。その結果に基づく実践的検討として、運動中に肘から先全体に温熱刺激すると、BAの血管内皮機能(FMD: Flow-Mediated Dilationによる評価)には付加的な効果が惹起されることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、下肢自転車運動中、非運動肢である上腕動脈(BA)のシェアストレス(SS)応答に対する下流の皮膚血流調節の影響を、神経支配の異なる有毛部と無毛部に分けて検討した初めての研究である。成果として、BAのSS応答には血管の収縮と拡張の両作動性を有する有毛部皮膚領域での血流調節が強く関与することを明らかにしたという学術的意義を有する。また、前腕部に温熱刺激を行いながら運動を行うと、BAの血管内皮機能には、運動単独の効果に加えて、さらなる改善効果が惹起されることが明らかにしたという社会的意義がある。これらの新知見は、運動の有する抗動脈硬化作用の基礎的理解と応用に寄与するところが大きい。

研究成果の概要(英文)：Recent human studies have reported modulated profile of brachial artery shear stress (BA-SS) during leg exercise, which may be a key factor contributing to endothelial adaptations of the inactive upper limbs. During cycling exercise, the BA supplies the skin blood flow to the glabrous (G; palm) and non-glabrous (NG; forearm) regions; however, it remains unclear which between these is most responsible for upstream BA-SS profile. Therefore, the purpose of this study was to elucidate the effects of G and/or NG skin vascular conductance (VC), which were modulated by warming or cooling stimulation, on BA-SS during cycling exercise. The main results were: 1) the non-glabrous skin VC response possibly played a major role in the modulation of BA-SS profile during lower limb exercise, and 2) the concomitant forearm cooling or warming during leg exercise attenuated or improved post-exercise endothelial function and these are associated with modulations of shear patterns.

研究分野：健康スポーツ科学

キーワード：動脈硬化 血管内皮機能 運動 シェアストレス 流量依存性血管拡張

1. 研究開始当初の背景

心血管性疾患の発症や進展には動脈硬化が深く関わっている。動脈硬化発症は、血管内皮細胞の軽微な機能低下や障害が端緒となる。血管内皮細胞の障害は生活習慣の乱れ(肥満、運動不足、喫煙、塩分の過剰摂取など)や、高血圧、糖尿病、脂質異常症といった基礎疾患によって引き起こされる。動脈硬化の前段階である血管内皮機能の低下は可逆的であるため、動脈血管の内皮機能を正常、あるいはよりよい状態に保つことは、心血管性疾患の発症や進展を抑える上で極めて重要となる[1]

運動の実施が抗動脈硬化作用をもたらすことは古くから広く知られている。これは主に基礎疾患の改善を介した二次的効果によるものと考えられてきたが、近年、血管への直接的効果の存在が認識されつつある。動脈血管への直接的効果とは、運動時、運動肢への血流(BF:血流速度(BV)×血管断面積)増加に伴って、血管壁への力学作用である「ずり応力」(SS)の増加とその様相(順向および逆向SS)の変容が起こり、血管内皮細胞機能が刺激されて生じる効果である。SSの具体的な指標SR(Share Rate)は(BV/血管径)×4で定量化され、血管径のわずかな変化よりもBV、すなわちBFとほぼ同義であることが理解される。in vitroの研究成果も含め、中枢から末梢へ流れる順向のSSの増大は抗動脈硬化作用を有するのに対し、末梢から中枢へ流れる逆向のSSの増大は催動脈硬化作用を持つことが解明されつつあり、血管内皮細胞の機能性を正常に保持あるいは改善させるためには、順向SSの増加と逆向SSの減少あるいは消失が重要であると考えられている[2]

これまでの抗動脈硬化作用に関する研究における運動とは、歩・走行、サイクリングといった下肢筋群が中心となる様式であるが、その効果は下肢への動脈血管(例:大腿動脈:FA)のみでなく、非運動肢である上肢の動脈血管(上腕動脈:BA)や冠動脈へも波及することがわかってきた[3]。下肢運動時の上肢のBF応答について、20年余り前までは、内臓や腎へのBFと同様、低下するというのが一般的なコンセンサスであった。これらの根拠は短時間の運動で主にブレチスモグラフィ測定で得られた結果に基づいていた。一方、近年、ヒトを対象に、より長い運動時間で、かつ最新の測定手法(超音波パルスドップラー血流測定)を用いた研究結果が蓄積されてくると、下肢による動的運動、いわゆる自転車こぎなどの運動中、非活動肢である上肢のBAのBF(ほぼSSの動きを反映)は古くから言われていたように減少するのではなく、むしろほぼ運動強度に比例して増加することが明らかになってきた[4]。具体的には、一定負荷の下肢自転車運動を継続すると、BAのBFは運動開始直後の2-5分あたりで一時的に減少するが、その後10分程度を経過すると安静時のレベルを上回ってBFは増加していくといった二相性の応答を示す[5]。従って、運動継続に伴うBAのSSの増大が、運動肢での直接的な抗動脈硬化作用と同様、非運動肢での作用にも関与していることが明らかにされつつあるが、その詳細な機序については、未だ、十分に解明されてはいない。

2. 研究の目的

そこで本研究で解明すべき研究課題として、「下肢自転車運動時、どのような機序が非運動肢の伝導血管である上腕動脈(BA)のSS増大を惹起して抗動脈硬化作用を生じさせているのか」を解明することを掲げ、立案した。BAのSS増大には、運動に伴う体温調節系作動の一つである熱放散反応による皮膚血流の増加が関与している可能性が高いことが想定される。BAを經由して血液が流れ込む部位は、肘から先で、大きくはその中の骨格筋と皮膚である。先行研究の結果は、下肢運動中、BAのBFの大部分は、骨格筋ではなく皮膚へ向かっていることが示されている[6]。肘から先の前腕部と手部の皮膚は、機能的に異なる2つの領域から構成されている。すなわち、有毛部(NG:前腕部と手背部)と無毛部(G:手掌部)で、それぞれ異なる血流調節機構を有する[7]。下肢自転車運動時のBAのSS応答に対して、この2つの皮膚領域のどちらの血流調節がより大きく関与しているかについては明らかにすることは、下肢運動時に上肢にまで抗動脈硬化の直接的な作用が伝播する機序を解明する上で、とても重要であることが理解される。そこで、この点を明らかにして基礎的な知見を得ること(実験1)、次に、その結果に基づいて、運動による抗動脈硬化作用を高める方法につながる実学的な知見を得ること(実験2)を、本研究の具体的な目的として設定した。また、これら2つの研究成果に基づき、実験的にではあるが、上肢と下肢を入れ替えた条件での検討(実験3)を試みることにした。

3. 研究の方法

(実験1)

安静時並びに下肢自転車運動中における、上腕動脈(BA)の血流(BF)の様相(順向流と逆向流)の規定要因が、その下流の皮膚血流(SBF)の有毛部(前腕部)と無毛部(手掌部)のどちらにあるかを明らかにすることを目的として、以下の実験を行った。

被験者は健康な男女7名(24±4歳)であった。運動強度は、心拍数が約120bpmに相当する強度を被験者毎に設定した(76±18W)。被験者は、安静時の実験として、10分間の安静後、30分間、片腕(右腕)の肘から先の全体(前腕部・手部、以下NG+G条件)あるいは手掌部のみ(以下、G条件)を、水槽を用いて15°Cの冷水、あるいは43°Cの温水に浸し、その後、温冷却

激なしで再び 10 分間の安静を保った。次にメイン運動での実験として、被験者は 10 分間の安静後、一定負荷下肢自転車運動を開始し、その 20 分目から 50 分目までの 30 分間、片腕（右腕）の肘から先の全体（NG+G 条件）あるいは手掌部のみ（G 条件）を、安静実験と同様、水槽を用いて、15 °C の冷水、あるいは 43 °C の温水に浸水して温冷刺激を付加した。温冷刺激を除いた後も、同運動を 10 分間継続した。両実験共に、プロトコールを通して以下の項目を連続測定した。末梢循環の指標として、温冷刺激（右腕）側の BA の血流速度（BV）と血管径（D）を超音波ドップラー法で、ならびに前腕部と手掌部の皮膚血流（SBF）をレーザードップラー法で、測定した。BA の BF [平均 BF = 順向 BF - 逆向 BF] と、SS の大きさの指標となる Shear rate (SR) [平均 SR = 順向 SR - 逆向 SR] を、 $BF = BV \cdot (D/2) \cdot (D/2) \cdot \pi$ 、 $SR = 4 \cdot BV/D$ で、それぞれ求めた。また、心拍数 (HR)、体温 (Tb)、血圧 (BP) は 5 分毎に測定した。両 SBF から皮膚血管コンダクタンス (skin VC = SBF/BP) をそれぞれ算出した。

(実験 2)

下肢自転車運動中、上肢の上腕動脈 (BA) の血流 (BF) の様相 (順流・逆流) を、前腕部への温冷刺激によって変容した条件を設定し、その変容によって血管内皮機能に急性な影響が及ぶか否かを検討することを目的に実験を行った。

被験者は健康な男女 8 名 (19-32 歳) であった。被験者は心拍数が約 120 拍/分に相当する運動強度で、60 分間の下肢サイクリング運動を行った。運動中、水槽を用いて右手の前腕部へ 43 °C の温熱刺激 (Warm 条件)、あるいは 15 °C の寒冷刺激 (Cool 条件) を行った。運動の前、終了 15 分後、および 60 分後に、血管内皮機能を評価した。対照として、前腕部を水に浸さない条件を行った (Control 条件)。血管内皮機能は、血流依存性血管拡張反応 (以下、FMD) という確立した手法で評価した。具体的には、前腕部にカフを巻き 5 分間動脈阻血し、開放後に最大拡張した血管径が、阻血前の安静時血管径に対して何%であったかを測定するものである [8]。従って、 $\%FMD = [(最大拡張血管径 - 安静時血管径) / 安静時血管径] \times 100$ で求められる。プロトコール中、超音波ドップラー法により、実験 1 と同様な方法で、BA の BF と、SS の大きさの指標となる Shear rate (SR) をそれぞれ求めた。また、血圧、心拍数、深部温、右手の手掌部および前腕部の皮膚血流 (SBF) と表面皮膚温を連続して測定した。

(実験 3)

実験 1 での安静時の検討について、上肢と下肢を入れ替えた条件での検討を行った。具体的には、下腿部への温熱および寒冷刺激が、下腿部への血液供給で主要な伝導血管である大腿動脈 (FA) の末梢側での 2 分岐枝である浅大腿動脈 (SFA) と大腿深動脈 (PFA) の血流様相へどのような影響を及ぼすかを検討することを目的として実験 3 を行った。

健康な成人男女 9 名 (年齢: 19-23 歳) が合計 4 回の試行にランダムな順序で参加した。被験者はベッド上で 30 分間の仰臥位安静を保った後、片脚の下腿を 15 °C (Cool 肢) もしくは 42 °C (Warm 肢) の水に 30 分間浸水し、その後再びベッド上で 90 分間の仰臥位安静を保った。反対側の脚は、対照肢として中性温域である 30 °C の水に同様の水位で浸水した。1 試行を通して、SFA、PFA のいずれか一方の血流速度および血管径を、超音波ドップラー法を用いて定期的に測定し、各血管における血流量 (順向および逆向の BF) をそれぞれ求めた。あわせて、1 試行を通して両脚の下腿および右前腕の皮膚血流 (SBF) を連続的に測定した。

4. 研究成果

(実験 1)

安静時の寒冷 (C: cool) 刺激では、G 条件、NG+G 条件共に、平均 BA-SR が刺激前から有意に低下し、主に無毛部 (Palm) の皮膚血管 VC の低下と対応していた。一方の温熱刺激では、G 条件では手掌部・前腕部の両皮膚血管 VC および平均 BA-SR が変化しなかったのに対し、NG+G 条件では前腕部 (forearm) の皮膚血管 VC および平均 BA-BF が有意に上昇した [安静時の結果は図示していない]。

下肢自転車運動中に両皮膚領域に対して寒冷 (C: cool) 刺激を行うと、BA-SS には順向 SS の減少と逆向 SS の増加がみられ、それらに対応した有毛部と無毛部の皮膚血流応答が認められた。一方、無毛部皮膚領域のみへの寒冷刺激では BA-SS 応答に有意な変化はなかった [図 1]。両皮膚領域への温

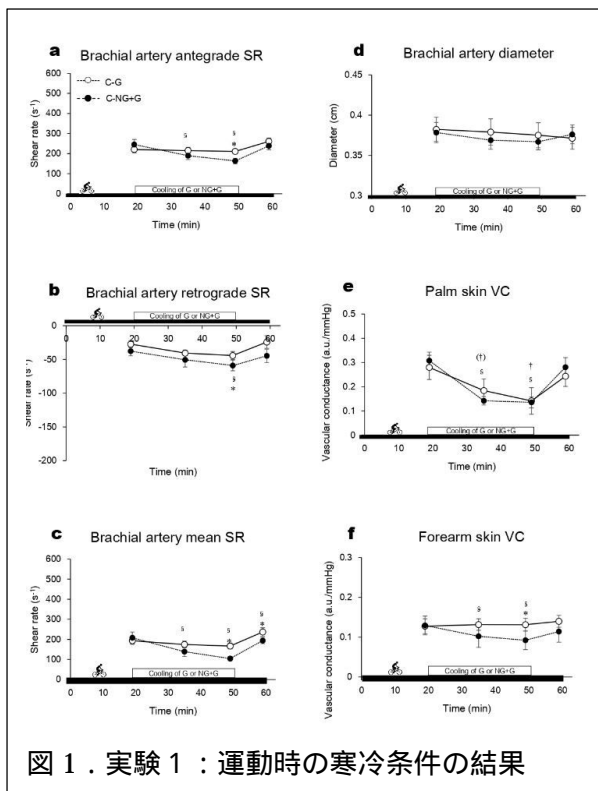


図 1. 実験 1: 運動時の寒冷条件の結果

熱 (W:warm) 刺激では、寒冷刺激とほぼ逆な応答がみられたが、無毛部皮膚領域のみへの刺激では有意な変化はなかった [図 2] さらに、肘から先の異なる二つの皮膚領域のどちらがより上流の SR にかかわっていたのかを両者の相関をとって確認してみたところ、無毛部である手掌部 (Palm) ではなく有毛部 (forearm) の皮膚 VC との関連性が有意に認められた。

以上の結果をまとめると、下肢自転車運動中、非運動肢である BA-SS 応答には、有毛部の皮膚血流調節が大きく関与していることが示された。本実験は、下肢自転車運動中、非運動肢である BA-SS 応答に対する下流の皮膚血流調節の影響を、神経支配の異なる有毛部と無毛部に分けて検討した初めてのものである。成果として、BA-SS 応答には血管の収縮と拡張の両作動性を有する有毛部皮膚領域での血流調節が主に関与することを明らかにした。

(実験 2)

下肢自転車運動中、肘から先に寒冷 (Cool) を加えた場合では、運動単独の場合と比較して、BA-SS 応答には、BA の順向 SS の減少、逆向 SS の増加がみられ、運動後の BA の血管内皮機能は運動前から有意に低下した [図 4] 一方、温熱刺激を加えた運動では、冷却刺激とは逆な BA-SS 応答、すなわち、順向 SS の増加と逆向 SS の減少が認められ、BA の血管内皮機能は向上する傾向を示した [図 3] さらに、図示はしていないが、運動中における BA-SS 応答の様相である順向 SS や逆向 SS の量的大きさと、運動後の血管内皮機能の変化の間には、想定されるような相関が認められた。

これらの結果から、下肢自転車こぎ運動中、温熱刺激を行って皮膚血流を人為的に増加させると、BA の血管内皮機能のさらなる上昇が期待できることを明らかにした。したがって、運動能力が比較的低く、身体への負担が大きいことからあまり高い負荷を課することが困難な対象者 (例えば心不全患者) には、効果があまり望めないといわれる低強度の運動であっても、それに温熱刺激を加えることで、中心循環へ大きな負担を与えることなく、運動単独で実施する場合と比べてより大きな抗動脈硬化効果が得られるものと期待される。また、本研究結果から、下肢運動を課することが難しい対象者 (車いす使用者、等) の場合、上肢運動に加え、非運動肢である下肢への温熱刺激を行うことで、それぞれ単独で行うより下肢の血管内皮内皮機能は大きく改善する可能性が十分にある。本研究の成果は、このような抗動脈硬化作用を惹起する新たな実践的方法の開発に寄与する可能性が高く、価値あるものである。

以上のことから、下肢自転車こぎ運動中、BA-SS 応答を主に調節している NG の皮膚領域に対して、温熱刺激を加えることで、運動を単独で実施するよりも、NG 皮膚への血流をより多く増大させることが可能であり、そのことに起因して、非運動肢である BA の血管内皮機能のさらなる上昇が望める可能性が示唆された。したがって、運動能力が比較的低く、身体への負担が大きいことからあまり高い負荷を課することが困難な対象者 (例えば心不全患者) には、効果があまり望めないといわれる低強度の運動であっても、それに温熱刺激を加えることで、中心循環へ大きな負担を与えることなく、運動単独で実施する場合と比べてより大きな抗動脈硬化効果が得られるものと期待される。本研究の成果は、このような抗動脈硬化作用を惹起する新たな実践的方法の開発に寄与する可能性が高く、価値あるものである。

(実験 3)

脚の浸水中、下腿の SBF は Warm 肢では著しく増大し、Cool 肢および対照肢ではわずかに減少した。また、前腕の SBF は全ての試行で浸水前からの有意な変化を示さなかった。Warm 肢の SFA では、浸水前に比べて、順向 BF は著しく増大、逆向 BF は減少、そして血管径は有意に増大した。一方、Warm 肢の PFA では、順向 BF、逆向 BF、および血管径に有意な変化は認められなかつ

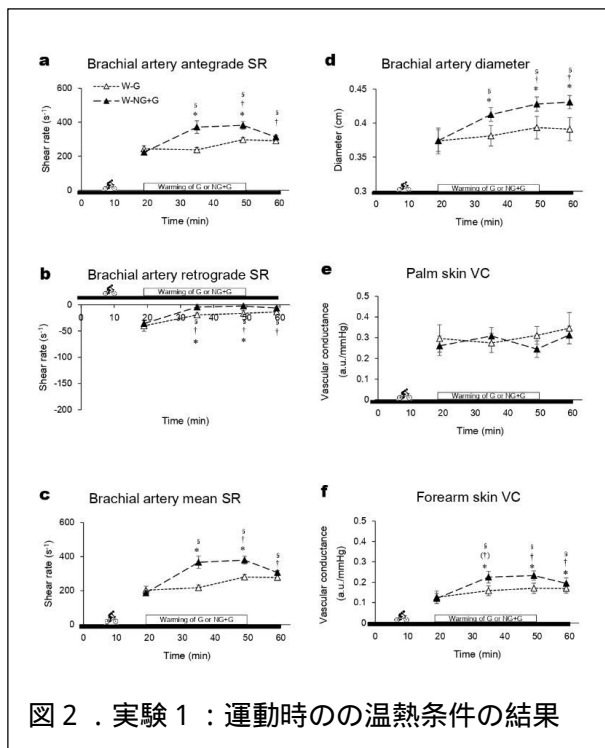


図 2 . 実験 1 : 運動時の温熱条件の結果

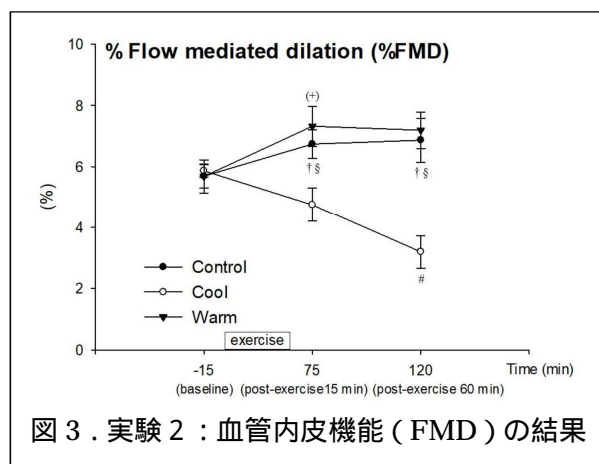


図 3 . 実験 2 : 血管内皮機能 (FMD) の結果

た。Cool 肢および対照肢では、SFA、PFA 共に、浸水前と比べて順向 BF、逆向 BF および血管径に大きな変化は認められなかった。これらの結果の定性的な傾向を、寒冷については表 1、温熱については表 2 に、それぞれ示した。

下腿への加温中、SFA では順向 BF が増大し逆向 BF が減少したことから、抗動脈硬化作用を惹起する血流様相を呈することが確認された [表 2 の赤枠線]。この血流様相の変化は、主に下流にある下腿の SBF の増大および筋温の上昇によるものだと考えられた。一方、下腿への加温中、PFA では順向 BF、逆向 BF 共に変化がなく、SFA とは明らかに異なる血流様相を呈した。これは、PFA の主要な血液供給先である大腿の骨格筋と骨組織に、下腿への加温の影響が及ばなかったものと推察された。一方、下腿への冷却は、下肢動脈の血流様相へ大きな影響は及ぼさないことが分かった。以上のことから、下腿への加温による血流様相の変化は、下肢全域ではなく下腿へ血液供給する血管に限定的であることが示唆された。

本研究結果から、下肢運動を課すことが難しい対象者（車いす使用者、等）の場合、上肢運動に加え、非運動肢である下腿への温熱刺激を行うことで、それぞれ単独で行うより下腿の SFA といった伝導血管内皮機能はさらに改善する可能性があるかと予測され、新たな実践的方法の開発に寄与するものと考えられる。

表 1 . 実験 3 : 寒冷条件の結果

	Cool肢		対照肢	
	SFA	PFA	SFA	PFA
下腿部 SBF	↓		↓	
順向BF	↓	→	→	→
逆向BF	→	↑	→	↑

表 2 . 実験 3 : 温熱条件の結果

	Warm肢		対照肢	
	SFA	PFA	SFA	PFA
下腿部 SBF	↑↑		↓	
順向BF	↑↑	→	→	→
逆向BF	↓↓	→	↑	↑

< 引用文献 >

- 1 . 東 幸仁: 動脈硬化の第一段階としての血管内皮障害. 日本内科学会雑誌, 2007; 96: 1717-1723
- 2 . Green DJ, Hopman MT, Padilla J, and Laughlin MH, Thijssen DH: Vascular adaptation to exercise in humans: Role of hemodynamic stimuli. *Physiol Rev*, 2017; 97:495-528
- 3 . Padilla J, Simmons GH, Bender SB, Arce-Esquivel AA, Whyte JJ, Laughlin MH. Vascular effects of exercise: endothelial adaptations beyond active muscle beds. *Physiology* 26: 132-145, 2011.
- 4 . Simmons GH, Padilla J, Young CN, Wong BJ, Lang JA, Davis MJ, Laughlin MH, and Fadel PJ: Increased brachial artery retrograde shear rate at exercise onset is abolished during prolonged cycling: role of thermoregulatory vasodilation. *J Appl Physiol*, 2011; 110:389-397
- 5 . Fukuba Y, Endo MY, Kondo A, Kikugawa Y, Miura K, Kashima H, Fujimoto M, Hayashi N, Fukuoka Y and Koga S : Brachial artery blood flow dynamics during sinusoidal leg cycling exercise in humans. *Physiol Rep*, 2017; 5: e13456
- 6 . Ooue A, Ichinose T, Inoue Y, Nishiyasu T, Koga S and Kondo N: Changes in blood flow in conduit artery and veins of the upper arm during leg exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*, 2008; 103: 367-373
- 7 . Charkoudian N: Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. *J Appl Physiol*, 2010; 109: 1221-1228
- 8 . Thijssen DH, Black MA, Pyke KE, Padilla J, Atkinson G, Harris RA, Parker B and Widlansky ME, Tschakovsky ME, Green DJ: Assessment of flow-mediated dilation in humans: a methodological and physiological guideline. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2011; 300: H2-12

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 K Miura, H Kashima, S Namura, M Morimoto, M Y Endo, A Oue, Y Fukuba	4. 巻 受理印刷中
2. 論文標題 Effects of cooling or warming of the distal upper limb on skin vascular conductance and brachial artery shear profiles during cycling exercise	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Research in Sport Medicine	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/15438627.2021.1872573.	査読の有無 有
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 Kashima H, Taniyama K, Sugimura K, Endo MY, Kobayashi T, Fukuba Y.	4. 巻 68
2. 論文標題 Suppression of sweet sensing with glucose, but not aspartame, delays gastric emptying and glycemc response.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nutrition Research	6. 最初と最後の頁 62-69
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nutres.2019.06.005.	査読の有無 有
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 K Miura, H Kashima, A Oue, A Kondo, S Watanabe, M Y Endo, Y Fukuba	4. 巻 70 : 23
2. 論文標題 Effect of sinusoidal leg cycling exercise period on brachial artery blood flow dynamics in humans	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Sciences	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s12576-020-00750-5	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 K. Miura, H. Kashima, M. Morimoto, S. Namura, M.Y. Endo, A. Ooue, Y. Fukuba	4. 巻 28
2. 論文標題 Effects of unilateral arm warming or cooling on the modulation of brachialartery shear stress and endothelial function during leg exercise in humans	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Atherosclerosis and Thrombosis	6. 最初と最後の頁 271-282
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5551/jat.55731	査読の有無 有
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 Kashima H, Sugimura K, Taniyawa K, Kondo R, Endo MY, Tanimoto S, Kobayashi T, Miura A, Fukuba Y	4. 巻 120
2. 論文標題 Timing of post-resistance exercise nutrient ingestion: effects on gastric emptying and glucose and amino acid responses in humans	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Br. J. Nutr.	6. 最初と最後の頁 995-1005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0007114518002398	査読の有無 有
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 Fukuba Y, Endo MY, Kondo A, Kikugawa Y, Miura K, Kashima H, Fujimoto M, Hayashi N, Fukuoka Y, Koga S.	4. 巻 5
2. 論文標題 Brachial artery blood flow dynamics during sinusoidal leg cycling exercise in humans.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physiol. Rep.	6. 最初と最後の頁 e13456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.13456	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 -

[学会発表] 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Fukuba Y., M. Morimoto, S. Namura, K.Miura, M.Y. Endo, A. Oue, H. Kashima
2. 発表標題 Effects of warming or cooling of the unilateral arm on modulations of brachial artery shear stress and endothelial function during leg exercise in humans
3. 学会等名 The 24th Annual Meeting of European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiyuki Fukuba; Saki Namura; Marina Morimoto; Kohei Miura; Anna Oue; Hideaki Kashima
2. 発表標題 Effects of warming or cooling stimulation of the forearm and/or palm on brachial artery shear rate profiles during lower cycling exercise
3. 学会等名 ICEE 2019: International Conference on Environmental Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 EFFECTS OF WARMING OR COOLING STIMULATION OF THE FOREARM ON BRACHIAL ARTERY ENDOTHELIAL FUNCTION DURING LEG CYCLING EXERCISE
2. 発表標題 Yoshiyuki Fukuba, Marina Morimoto, Saki Namura, Kohei Miura, Masako Y. Endo, Anna Oue, Hideaki Kashima
3. 学会等名 The 14th International Congress of Physiological Anthropology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiyuki Fukuba, Nao Harada, Kanae Miyamoto, Masako Y. Endo, Hideaki Kashima
2. 発表標題 Timing of post-strenuous exercise nutrient ingestion with a special reference to the digestive/absorptive function in humans
3. 学会等名 NUTRITION 2018 (American Society for Nutrition) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiyuki Fukuba, Kohei Miura, Hideaki Kashima, Masako Endo, Anna Ooue, Ayaka Kondo, Sachiko Watanab1, Yoshiyuki Fukuoka, Shunsaku Koga
2. 発表標題 Effect of sinusoidal leg cycling exercise on the blood flow dynamics of the brachial artery in humans
3. 学会等名 Europhysiology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiyuki Fukuba, Saki Namura, Marina Morimoto, Kohei Miura, Hideaki Kashim, Anna Oue
2. 発表標題 The effect of warm/cool stimulus to forearm/hand on brachial artery blood flow during leg exercise
3. 学会等名 FAOPS2019 (Federation of the Asia and Oceanian Physiological Societies) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Miura, Ayaka Kondo, Yuka Kikugawa, Masako Y Endo, Hideaki Kashima, Anna Oue, Yoshiyuki Fukuba
2. 発表標題 The differential dynamics of brachial artery and forearm skin blood flows during leg cycle exercise
3. 学会等名 FAOPS2019 (Federation of the Asia and Oceanian Physiological Societies) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideaki Kashima, Saori Kamimura, Masako Yamaoka Endo, Kohei Miura, Akira Miura, Yoshiyuki Fukuba
2. 発表標題 Timing of nutrient intake after mild exercise: effects of gastrointestinal activity in humans
3. 学会等名 FAOPS2019 (Federation of the Asia and Oceanian Physiological Societies) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y Fukuba, M Fujimoto, M Endo, H Kashima, N Hayashi, Y Fukuoka, S Koga
2. 発表標題 Dissociated dynamics of brachial artery and forearm skin blood flows during sinusoidal leg cycling exercise
3. 学会等名 17th International Conference on Environmental Ergonomics (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

県立広島大学運動生理学研究室
<http://www.pu-hiroshima.ac.jp/~fukuba/index.html>

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	山岡 雅子 (遠藤雅子) (Yamaoka Masako) (30336911)	県立広島大学・人間文化学部・教授 (25406)	
研究分担者	鍛島 秀明 (Kashima Hideaki) (40714746)	県立広島大学・人間文化学部・助教 (25406)	
研究分担者	宮地 元彦 (Motohiko Miyachi) (60229870)	国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所・国立健康・ 栄養研究所 身体活動研究部・部長 (84420)	
研究分担者	林 直亨 (Naoyuki Hayashi) (80273720)	東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・教授 (12608)	

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