

後期高齢者のバスキュラー・ストレッチング介入における 柔軟性および動脈硬化度への影響

京都先端科学大学 新 野 弘 美

Effects of Vascular Stretching Intervention on Flexibility and Arterial Stiffness in Latter-Stage Elderly People

by

Hiromi Shinno

*Department of Health and Sport Sciences,
Faculty of Health and Medical Sciences,
Kyoto University of Advanced Science*

ABSTRACT

We investigated the effects of continuous vascular (static) stretching on flexibility, vascular endothelial function and arterial stiffness in latter-stage elderly people. Flexibility and vascular endothelial function and arterial stiffness significantly improved after three months of vascular stretching. After six months, further improvements were observed in flexibility, vascular endothelial function and arterial stiffness. However, six months after discontinuing vascular stretching, the flexibility, endothelial function, and arterial stiffness returned to the preintervention levels, thereby indicating that the effects of vascular stretching are reversible. These results suggest that vascular stretching may contribute as an anti-atherosclerotic exercise in latter-stage elderly people, as it improves flexibility, vascular endothelial function, and arterial stiffness.

キーワード

スタティック・ストレッチング, 柔軟性, 血管内皮機能, 動脈ステイフネス, 可逆性

Keyword

static stretching, flexibility, vascular endothelial function, arterial stiffness, reversibility

要 旨

後期高齢者を対象とし、バスキュラー（スタティック）・ストレッチングの継続実施による、柔軟性、血管内皮機能および動脈ステイフネスに及ぼす影響を検討した。その結果、介入3ヶ月後は柔軟性の改善、血管内皮機能および動脈ステイフネスにおいて有意な改善を認め、介入6ヶ月後ではさらに柔軟性の改善、血管内皮機能および動脈ステイフネスにおいて有意な改善を認めた。しかしながら、6ヶ月間の脱介入後では、柔軟性、血管内皮機能および動脈ステイフネスは介入前の状態に戻り、獲得した効果の可逆性を認めた。バスキュラー・ストレッチングの継続実施は柔軟性を改善し、抗動脈硬化の運動種目の一つとして貢献する可能性が示唆された。

1. Introduction

老化は遺伝的要因以上に環境的要因の影響を受け、各自の生活様式が進行を決定づける。加齢変化や廃用の程度は個人差が大きく、生活習慣病等の疾患においても多様である¹⁾。加齢に伴い血管は、エラスチンの減少と伸縮性のないコラーゲンの増加など、構造的および機能的に変化をきたす。血管内皮を介した血管拡張は低下し、大動脈のような弾性型動脈では、血管内膜が肥厚し血管壁が厚くなることで、血管コンプライアンスは低下する。動脈コンプライアンスが低下するとウインドケッセル機能が低下し、収縮期血圧上昇、拡張期血圧低下をきたし脈圧を増加させる^{2,3)}。脈圧増大は末梢動脈を障害し、さらに動脈硬化を進行させる。動脈コンプライアンス低下は脈波速度も促進させ、反射波をより早期に出現させる。性差に

においては、女性ホルモンが血圧の上昇に防御的に働いており、閉経とともに血圧が上昇し、動脈硬化度の亢進が顕著になる^{4,5)}。これらのことから動脈硬化を基盤とする疾患が増加し、虚血性心疾患、また脳血管障害においては血管性認知症やうつ病の原因にもなりうる¹⁾。

運動能力の一つである柔軟性と動脈硬化度の関連性は、高齢者においても柔軟性に優れている者に比し、優れていない者は上腕-足首脈波伝播速度 brachial-ankle Pulse Wave Velocity (baPWV) や頸動脈-大腿動脈脈波伝播速度 carotid-femoral Pulse Wave Velocity (cfPWV) が増大しているという報告⁶⁾がある。このことから柔軟性の低下は、動脈硬化度の増大と関係する可能性を示しており、柔軟性の維持・向上は抗動脈硬化に貢献することになりうる。

高齢者が一般的な有酸素運動を継続実施するには持久力や脚筋力が必要であり、レジスタンス運動を実施するにも関節への負担や負荷に対しての配慮が必要である。高齢者が実施するのに容易と考えられる運動の一つにスタティック・ストレッチングがある。実施姿勢は立位だけでなく椅座位または臥位でも可能で、怪我のリスクも少ない低強度運動である。正しい方法を習得できれば、特別な道具も必要なく、自宅においても個人で実施しやすいことが最大の利点であり、継続することによる身体機能向上に寄与することが報告⁷⁾されている。

これまでも抗動脈硬化の運動として有酸素運動⁸⁻¹¹⁾、レジスタンス運動とレクリエーションプログラムの複合的な運動効果の報告¹²⁾は散見される。我々はこれまでに中年女性を対象とし、スタティック・ストレッチングの実施により、骨格

筋と並走する血管が同等に伸張していること¹³⁾、血管内皮機能の改善^{14, 15)} および動脈ステイフネスの改善効果¹⁴⁾ を報告している。実施したスタティック・ストレッチングが動脈硬化度に影響がみられたことから、バスキュラー・ストレッチングと名付けた（以下バスキュラー・ストレッチングと表示）。これまでに高齢者を対象とし、スタティック・ストレッチングのみに特化した介入が柔軟性、血管内皮機能、動脈ステイフネスに及ぼす影響の検証は少ない。

そこで本研究は高齢者の日常生活において、取り組みやすいエビデンスのある運動処方の確立が必要であると考え、後期高齢者を対象とし、バスキュラー・ストレッチングのみに特化した継続実施が柔軟性および血管内皮機能、動脈硬化度に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2. Methods

2. 1 対象者及び介入期間

対象者は75歳以上の後期高齢者で、医師からの運動制限がなく、自力で設定会場までの移動が可能であり、他の研究に参加していないこととした。対象者のうち介入期間中にバスキュラー・ストレッチングを継続実施し、全回の測定が可能であった18名（年齢 79.8 ± 3.3 歳、男性2名・女性16名）を介入群（ $n = 9$ 名のうち男性1名・年齢 79.2 ± 2.7 歳）とコントロール併用群（ $n = 9$ 名のうち男性1名・ 80.4 ± 4.1 歳）の2群に無作為に群分けし、比較検討した。

介入期間は6ヶ月間とし、介入群は毎日15分以上のバスキュラー・ストレッチングを1日1回以上実施した。コントロール併用群は3ヶ月間を未介入とし、その後3ヶ月間は介入群と同様に毎日15分以上のバスキュラー・ストレッチングを1日1回以上実施した。両群共に介入前、介入3ヶ月後および6ヶ月後、さらに脱介入3ヶ月後と6ヶ月後に同様の測定項目を評価した。任意ではあつ

たが6ヶ月の介入期間中に、19回バスキュラー・ストレッチングの講座を開催し、正しい実施方法を確認した。更に健康に関わる情報（A4用紙1枚程度）を計10回、電子メールか郵送にて発信をした。

2. 2 測定項目

2. 2. 1 体組成

体組成は、身長、体重、BMI、体脂肪率、筋肉量を測定した。体重、体脂肪率、筋肉量はInBody 720（BIOSPACE社製）を用い測定した。

2. 2. 2 身体活動量

基本的な日常活動と酸素摂取量に対応している問診表形式の身体活動能力指標Specific activity scale（SAS）は、自記式にて記入依頼し、結果から算出した。身体活動量は、国際標準化身体活動質問票International Physical Activity Questionnaire short version, usual week 2002年8月版（IPAQ）の質問紙に自記式にて記入依頼し、結果から算出した。

2. 2. 3 柔軟性

長座体前屈は竹井機器工業株式会社製、長座体前屈計T.K.K5112で測定した。壁に後頭部と背面および臀部を付け、足関節の角度は固定しない長座姿勢をとる。上肢は肩幅の広さで両手のひらを下に向け、台の上に置き、両肘を伸ばした状態を初期姿勢とする。膝関節を伸展したままゆっくりと前屈し、初期姿勢から最大に前屈した時の距離を2回測定し、その最長距離を採用した。

2. 2. 4 血管内皮機能

血管内皮機能は、Itamar Medical社製Endo-PAT2000を用いて反応性充血指数Reactive Hyperemia Peripheral Arterial Tonometry index（RH-PAT index）を測定した。空腹時かつ安静時に仰臥位で、両手中指の指尖にPATプローブを装着し、左上腕にマンシエットを巻いた。マンシエットは駆血時、被験者の安静時の拡張期血圧

+60mmHgで加圧した。測定プロトコルは、駆血前に5分間のPATシグナルの平均振幅を測定した後、5分間の駆血を行い、駆血解放後5分間のブローブ内空気圧変化を脈波として検出し、PATシグナルの平均振幅を測定した。RH-PAT indexは、駆血側と非駆血側のPATシグナル比により算出し、データはEndo-PAT2000ソフトウェアによって自動解析した。

2. 2. 5 動脈スティフネス

動脈スティフネスの指標であるbaPWVは、オムロンコーリン社製血圧脈波検査装置BP-203RPEⅢを用いて測定した。仰臥位にて安静状態にした後、両上腕と両下腿遠位部に血圧測定用マンシェット、両手関節部に心電図クリップ、第4肋間胸骨左縁付近に心音マイクロフォンを装着した。測定時に4つのマンシェットが同時に締め付けること、測定中は動いたり会話が出来ないことを口頭で説明し、心電図信号の安定を確認してから測定した。上腕と下腿部の脈波を採取し、2点間の時間差と距離を求めることにより、速度を算出し、左右の平均値を採用した。

2. 3 バスキュラー・ストレッチング

バスキュラー・ストレッチングの部位は、立位、椅座位、座位もしくは臥位姿勢で僧帽筋、前腕屈筋群、三角筋、上腕三頭筋、上背部（僧帽筋・菱形筋）、大胸筋、広背筋、腓腹筋、ヒラメ筋、股関節外転筋群、股関節内転筋群、大腿四頭筋、ハムストリングス、大臀筋、脊柱起立筋下部で全身の骨格筋を網羅するような15部位とした。伸張時間は、各部位20秒～30秒間、伸張時は気持ち良い感覚を残しつつ、Rating of Perceived Exertion (RPE) では少しきつからきつい感覚で、ストレッチングを実施した。介入時の実施記録は、記入用紙を配布し自記式にて記入依頼した。

2. 4 統計処理

測定値はすべて平均値±標準偏差で示した。介入群とコントロール併用群の介入前については、正規性を確認した後、両側t検定にて群間差を確認した。介入群とコントロール併用群の介入前、介入3ヶ月後、介入6ヶ月後、脱介入3ヶ月後、脱介入6ヶ月後においては二元配置分散分析を用いた。

統計学的解析は統計解析ソフトSPSS 27.0 J for Windows用い、全ての検定において危険率5%未満を有意水準とした。

本研究は、帝塚山学院大学倫理委員会の承認(2020-1)を得て、帝塚山学院大学倫理規定に則り、すべての対象者に対して本研究の主旨、実施内容及び注意点について説明し、参加については書面にて同意を得て実施した。

3. Results

3. 1 対象者特性と身体活動量

表1に対象者特性として体組成、SAS、IPAQを示した。介入群およびコントロール併用群の体組成、SAS、IPAQは介入前に比し、全ての測定回において有意な差を認めなかった。

3. 2 柔軟性

表1に柔軟性の値を示した。介入群の6ヶ月間のバスキュラー・ストレッチング実施率は、介入3ヶ月間が105.5±24.0%、4ヶ月から6ヶ月までが94.0±8.1%であった。介入群の長座位前屈は、介入前に比し介入3ヶ月後、6ヶ月後に有意な高値を認めた。介入6ヶ月後に比し、脱介入3ヶ月後および6ヶ月後にも有意な低値を認めた。

コントロール併用群の3ヶ月間のバスキュラー・ストレッチング実施率は、92.0±10.9%であった。コントロール併用群の長座位前屈は、介入前に比し介入3ヶ月後に有意な高値を認めた。介入3ヶ月後に比し、脱介入3ヶ月後および6ヶ月

表 1 Changes in body composition, Specific activity scale, International physical activity questionnaire and flexibility during the study period

	介入群 (n=9)					コントロール併用群 (n=9)				
	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining
Age (years)	79.2±2.5					80.4±3.8				
Height (cm)	154.8±5.8					151.4±7.8				
Weight (kg)	53.2±8.4	53.1±8.5	53.2±8.5	53.4±8.3	52.9±8.2	50.3±6.1	50.4±6.0	50.4±5.9	50.6±6.0	50.5±6.2
Body Mass Index (kg/m ²)	22.1±2.1	22.1±2.1	22.2±2.2	22.2±2.2	22.0±2.2	21.9±1.6	22.0±1.5	22.0±1.3	22.0±1.3	21.9±1.3
Body fat percentage (%)	30.1±4.8	29.7±3.2	30.0±3.8	29.9±4.6	29.3±4.1	30.7±5.0	30.6±4.4	30.7±3.7	30.6±3.8	30.4±3.7
Lean Mass (kg)	34.7±5.7	35.2±5.8	35.4±5.6	35.0±5.6	34.8±5.8	32.8±4.3	32.7±4.1	33.3±4.3	33.0±4.3	33.0±4.2
SAS (Mets)	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9	7.1±0.9
IPAQ (kcal/day)	532.5±522.1	532.5±522.1	532.5±522.1	532.5±522.1	532.5±522.1	302.9±496.2	302.9±496.2	302.9±496.2	302.9±496.2	302.9±496.2
Trunk flexion (cm)	37.1±6.2	43.0±5.8**	47.4±6.4**	42.8±7.8**	39.3±7.4**	36.5±9.1	37.3±9.6	45.1±8.5**	38.2±9.1**	36.7±8.1**

Results are expressed as means ± SD. Asterisks show statistically significant difference (**p<0.01)

表 2 Changes in blood pressure, Reactive Hyperemia Peripheral Arterial Tonometry index, brachial-ankle Pulse Wave Velocity during the study period

	介入群 (n=9)					コントロール併用群 (n=9)				
	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining
Pulse Rate (bpm)	73.4±10.9	72.3±10.0	73.6±11.3	73.9±10.7	74.8±10.5	76.3±7.6	76.7±7.1	75.9±8.9	77.4±8.0	77.2±7.7
SBP (mmHg)	138.3±16.1	136.1±14.3	136.6±14.7	137.4±17.4	137.8±16.6	135.1±10.4	134.3±9.7	134.0±8.4	134.6±8.8	135.3±8.8
DBP (mmHg)	78.4±10.8	79.2±10.3	77.6±10.0	78.2±11.2	76.1±10.2	76.1±8.2	77.1±7.1	76.9±7.8	77.1±7.0	76.8±8.0
RH-PAT index	1.3±0.1	1.6±0.1**	1.8±0.1**	1.4±0.2**	1.3±0.2	1.3±0.1	1.3±0.1	1.7±0.1**	1.4±0.1**	1.3±0.1
baPWV (cm/sec.)	1883.1±197.8	1828.0±269.3	1775.9±190.1	1859.0±213.0	1885.1±197.5	1777.6±251.0	1779.9±250.3	1741.1±246.2	1775.9±246.3	1785.6±255.7

Results are expressed as means ± SD. Asterisks show statistically significant difference (**p<0.01) SBP: Systolic blood pressure, DBP: Diastolic blood pressure

月後にも有意な低値を認めた。

3. 3 血管内皮機能

表2にRH-PAT indexの値を示した。介入群のRH-PAT indexは、介入前に比し介入3ヶ月後および6ヶ月後に有意な高値を認めた。介入6ヶ月後に比し、脱介入3ヶ月後には有意な低値を認めた。

コントロール併用群のRH-PAT indexは、介入前に比し介入3ヶ月後に有意な高値を認めた。介入3ヶ月後に比し、脱介入3ヶ月後には有意な低値を認めた。

3. 4 血圧・動脈スティフネス

表2に脈拍、血圧、baPWVの値を示した。介入群およびコントロール併用群の脈拍と血圧は、介入前に比し、全ての測定回において有意な差を認めなかった。

介入群のbaPWVは、介入前に比し介入3ヶ月後、

6ヶ月後に有意な低値を認めた。介入6ヶ月後に比し、脱介入3ヶ月後および6ヶ月後にも有意な高値を認めた。

コントロール併用群のbaPWVは、介入前に比し介入3ヶ月後に有意な低値を認めた。介入6ヶ月後に比し、脱介入3ヶ月後および6ヶ月後にも有意な高値を認めた。

4. Discussion

4. 1 柔軟性の向上

ストレッチングによる関節可動域の変化には、大きく分けて2要因が関与すると考えられている。要因のひとつは、筋腱複合体のスティフネスや筋長をはじめとする、物理的な変化である。筋腱複合体の物質的な硬さや組織の伸張性の変化が、関節可動域の値に影響を与えることは、多くの先行研究で報告¹⁶⁾されている。もうひとつの要因は感覚の変化であり、多くの場合は関節可動域の最終域は被験者の主観によって決定される。そのた

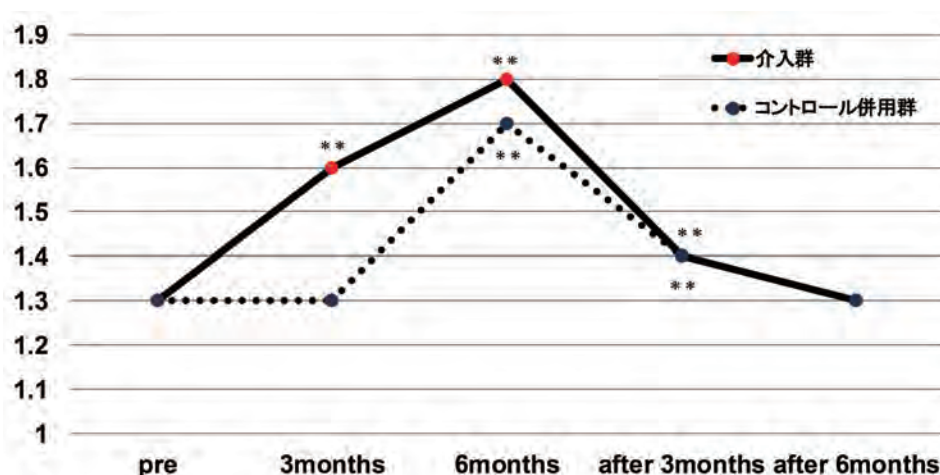


図1 Change in the Reactive Hyperemia Peripheral Arterial Tonometry index of the intervention group and the control combination group.

**p<0.01, significant difference between the full and half groups.

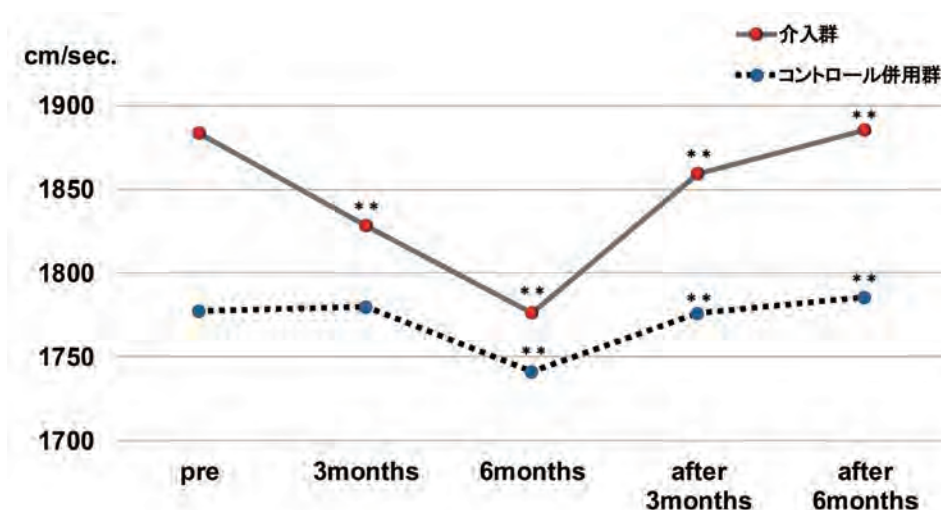


図2 Change in brachial-ankle Pulse Wave Velocity of the intervention group and the control combination group.

**p<0.01, significant difference in the full group

め、被験者の痛み感覚や許容できる最大限の伸張感の変化が、関節可動域に影響を与えることが考えられ、stretch toleranceの変化と表現される。ストレッチ後の関節可動域の変化は筋腱複合体の物理的な変化が伴わなくとも生じる場合があることから、stretch toleranceの変化が主たる要因とする報告^{17,18)}もある。

健常高齢者を対象とし、股関節伸展可動域および足関節背屈可動域の改善を目的としたストレッチ

チングを8週間および10週間実施した結果、可動域が向上した報告^{19,20)}がある。高齢女性(平均年齢71.8歳)20名を対象とした週に3回10週間の柔軟性トレーニングの報告では、脊柱屈曲可動域が有意に改善した²¹⁾。

バスキュラー・ストレッチング実施率は、両群共に1週間当たり5回以上に相当する。1部位に対しての伸張時間は20～30秒とし、1回あたりの実施時間も推奨されている時間²²⁾以上であった。

スタティク・ストレッチングは健康日本21(第二次)の推進に資する。身体活動の具体的数値目標を示した健康づくりのための身体活動基準2013²³⁾では、65歳以上に対し強度を問わず1日40分程度の身体活動を推進しており、スタティク・ストレッチングは3メッツ未満の身体活動の1つとして、毎日の実施が推奨されている。怪我のリスクが少なく、高齢者が自宅においても安全に取り組むことができる運動である。定期的なスタティク・ストレッチング実施は、高齢者の歩行能力低下²⁴⁾や転倒リスク²⁵⁾との関連し、柔軟性への効果²⁶⁾も多く報告されている。

関節可動域の向上のためには、筋の伸張時に関節可動域の最終域あたりに生じる最終域感を1つの目安として強度を決定する必要がある、適切な方法での実施が重要であると報告²⁷⁾されている。また実施頻度は週3日以上、伸張時間は1種目30秒を1セット以上実施することが有効であるとも報告^{28,29)}されている。

伸張強度に関しては、痛みを伴う強度のストレッチング方法が関節可動域改善には有効であり、60%の伸張に比し85～100%の伸張時に優位に大きな柔軟性が得られたという報告³⁰⁾もあるが、ストレッチング時の伸張強度は主観的な感覚である為、数値化するのには困難で、組織が耐えられる限界を越すような強度での実施は、怪我が生じる可能性も考えられる。1週間で約5回以上の実施頻度、1部位に対して20～30秒という伸張時間、少し痛いから痛い、もしくはすこしきつからきついという感覚での伸張強度、3ヶ月以上の実施期間が、柔軟性の改善に貢献したと示唆された。

本研究では、日記や日誌および自身の客観的な記録をし、行動の実施状況を自ら把握する行動療法の一つとして活用されているセルフモニタリング技法を実施した。これまでも高齢者を対象とした運動習慣を定着させる取り組みとして、活動

量計と記録用ノートを用いたセルフモニタリング技法を取り入れた健康教育プログラムにより、歩数が増加した報告^{31,32)}、看護師らによる指導と歩数計や日誌などのセルフモニタリングを取り入れたウォーキングプログラムにより、歩数が増加した報告³³⁾がある。これらのことから高齢者の運動習慣を定着させるためには、セルフモニタリング技法を活用した介入が有効であったと考えられる。

介入期間中の記録シートの配布、バスキュラー・ストレッチングの実施方法について写真や説明文を記載したハンドブックとバスキュラー・ストレッチング動画を収録したDVDの配布、電子メールもしくは郵送にて健康関連の情報を10回発信したこと、また任意ではあったがバスキュラー・ストレッチングの講習会を19回開催したことが、対象者の正しい実施方法の習得、実施の定着、実施頻度の増加に結び付いた可能性がある。

4. 2 血管内皮機能の改善

加齢や肥満によって、動脈血管の構造および機能は変化し、内皮細胞の機能障害へと繋がるということが報告³⁴⁾されている。酸化ストレスの蓄積が血管内皮機能の低下^{35,36)}、動脈血管の弾性機能に関与するエラスチンの減少^{37,38)}、血管内腔の拡大³⁹⁾、動脈血管の線維化したコラーゲン量の増大^{38,39)}、石灰化などによる血管壁の肥厚⁴⁰⁾、そして動脈血管内腔に粥腫形成を促進⁴¹⁾させる。さらには、血圧を上昇させ、血圧と動脈硬化の悪循環も生じることも報告⁴²⁾されている。

RH-PAT indexの自動解析では、臨床試験に基づきRHI < 1.67を血管内皮障害存在のカットオフ値⁴³⁾としている。両群の介入前のRH-PAT indexは、1.67以下⁴⁴⁾を示していた。両群共に介入期間後には有意な改善を認め、基準値の1.68以上の値を示した。血管は壁周張力による変化によって血管平滑筋に伸張刺激が加わり、血管内腔

に面している内皮細胞には血流の増加によるシェアストレスが加わる。ストレッチングの実施により長軸上に筋繊維が伸張し、筋形状変化に伴い、筋と並走している血管も伸張される。その為、血管形状の物理的变化として血管径が減少し、一時的な血流制限が起こる⁴⁵⁾。ストレッチング実施後に筋血流量が増加するのは、一時的な血液遮断の解放後の血流増加であり、反応性充血が生じたと考えられる。血流が作り出す血管内皮に作用する刺激は、シェアストレスと伸展張力、そして血圧により生じる圧縮である⁴⁶⁾。筋束長の伸張が大きいほど筋血流量は減少し、開放による血流増加により血管内皮細胞にシェアストレスがかかり^{47, 48)}、血管内皮細胞からNOやEndothelium-Derived Hyperpolarizing Factor (EDHF)などの血管拡張因子が放出される。Near Infra-Red Spectroscopy (NIRS)法を用いた先行研究においても、ストレッチング後に安静レベルよりも筋組織酸素飽和度Muscle Oxygen Saturation (SmO₂)が増加、筋酸素化ヘモグロビンMuscle Oxygen-Hemoglobin (MO₂-Hb)が増加し、SmO₂とMO₂-Hbは、筋組織への酸素供給と消費のバランスに依存して変動する。このことから、ストレッチングの実施により伸張部位の筋血流量が増加して、筋組織への酸素供給が消費酸素を上回り、SmO₂が増加したことを示唆⁴⁹⁾している。

NOとEDHFの作用の寄与度の違いは動脈血管の内腔の太さに依存していると考えられており、動脈血管の内腔が細い微小血管(抵抗血管)ではNOよりもEDHFの寄与が大きいが、大動脈のような内腔の太い動脈血管(導管血管)ではEDHFよりもNOの寄与が大きく、血管弛緩反応を惹起していることが明らかにされている⁵⁰⁾。

全身の骨格筋を網羅するような15部位を伸張させたことにより、伸張部位へのメカニカルストレスがストレッチング後の筋血流量の充進に寄与し、シェアストレスとの相乗効果も内皮細胞に対

して影響をもたらしたと推察される。

4. 3 動脈スティフネス

脈波伝播速度は脈波が血管壁を伝播する速度で、動脈スティフネスの標準的な臨床指標として認められている⁵¹⁾。動脈硬化度も加齢に伴い、男女ともに増大する一方、60歳以下の各年代の男性と比較して各年代の女性の動脈硬化度は低値を示すことが報告⁵²⁾されている。女性ホルモンであるエストロゲンは、動脈硬化度を低下させる作用を有する⁵³⁾が、女性の閉経により急速な分泌低下が生じると報告⁵⁴⁾されているため、60歳以降では動脈硬化度に性差が認められなくなる機序に閉経が関与すると考えられている。血圧が正常な閉経後の50～70歳代の女性における脈波伝播速度と頸動脈内径は、高齢になるに従い優位に高値を示したが、頸動脈のコンプライアンスには年代間の有意差は認められなかったという報告⁵⁵⁾がある。これらのことから今回の検討では、性差を分けずに検討した。

動脈の伸張・伸展性やスティフネスは、動脈の弾性機能に影響を及ぼす様々な因子と関連があり、特に血管内皮由来弛緩因子としてNO⁵⁶⁾や血管内皮由来収縮因子であるEndothelin-1 (ET-1)⁵⁷⁾が、血管内皮細胞の収縮・弛緩両面に寄与している。平滑筋弛緩作用を持つNOの血管内皮細胞での産生能は加齢に伴って低下する⁵⁸⁾。一方、血管収縮因子であるAngiotensin IIは血管内皮での発現は増加し、ET-1の血中濃度は増加する⁵⁹⁾。これらの機能的因子における加齢変化は、個々にあるいは相互に影響しながら働いて、動脈壁の伸張・伸展性に影響を及ぼす。

身体活動と動脈スティフネスとの関連では、高齢者においては3METs未満の低強度の身体活動量もcfPWVとの間に負の関係^{60, 61)}がみられる。中高齢者の男女が週に3日、1回につき30～45分の全身にわたるストレッチングを13週間実施

した結果、頸動脈コンプライアンスが有意に増加⁶²⁾したことが、一過性のスタティック・ストレッチング直後のbaPWVが改善したことを報告⁶³⁾している。

片脚の下腿三頭筋に対して1回30秒のストレッチングを休息10秒を挟み6セット実施した結果、実施脚の大腿動脈-足首間脈波伝搬速度femoral-ankle Pulse Wave Velocity (faPWV)は、運動前に比し運動直後および1分後に低下した報告⁶⁴⁾もある。このことから一過性のストレッチングによる動脈硬化度の低下効果は、運動後にストレッチングを実施した部位でのみ生じる可能性が示唆される。

介入前のbaPWVの値は介入群1883.1cm/s、コントロール併用群1777.6cm/sであった。介入群の値は、同年齢の基準値の上限値を上回っていた。中年女性では3ヶ月間の介入ではbaPWVは有意な改善を認めず、介入群の6ヶ月間の介入後に有意な低値が認められた¹⁴⁾。血管内皮機能が向上し、それに伴い同時期に血管性状が変化し、動脈ステイフネスの改善⁶⁵⁾に寄与するものと考えられる。全身に対する習慣的にストレッチング実施が動脈硬化度を低下させる機序の一つ⁶⁶⁾として考えられ、抹消の動脈に対して局所的な機械刺激メカニカルストレスが加わって生じた可能性⁶⁷⁾がある。今回は、両群共に介入3ヶ月後に有意な低値を認めたことから、今回の対象者は頻度が高い反復運動による効果⁶⁸⁾として改善した可能性がある。

高齢期になってから運動を開始しても動脈硬化予防に効果的なことが報告^{69,70)}されており、柔軟性を高めるストレッチングにおいて、動脈硬化度の増加を減弱させる効果が認められたことから、高齢者や低体力者に対する運動導入時には、ストレッチングを取り入れることは有効であるかもしれない。その際は、全身性ストレッチングを1日30～45分、週に3日以上、4週間以上

の継続実施⁶²⁾が望ましい。

4. 5 限界と課題

高齢者を対象としたバスキュラー・ストレッチングを継続実施することによる抗動脈硬化作用を示唆した知見は、臨床的意義が高いと考えられる。しかしながら本研究の結果には、課題が存在する。今後の課題として、サンプルサイズを増やすこと、そしてバスキュラー・ストレッチングの介入成果については1ヶ月程度の短期間ごとの検討が必要である。

5. Conclusion

後期高齢者を対象とし、バスキュラー・ストレッチングの継続実施による、柔軟性、血管内皮機能および動脈ステイフネスに及ぼす影響を検討した。その結果、介入3ヶ月後は柔軟性の改善、血管内皮機能および動脈ステイフネスにおいて有意な改善を認め、介入6ヶ月後ではさらに柔軟性の改善、血管内皮機能および動脈ステイフネスにおいて有意な改善を認めた。しかしながら、6ヶ月間の脱介入後では、柔軟性、血管内皮機能および動脈ステイフネスは介入前の状態に戻り、獲得した効果の可逆性を認めた。バスキュラー・ストレッチングの継続実施は柔軟性を改善し、抗動脈硬化の運動種目の一つとして貢献する可能性が示唆された。

Declaration of Conflicting Interests

著者は本論文の研究内容について他者との利害関係を有しない。

Acknowledgements

本研究を行うにあたり、研究趣旨をご理解いただき、快く協力してくださった全参加者の皆様、測定機器のご提供いただきました関西医科大学健康科学センター、ご教示いただきました木村稜先

生に深謝いたします。

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の助成を受けたものです。本研究の成果は著者自らの見解等に基づくものであり、所属研究機関、資金配分機関及び国の見解等を反映するものではありません。

文 献

- 1) 新井智之. 高齢者のリスクとその対応, 理学療法, 臨床・研究・教育. 24(1) 12-17(2017)
- 2) Shumpei Fujie S., Iemitsu M., Anti-aging effects for arteriosclerosis by exercise and nutrition., *Glycative Stress Research*, 6(4) : 219-226(2019)
- 3) 松岡博昭. 循環器疾患の加齢による変化. *Dokkyo Journal of Medical Sciences*, 5(3) : 197-201(2008)
- 4) Sumino H., Ichikawa S., Kasama S., Takahashi T., Kumakura H., Takayama Y., Kanda T., Sakamaki T., Kurabayashi M., Elevated arterial stiffness in postmenopausal women with osteoporosis., *Maturitas*, 55:212-218(2006)
- 5) Zaydun G., Tomiyama H., Hashimoto H., Arai T., Koji Y., Yamabe M., Motobe K., Hori S., Yamashina A., Menopause is an independent factor augmenting the age-related increase in arterial stiffness in the early postmenopausal phase., *Atherosclerosis*, 184:137-42(2006)
- 6) Yamamoto K., Kawano H., Gando Y., et al., Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening., *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 297:1314-1318(2009)
- 7) 山口太一, 石井好二郎. ストレッチングは健康の保持増進に寄与する., *Creative Stretching*, 23:1-8(2012)
- 8) 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)
- 9) Fujie S., Hasegawa N., Sato K., et al., Aerobic exercise training-induced changes in serum adiponectin level are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults., *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 309:1642-1647(2015)
- 10) Hasegawa N., Fujie S., Kurihara T., et al., Effects of habitual aerobic exercise on the relationship between intramyocellular or extramyocellular lipid content and arterial stiffness., *J. Hum. Hyper.*, 30:606-612(2016)
- 11) Hasegawa N., Fujie S., Horii N., et al., Aerobic exercise training-induced changes in serum C1q/TNF-related protein levels are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults., *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 314:94-101(2018)
- 12) Miura H., Nakagawa E., Takahashi Y., et al., Influence of group training frequency on arterial stiffness in elderly women., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 104:1039-1044(2008)
- 13) Shinno H., Kurose S., Yamanaka Y., et al., Evaluation of Extension of Blood Vessels during Static Stretching Using Ultrasound 2D Speckle Tracking Imaging., *Global Journal of Health Science*, 9(8) : 1-9(2017)
- 14) Shinno H., Kurose S., Yamanaka Y., et al., Evaluation of a static stretching intervention on vascular endothelial function and arterial stiffness., *Eur. J. Sport Sci.*, 17:586-592(2017)
- 15) 新野弘美, 山中裕, 黒瀬聖司 他. スタティックストレッチング介入による動脈ステイフネス及び血管内皮機能への効果の検討. 日本臨床運動療法学会. 19(2) : 27-31(2018)
- 16) Weppeler C.H., Magnusson S.P., Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation?, *Phys Ther.*, 90:438-449(2010)
- 17) Ben M., Harvey L.A.: Regular stretch does not increase muscle extensibility: a randomized controlled trial., *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 20:136-144(2010)
- 18) Mizuno T., Matsumoto M., et al.: Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching., *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 23:23-30(2013)
- 19) Christiansen C.: The effects of hip and ankle stretching on gait function of older people., *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 89:1421-1428(2008)
- 20) Kerrigan D., Xenopoulos-Oddsson A., Sullivan M., et al.: Effect of a Hip Flexor-Stretching Program on Gait in the Elderly., *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 84(1) : 1-6(2003)
- 21) Rider R., A., and J. Daly., Effects of flexibility training on enhancing spinal mobility in older

- women., *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 31:213-217 (1991)
- 22) Bandy W.D., Irion J.M., The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscle., *Physical therapy.*, 4(9) : 845-850(1994)
- 23) 厚生労働省: 健康づくりのための身体活動基準 2013. <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xp1e-att/2r9852000002xpqt.pdf>(閲覧日 2024年5月6日)
- 24) 田井中幸司, 青木純一郎. 高齢女性の歩行速度の低下と体力. *体力科学*. 51:245-252(2002)
- 25) 田井中幸司, 青木純一郎. 在宅高齢女性の転倒経験と体力. *体力科学*. 56:279-286(2007)
- 26) Stathokostas L., Little R., Vandervoort A., et al.: Flexibility Training and Functional Ability in Older Adults: A Systematic Review., *Aging Research*, Article ID 306818(2012)
- 27) 鈴木重行, ストレッチングの科学. 三輪書店. 2-15(2013)
- 28) Marques A., Vasconcelos A., Cabral C., et al., Effect of frequency of static stretching on flexibility, hamstring tightness and electromyographic activity., *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 42(10) : 949-953(2009)
- 29) Walter J., Figoni S.F., Andres F.F., et al., Training intensity and duration in flexibility., *Clinical Kinesiology*, 50(2) : 40-45(1996)
- 30) Kataura S., Suzuki S., Matsuo S., Hatano G., et al., Acute Effects of the Different Intensity of Static Stretching on Flexibility and Isometric Muscle Force., *J. Strength. Cond. Res.*, 31(12) : 3403-3410 (2017)
- 31) C・エイブラハム, M・クルーズ. 行動変容を促すヘルスコミュニケーションー根拠に基づく健康情報の伝え方ー. 北大路書房. 103-120(2018)
- 32) Uemura K., Yamada M., Okamoto H.: Effects of active learning on health literacy and behavior in older adults: a randomized controlled trial., *J. Am. Geriatr. Soc.*, 66(9) : 1721-1729(2018)
- 33) Mutrie N., Doolin O., Fitzsimons C., et al.: Increasing olderadults' walking through primary care: results of a pilot randomized controlled trial., *Family Practice*, 29: 633-642(2012)
- 34) Palombo C., Kozakova M., Arterial stiffness, atherosclerosis and cardiovascular risk: Pathophysiologic mechanisms and emerging clinical indications., *Vascul. Pharmacol.*, 77:1-7(2016)
- 35) van der Loo B., Labugger R., Skepper J.N., Bachschmid M., Kilo J., Powell J.M., Palacios-Callender M., Erusalimsky J.D., Quaschnig T., Malinski T., Gygi D., Ullrich V., Lüscher T.F., Enhanced peroxynitrite formation is associated with vascular aging., *J. Exp. Med.*, 192(12) : 1731-1744 (2000)
- 36) Ungvari Z., Bailey-Downs L., Sosnowska D., Gautam T., Koncz P., Losonczy G., Ballabh P., de Cabo R., Sonntag W.E., Csiszar A., Vascular oxidative stress in aging: a homeostatic failure due to dysregulation of NRF2-mediated antioxidant response., *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 301(2) : H363-H372(2011)
- 37) Sandberg L.B., Soskel N.T., Leslie J.G., Elastin structure, biosynthesis, and relation to disease states., *N. Engl. J. Med.*, 304(10) : 566-579(1981)
- 38) Gu Q., Wang B., Zhang X.F., Ma Y.P., Liu J.D., Wang X.Z., Chronic aerobic exercise training attenuates aortic stiffening and endothelial dysfunction through preserving aortic mitochondrial function in aged rats., *Exp. Gerontol.*, 56:37-44 (2014)
- 39) Looker T., Berry C.L., The growth and development of the rat aorta. II. Changes in nucleic acid and scleroprotein content., *J. Anat.*, 113(Pt1) : 17-34 (1972)
- 40) Lakatta E.G., Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part III: cellular and molecular clues to heart and arterial aging., *Circulation*, 107(3) : 490-497(2003)
- 41) Liviakis L., Pogue B., Paramsothy P., Bourne A., Gill E.A., Carotid intima-media thickness for the practicing lipidologist., *J. Clin. Lipidol.*, 4(1) : 24-35 (2010)
- 42) Laurent S., Boutouyrie P., The structural factor of hypertension: large and small artery alterations., *Circ. Res.*, 116(6) : 1007-1021(2015)
- 43) Bonetti P.O., Pumper G.M., Higano S.T., et al., Noninvasive identification of patients with early coronary atherosclerosis by assessment of digital reactive hyperemia., *J. Am. Coll. Cardiol.*, 4:2137-2141(2004)
- 44) Maiorana A., et al.:Exercise and the nitric oxide vasodilator system., *Sports Med.*, 33:1013-1035 (2003)
- 45) Cui J., Blaha C., Moradkhan R., et al., Muscle sympathetic nerve activity responses to dynamic

- passive muscle stretch in humans., *J. Physiol.*, 576:625-634 (2006)
- 46) Takeda H., Komori K., Nishikimi N., et al., Bi-pasic activation of eNOS in response to uni-axial cyclic stretch is mediated by differential mechanisms in BAECs., *Life Sci.*, 79(3) : 233-239 (2006)
 - 47) Ando J., Kamiya A., Blood flow and vascular endothelial cell function., *Med. Biol. Eng.*, 5:245-264 (1993)
 - 48) Yamamoto K., Takahashi T., Asahara T., et al., Proliferation differentiation and tube formation by endothelial progenitor cells in response to fluid shear stress., *J. Appl. Physiol.*, 2081-2088 (2003)
 - 49) McCully K.K., Hamaoka T., Near-infrared spectroscopy what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle?., *Exercise Sport Science Rev.*, 28(3) : 123-127 (2000)
 - 50) Luksha L., Agewall S., Kublickiene K., Endothelium-derived hyperpolarizing factor in vascular physiology and cardiovascular disease., *Atherosclerosis*, 202(2) : 330-344 (2009)
 - 51) 大石 充, 萩原俊男, PWVの定義と測定. 血圧. 14:13-6(2007)
 - 52) Tomiyama H., Yamashina A., Arai T., Hirose K., Koji Y., Chikamori T., Hori S., Yamamoto Y., Doba N., Hinohara S., Influences of age and gender on results of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement--a survey of 12517 subjects., *Atherosclerosis*, 166(2) : 303-309 (2003)
 - 53) Skafar D.F., Xu R., Morales J., Ram J., Sowers J.R., Clinical review 91: Female sex hormones and cardiovascular disease in women., *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 82(12) : 3913-8 (1997)
 - 54) Moreau K.L., Hildreth K.L., Vascular Aging across the Menopause Transition in Healthy Women., *Adv. Vasc. Med.*, 204390 (2014)
 - 55) Jun Sugawara 1, Takeshi Otsuki, Seiji Maeda, Takumi Tanabe, Shinya Kuno, Ryuichi Ajisaka, Mitsuo Matsuda, Effect of arterial lumen enlargement on carotid arterial compliance in normotensive postmenopausal women., *Hypertens. Res.*, 28(4) : 323-9 (2005)
 - 56) Palmer R.M., Ferrige A., Moncada S.: Nitric oxide release accounts for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor., *Nature*, 327:524-526 (1987)
 - 57) Yanagisawa M., Kurihara H., Kimura S., Tomobe Y., Kobayashi M., et al.: A novel potent vasoconstrictor peptide produced by vascular endothelial cells., *Nature*, 332: 411-415 (1988)
 - 58) Luscher T.F., Tanner F.C., Endothelial regulation of vascular tone and growth., *Am. J. Hypertens.*, 6:283S-293S (1993)
 - 59) Wang M., Takagi G., Asai K., Resuello R.G., Natividad F.F., Vatner D.E., Vatner S.F., Lakatta E.G., Aging increases aortic MMP-2 activity and angiotensin II in nonhuman primates., *Hypertension*, 41(6) : 1308-1316 (2003)
 - 60) Gando Y., et al., Longer time spent in light physical activity is associated with reduced arterial stiffness in older adults., *Hypertension*, 56:540-6 (2010)
 - 61) Parsons T.J., et al., Objectively measured physical activity, sedentary time and subclinical vascular disease: Cross-sectional study in older British men., *Prev. Med.*, 89:194-199 (2016)
 - 62) Cortez-Cooper M.Y., Anton M.M., Devan A.E., et al., The effects of strength training on central arterial compliance in middle-aged and older adults., *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil.*, 15:149-155 (2008)
 - 63) Hotta K., Kamiyama K., Shimizu R., et al., Stretching exercises enhance vascular endothelial function and improve peripheral circulation in patients with acute myocardial infarction., *Int. Heart J.*, 54(2) : 59-63 (2013)
 - 64) Yamato Y., Hasegawa N., Fujie S., et al., Acute effect of stretching one leg on regional arterial stiffness in young men., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 117:1227-1232 (2017)
 - 65) Wallance S.M., Yasmin, McEniery C.M., et al., Isolated systolic hypertension is characterized by increased aortic stiffness and endothelial dysfunction., *Hypertension*, 50(1) : 228-233 (2007)
 - 66) Kevin S. Heffernan 1, David G. Edwards, Lindy Rossow, Sae Young Jae, Bo Fernhall External mechanical compression reduces regional arterial stiffness., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 101(6) : 735-41 (2007)
 - 67) Tyler Thacher 1, Veronica Gambillara, Rafaela F da Silva, Paolo Silacci, Nikos Stergiopoulos. Reduced cyclic stretch, endothelial dysfunction, and oxidative stress: an ex vivo model Cardiovasc Pathol., 19(4) : 91-98 (2010)
 - 68) 川崎新太郎, 萩原礼紀, 久保達郎. 後期高齢者における継続的反復運動が身体機能に及ぼす影響.

埼玉理学療法. 11:38-44(2004)

- 69) Gregg E.W., Cauley J.A., Stone K.: Relationship of changes in physical activity and mortality among older women., *JAMA.*, **289**(18) : 2379-2386(2003)

- 70) Stessman J., Hammerman-Rozenberg R., Cohen A., et al.: Physical Activity, unction, and Longevity Among the Very Old., *Arch. Intern. Med.*, **169**(16) : 1476-1483(2009)