

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：20101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K16432

研究課題名(和文) 剪断波エラストグラフィを用いた局所的な動脈硬化の評価および介入効果の検証

研究課題名(英文) Evaluation of local arteriosclerosis using shear wave elastography

研究代表者

岩本 えりか (Iwamoto, Erika)

札幌医科大学・保健医療学部・講師

研究者番号：40632782

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、局所的な硬さを画像化する剪断波エラストグラフィを用いた動脈硬化の評価の検証を行うことを目的とした。本研究では、1) 剪断波エラストグラフィで測定するヤング率が血管壁構造などの「器質的要素」と血管反応性などの「機能的要素」のどちらをより反映するか、また2) 影響する生理学的な因子を明らかにするために、若年女性の月経周期および急性有酸素性運動がヤング率に与える影響を検証した。結果、ヤング率は月経周期に伴うホルモン変化および急性運動により有意に変化しないことが示され、剪断波エラストグラフィで測定する動脈スティフネスは、より器質的变化を反映する手法である可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動脈スティフネスは心血管疾患の発症リスクとの関連が強く、その評価は臨床的意義が高い。ただし、従来から用いられている動脈スティフネスの指標は、運動、エストロゲンなどのホルモンの影響、血圧、食事、緊張などの影響を受けやすいことが報告されており、動脈硬化検査にて考慮すべき問題である。これに対して、剪断波エラストグラフィは、機能的要素の影響を受けにくく、かつ局所の器質的な硬さを非侵襲的に測定できることが示され、心血管疾患予防のための有用なツールとなる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to verify the evaluation of arteriosclerosis using the shear wave elastography (ultrasound tissue elastic imaging) which is a new imaging that images local arterial stiffness. Specifically, we aimed to clarify 1) whether Young's modulus measured by shear wave elastography more reflects "structural factors" such as the structure of blood vessel walls or "functional factors" such as vascular reactivity and 2) the physiological factors that influence Young's modulus. We found that the changes in estradiol during menstrual cycle in the young women and acute aerobic exercise did not affect Young's modulus. These results suggest that arterial stiffness measured by shear wave elastography may more reflect arterial structural factors compared to the functional factors.

研究分野：運動生理学

キーワード：shear-wave elastography arterial stiffness arteriosclerosis menstrual cycle aerobic exercise

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

動脈硬化の早期発見や改善を目的とした介入方法の開発は、社会的急務である。動脈硬化は、脳血管障害において重要な頸動脈分岐部などの血流の急変部位に限局的に生じやすい。また、動脈は構造によって、弾性繊維の多い「弾性動脈」や、血管平滑筋の多い「筋性動脈」などに分類されるが、この動脈の構造も動脈硬化の進行に関与している。例えば、脳循環に重要な総頸動脈（弾性動脈）と内頸動脈（筋性動脈）では、年齢や性周期などが動脈硬化に与える影響が異なる可能性がある。そのため、全身的な動脈硬化だけではなく、局所的な動脈硬化の評価および介入効果の検証が必要である。しかし、従来の動脈硬化の指標は、血管の長軸方向・横断面円周方向での平均的な応答性や弾性特性であり、従来の評価法は動脈硬化病変の局所的な硬さの評価が難しいという問題があった。

一方、剪断波エラストグラフィ（超音波組織弾性映像法）は、機械的な圧迫ではなく超音波の力で血管に微細振動を誘起させ、生じる剪断波の速度から弾性率（硬さの指標）を絶対的に定量化する画期的な手法である。また剪断波エラストグラフィのメリットとして、局所的な評価が可能であるということが挙げられる。剪断波エラストグラフィは、基礎研究では既に血管分岐部や血管プラークに応用できることが確認されており有用性が期待されているが、動脈に用いた研究はまだ非常に少ない。さらに、動脈の硬さ（ステイフネス）の指標には、動脈壁の弾性繊維の変性などによる「器質的な要素」と、血管の反応性（拡張や収縮のしやすさ）などの「機能的な要素」の両者があるが、剪断波エラストグラフィで測定される弾性率が、これらの硬さのどちらをより反映しているのかは明らかではなかった。また、動脈硬化の予防・改善を考える上で加齢や性周期の影響、および運動療法の介入効果は非常に重要であるが、剪断波エラストグラフィを用いた局所的な動脈硬化に対する生理的因子の影響や介入効果に関する報告は行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、局所的な硬さを画像化する新たなイメージングである剪断波エラストグラフィ（超音波組織弾性映像法）を用いた局所的な動脈硬化の評価の検証を行うことを目的とした。具体的には、以下を検討することにより、剪断波エラストグラフィで測定する動脈ステイフネスが器質的な硬さと機能的な硬さのどちらをより反映しているか、また影響する生理学的な因子を明らかにすることを目的とした。

- (1) 若年女性の月経周期が剪断波エラストグラフィで評価した動脈ステイフネスに与える影響
- (2) 既存の動脈硬化の指標と剪断波エラストグラフィで評価した動脈ステイフネスの比較
- (3) 有酸素性運動が剪断波エラストグラフィで測定した動脈ステイフネスに与える影響

3. 研究の方法

(1) 実験 1：若年女性の性周期が剪断波エラストグラフィで評価した動脈ステイフネスに与える影響

<対象者>

月経周期の安定した健康な若年女性 10 名(21.3±1.3 歳, BMI: 21.4±1.9kg/m², 平均±標準偏差)を対象とした。被験者の月経周期は、実験開始 1-2 ヶ月前より予定月経日の前後 4 日以内に月経が来ているかを聴取した。加えて、排卵日予測検査薬（ロート製薬, ドゥーテスト LHa）にて排卵のタイミングを確認し、排卵日を予測した。これらの結果より月経周期が安定している者のみ対象者として採用した。

<測定プロトコル>

測定は卵胞期前期（EF 期；月経開始より 2-5 日以内）、卵胞期後期（LF 期；予測排卵日より 2-5 日前）の計 2 回とした。予測排卵日は事前の排卵日予測検査の結果と各被験者の月経周期において、黄体期持続時間を 14 日と仮定して予測した。

15 分間の安静背臥位後、血圧監視装置（Suntech Medical Instruments, Tango+）を用いて、収縮期上腕動脈血圧（SBP）、拡張期上腕動脈血圧（DBP）を測定した。血圧測定後、従来の動脈硬化の指標 [増大圧係数（AIx）、動脈コンプライアンス、ステイフネス、血流依存性血管拡張反応（FMD）] を測定し、その後、剪断波エラストグラフィ技術を持つ超音波装置を用いて動脈ステイフネスの指標であるヤング率を測定した。

<測定項目および解析方法>

AIx：総頸動脈（CCA）にてペン型のトノメトリー（AtCor MEDICAL, Sphygmo Cor）を用いて測定した。

動脈コンプライアンスおよびステイフネス：ペン型のトノメトリー（Millar, SPT-301 Non-Invasive pulse wave tonometer）によって頸動脈の脈波を 10 拍分測定し、それと同時に超音波診断装置（GE Healthcare, Vivid i）および超音波診断用プローブ（GE Healthcare, 6.0-13.0 MHz, 12L-RS プローブ）によって血管径を測定した。動画記録は 60 Hz で連続的にキャプチャーBOX を通じてコンピュータに取り込み、ハードディスクに保存した。CCA, ICA それ

それで2回測定した。また、脈波はMAPとDBPによって補正した。その後、解析ソフト (Python Software Foundation, Python version3.7) の専用に設計されたスクリプトを用いてCCAおよび内頸動脈 (Internal carotid artery: 以下ICA) の動脈コンプライアンスとスティフネスを以下の式より算出した。

$$\begin{aligned} \text{動脈コンプライアンス (mm}^2/\text{mmHg)} &= V (\text{体積変化率}) / P (\text{圧変化率}) \\ \text{スティフネス} &= \ln (\text{SBP}/\text{DBP}) / [(\text{収縮期血管径} - \text{拡張期血管径}) / \text{拡張期血管径}] \\ & (\ln \text{ は自然対数}) \end{aligned}$$

FMD: 2分間の安静の後、3分間のCO₂吸入を行った。CO₂吸入はミキシングチャンバーを用いて、室内空気と100%CO₂ガスを混合させ、呼気終末二酸化炭素分圧 (P_{ET}CO₂) を安静時より10mmHg上昇させた。CCAおよびICAの2試行間には15分間の安静の間隔を空けた。P_{ET}CO₂は質量分析装置 (ARCO SYSTEM Inc, ARCO-2000BM) にて測定した。測定中、超音波診断装置 (Vivid i) を用いて、ICAの血管径 (B-mode) および平均血流速度を (PW-mode) 連続的に測定した。得られた画像および流速波形をキャプチャーBOXを介して30Hzにてコンピュータに取り込み、ハードディスクに保存した。測定後に画像解析ソフト (竹井機器 ver. 2.0.1 no. S-13037) を用いて超音波画像の解析を行った。FMDは以下の式より算出した。

$$\text{FMD} (\%) = (\text{最大血管径} - \text{安静時血管径}) / \text{安静時血管径} \times 100$$

ヤング率: 先行研究 {Alis, 2018 #5678; Thomas, 2019 #5677; Ramnarine, 2014 #4383} をもとに超音波診断装置 (Aixplorer, SuperSonic Imagine, France) およびリニアプローブ (5-14 MHz) を用いてCCAおよびICAの10秒間の動画を2回ずつ測定し、キャプチャーBOXを介して15Hzにてコンピュータに取り込み、ハードディスクに保存した。超音波のセッティングは以下の通りとした [acoustic power (maximum); smoothing (mid-range setting of 6); persistence (off); gain (65-70%); SWE option (penetration); maximum stiffness (300kPa)]。ヤング率は以下の式に基づき、超音波機器内で自動的に算出された値を用いた (図1)。

$$\begin{aligned} \text{ヤング率 (kPa)} &= 3 \rho C_s^2 \\ (\rho &: \text{密度}, C_s : \text{剪断波速度}) \end{aligned}$$

ヤング率の高い (硬い) 部位は赤く、低い (柔らかい) 部位は青く表示し、これらの色を解析ソフト (竹井機器, 筋硬度超音波画像解析プログラム ve.1.5.1) を用いて動画解析した。各動脈の拡張末期を対象とし、手動にて血管内腔および周囲組織を除いた血管の浅壁を解析範囲と設定した。ヤング率は平均値 ± 3SD 以内の値を採用し、各動脈の浅壁の平均値を算出した。

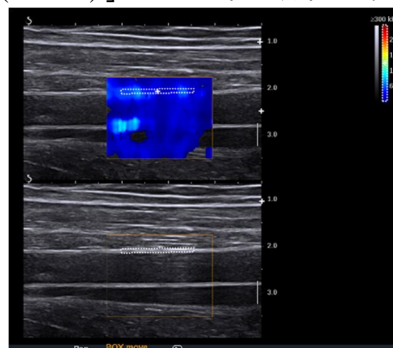


図1. プログラムを使用したヤング率の解析画面
点線で囲まれた範囲 (浅壁) のヤング率を算出した。

(2) 実験 2: 急性の運動が剪断波エラストグラフィで評価した動脈スティフネスに与える影響

<対象者>

健康な若年男性 12 名 (26±4 歳, BMI: 24±2 kg/m², 平均±標準偏差) を対象とした。

<測定プロトコル>

15 分の安静臥位後、臥位で剪断波エラストグラフィを測定し、その後、上腕-足首脈波伝播速度 (baPWV) を 2 回測定した。その後、座位にて 70W で 5 分間の低強度自転車運動を実施した。運動終了すぐに臥位となり、5 分後、15 分後にヤング率および baPWV を再度測定した。

<測定項目および解析方法>

baPWV: 血圧脈波検査装置 (Form PWV/ABI, オムロンコーリン) を用いて baPWV を測定した。左右の平均値を baPWV の代表値として用いた。

ヤング率: 実験 1 と同様の方法で CCA のヤング率を測定および解析した。

4. 研究成果

<実験 1>

被験者の静脈血中エストロゲン濃度は、EF 期と比較して LF 期で有意に増加した。コンプライアンス、スティフネスおよび AIx は性周期間で有意差を認めなかった (表 1)。ICA の FMD は LF 期において EF 期より高値を示した (図 2A)。一方、ICA および CCA のヤング率は性周期間で変化を認めなかった (図 2B および C, P=0.19, P=0.53)。

表 1. 従来の動脈スティフネスの性周期における変化

		EF	LF	t-test
コンプライアンス (mm ² /mmHg)	CCA	0.32±0.10	0.44±0.18	P=0.12
	ICA	0.13±0.03	0.26±0.22	P=0.09
βスティフネス	CCA	4.68±1.10	4.06±1.52	P=0.39
	ICA	6.64±0.99	5.26±3.25	P=0.20
AIx	CCA	119±12	120±12	P=0.70

平均±標準偏差, AIx; augmentation index, CCA; 総頸動脈, ICA; 内頸動脈, EF; 卵胞期早期, LF; 卵胞期後期。

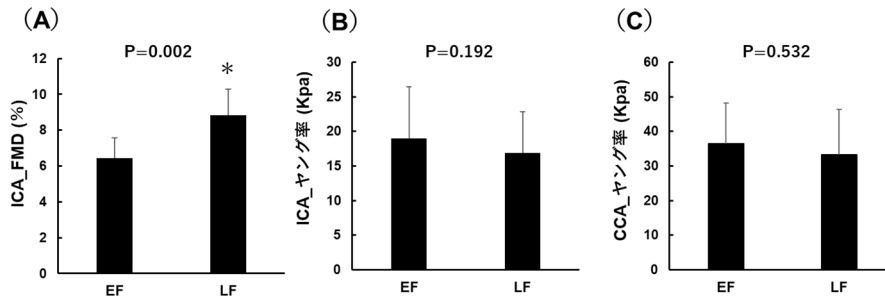


図2. FMDおよびヤング率の性周期における変化

平均±標準偏差, CCA; 総頸動脈, ICA; 内頸動脈, EF; 卵胞期早期, LF;卵胞期後期.

ヤング率と従来のスティフネスの相関を表2および表3に示す. CCA および ICA において, 従来用いられてきた動脈スティフネスの指標である スティフネス (増加するほど硬い) と動脈コンプライアンス (増加するほど柔らかい) は強い負の相関を示した. CCA において, ヤング率と従来のスティフネス間には全て有意な関係を認めなかった (表2). ICA では, ヤング率が増加する (硬くなる) ほど, FMD が低下する (拡張しにくくなる) 弱い負の相関を認めた (表3, $r=-0.47, P=0.04$) が, 他の指標との有意な相関は認めなかった (表3).

表2. 総頸動脈 (CCA) におけるヤング率と従来のスティフネスのとの相関

CCA	ヤング率	コンプライアンス	βスティフネス	Alx
ヤング率	N/A	$r=0.05, P=0.82$	$r=0.01, P=0.97$	$r=0.05, P=0.83$
コンプライアンス	$r=0.05, P=0.82$	N/A	$r=-0.81, P<0.01$	$r=0.05, P=0.82$
βスティフネス	$r=0.01, P=0.97$	$r=-0.81, P<0.01$	N/A	$r=0.04, P=0.86$
Alx	$r=0.05, P=0.83$	$r=0.05, P=0.82$	$r=0.04, P=0.86$	N/A

表3. 内頸動脈 (ICA) におけるヤング率と従来のスティフネスのとの相関

ICA	ヤング率	コンプライアンス	βスティフネス	FMD
ヤング率	N/A	$r<0.01, P=0.99$	$r=-0.14, P=0.57$	$r=-0.47, P=0.04$
コンプライアンス	$r<0.01, P=0.99$	N/A	$r=-0.80, P<0.01$	$r=-0.02, P=0.93$
βスティフネス	$r=-0.14, P=0.57$	$r=-0.80, P<0.01$	N/A	$r=0.21, P=0.39$
FMD	$r=-0.47, P=0.04$	$r=-0.02, P=0.93$	$r=0.21, P=0.39$	N/A

<実験2>

心拍数は運動5分後, 15分後においても安静値から増加を示したが ($P<0.05$, 表4), 収縮期血圧, 拡張期血圧および平均血圧は運動後5分後で安静値と有意差を認めなかった (全て $P<0.05$).

baPWVは運動5分後に安静値から低下し ($P<0.01$), 15分後に安静値まで回復した (図3A). 一方, ヤング率は運動による変化を認めなかった (One-way ANOVA, $P=0.723$, 図3B).

表4. 運動前後の循環諸量の変化

	Pre	Post 5	Post 15	One-way ANOVA
HR	63±8	72±13*	69±10*	$P<0.001$
SBP	118±5	116±10	116±6	$P=0.174$
DBP	66±5	66±6	65±5	$P=0.119$
MAP	84±5	83±7	82±5	$P=0.195$

平均±標準偏差, Pre; 運動前, Post 5・Post 15; 運動5分後・運動15分後, HR; 心拍数, SBP・DBP; 収縮期・拡張期血圧, MAP; 平均血圧. * $P<0.05$ vs. Pre.

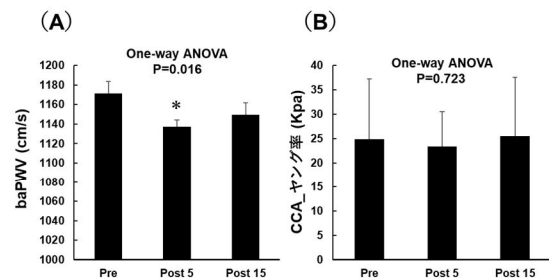


図3. baPWVおよびヤング率の運動前後の変化

平均±標準偏差, Pre; 運動前, Post 5・Post 15; 運動5分後・運動15分後, * $P<0.05$ vs. Pre.

< 考察 >

動脈壁は外膜，中膜，内膜の3層構造で，中膜は主に血管平滑筋で構成される．血管平滑筋は筋交感神経活動によるコントロールを受ける．また，内膜にある血管内皮細胞は，血管拡張物質（一酸化窒素など）や血管収縮物質（エンドセリン-1など）を放出し，血管平滑筋の緊張を調節している．すなわち，平滑筋肥厚やコラーゲン繊維減少，カルシウム沈着などの動脈の器質的要素の変化だけでなく，交感神経の調節や血管内皮機能という機能的要素の変化によって，動脈スティフネスは変化する．加齢などの長期間の変化では，動脈スティフネスの機能的要素と器質的要素の両者が変化する事が報告されている．一方，月経周期などの極めて短期間に起こる変化や一過性運動後の急性変化における変化に関しては，交感神経活動や血管内皮機能などの動脈スティフネスの機能的要素の変化の影響が大きいと考えられる（Seals DR et al., J Physiol, 2009）

本研究の実験1により，若年女性の性周期は剪断波エラストグラフィを用いて測定するヤング率は若年女性の性周期の影響を受けにくいことが明らかになった．一方で，CCAおよびICAの動脈コンプライアンスは，EF期と比較してLF期で増加傾向（柔らかくなる傾向）を示した．また，血管の拡張能であるICAのFMDもEF期と比較してLF期で高値（拡張しやすい）を示した．エストロゲンは，血管内皮細胞や血管平滑筋にあるエストロゲン受容体を介して，血管拡張因子（一酸化窒素）の放出および血管収縮因子の産生抑制し，血管拡張を促す．さらに，先行研究ではエストロゲン濃度が高いLF期と比較して，濃度が低いEF期において交感神経活動が亢進することが報告されている．これは，エストロゲンが圧受容器反射感受性を亢進させることが関与すると推測されている．動脈コンプライアンスは単位脈圧変化あたりの絶対容積変化を，FMDは血流増加に対する血管の拡張度をみるものであり，より血管の機能的要素を反映していると推測される．スティフネスは月経周期により有意に変化しなかったが，スティフネスは血圧の変動の影響を受けにくい指標とされており，動脈コンプライアンスと比較してより器質的要素を反映していた可能性がある．また，ヤング率はICAのFMDとのみ有意な弱い相関を示したが，その他のコンプライアンスやスティフネスとの有意な相関を認めなかった．また，ヤング率は月経周期により有意に変化しなかった．以上の結果より，ヤング率は動脈スティフネスの要素の中でも，より器質的要素の影響を反映する可能性が示された．

さらに実験2により，急性運動が動脈スティフネスに与える影響を検証した．先行研究では，急性の短時間運動が一過性にPWVを低下させることが報告されており（Sugawara J et al., Artery Research, 2010; Murakami M et al., Journal of Physical Therapy Science, 2012），本研究においても安静時と比較して運動5分後にbaPWVの有意な低下（柔らかくなる）が認められた．本研究で用いた運動は，5分間の低強度自転車運動により動脈の器質的要素が一過性に変化するとは考えにくく，baPWVの変化は血管内皮機能の変化などの機能的要素の変化を反映したと推測される．運動は血流および血管壁への刺激（シェアストレス）を増加させ，血管拡張物質である一酸化窒素の産生を促すことが報告されており，このような内皮依存性の血管拡張能増加によりbaPWVは低下したと推測される．一方，ヤング率は安静時から運動5分後，15分後においても変化せず，動脈の機能的要素の急性変化を反映しにくい可能性が明らかになった．

< 結論 >

本研究では，剪断波エラストグラフィで測定したヤング率が若年女性の月経周期中や急性運動における血管の機能的変化の影響を受けにくく，器質的変化をより反映できる手法である可能性が示された．動脈スティフネスは心血管疾患の発症リスクや死亡原因との関連が強く，その評価は非常に臨床的意義が高い．ただし，従来から用いられている動脈スティフネスの指標（AIx，動脈コンプライアンス，スティフネス，FMD，PWV）は，運動，エストロゲンなどのホルモンの影響，血圧，食事，緊張など影響を受けやすいことが報告されており，動脈硬化の検査にて考慮すべき問題である．これに対して，剪断波エラストグラフィは，機能的要素の影響を受けにくく，かつ動脈の局所の器質的な硬さを非侵襲的に測定できることが示され，心血管疾患予防のための有用なツールとなる可能性が示された．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Suzuki Kazuya, Washio Takuro, Tsukamoto Shingo, Kato Kazunori, Iwamoto Erika, Ogoh Shigehiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Habitual cigarette smoking attenuates shear mediated dilation in the brachial artery but not in the carotid artery in young adults	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 e14369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.14369	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 Erika Iwamoto, Yutaka Yamada, Masaki Katayose, Rintaro Sakamoto, Toru Neki, Jun Sugawara, Shigehiko Ogoh	4. 巻 120
2. 論文標題 Acute Hypotension Attenuates Brachial Flow-Mediated Dilation in Young Healthy Men	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 161-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-019-04260-0	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 Katayama Keisho, Goto Kazushige, Ohya Toshiyuki, Iwamoto Erika, Takao Kenji, Kasai Nobukazu, Sumi Daichi, Mori Hisashi, Ishida Koji, Shimizu Kaori, Shiozawa Kana, Suzuki Yasuhiro	4. 巻 in press
2. 論文標題 Effects of Respiratory Muscle Endurance Training in Hypoxia on Running Performance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000001929	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 Kimura Takehide, Kaneko Fuminari, Iwamoto Erika, Saitoh Shigeyuki, Yamada Takashi	4. 巻 237
2. 論文標題 Neuromuscular electrical stimulation increases serum brain-derived neurotrophic factor in humans	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 47 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00221-018-5396-y	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 Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.	4. 巻 315
2. 論文標題 Hypercapnia-induced shear-mediated dilation in the internal carotid artery is blunted in healthy older adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology	6. 最初と最後の頁 H1279 ~ H1286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/ajpheart.00335.2018	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 該当する

1. 著者名 Kruse Nicholas T., Hughes William E., Ueda Kenichi, Hanada Satoshi, Feider Andrew J., Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.	4. 巻 596
2. 論文標題 Impaired modulation of postjunctional 1- but not 2-adrenergic vasoconstriction in contracting forearm muscle of postmenopausal women	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physiology	6. 最初と最後の頁 2507 ~ 2519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1113/JP275777	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 該当する

1. 著者名 Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.	4. 巻 124
2. 論文標題 Blunted shear-mediated dilation of the internal but not common carotid artery in response to lower body negative pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 1326 ~ 1332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jappphysiol.01011.2017	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 該当する

1. 著者名 IWAMOTO ERIKA, BOCK JOSHUA M., CASEY DARREN P.	4. 巻 50
2. 論文標題 High-Intensity Exercise Enhances Conduit Artery Vascular Function in Older Adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 124 ~ 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000001405	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 該当する

1. 著者名 Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Blunted shear-mediated dilation of the internal but not common carotid artery in response to lower body negative pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jappphysiol.01011.2017	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 Kruse Nicholas T., Hughes William E., Hanada Satoshi, Ueda Kenichi, Bock Joshua M., Iwamoto Erika, Casey Darren P.	4. 巻 124
2. 論文標題 Evidence of a greater functional sympatholysis in habitually aerobic trained postmenopausal women	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 583 ~ 591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jappphysiol.00411.2017	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 Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.	4. 巻 50
2. 論文標題 High-Intensity Exercise Enhances Conduit Artery Vascular Function in Older Adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 124-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000001405	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 Ogoh S, Nagaoka R, Mizuno T, Kimura S, Shidahara Y, Ishii T, Kudoh M, Iwamoto E	4. 巻 4
2. 論文標題 Acute vascular effects of carbonated warm water lower leg immersion in healthy young adults	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physiological reports	6. 最初と最後の頁 e13046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.13046	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 Itoh Y, Katayama K, Iwamoto E, Goto K, Suzuki Y, Ohya T, Takao K, Ishida K	4. 巻 230
2. 論文標題 Blunted blood pressure response during hyperpnoea in endurance runners	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Respiratory physiology & neurobiology	6. 最初と最後の頁 22-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resp.2016.04.010	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 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.
2. 発表標題 Hypercapnia-induced shear-mediated dilation in the internal carotid arteries is blunted in healthy older adults
3. 学会等名 Experimental Biology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Iwamoto Erika, Bock Joshua M., Casey Darren P.
2. 発表標題 Sympathetic nervous system activation attenuates shear-mediated dilation in the internal carotid artery of young adults
3. 学会等名 Iowa Physiological Society Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Iwamoto Erika, Takami Jiro, Nagaoka Ryohei, Neki Toru, Katayose Masaki.
2. 発表標題 Combined effect of heating and electrical stimulation on endothelial vasodilator function
3. 学会等名 Experimental Biology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Iwamoto Erika
2. 発表標題 Effects of shear stress during exercise on the vascular endothelial function
3. 学会等名 第95回日本生理学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Iwamoto E, Minakami M, Nagaoka R, Neki T, Taniguchi K, Katayose M
2. 発表標題 Variations Of Carotid Arterial Elasticity During The Menstrual Cycle Using Ultrasound Shear Wave Elastography
3. 学会等名 American College of Sports Medicine（国際学会）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

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		
USA	University of Iowa		