

原著論文

後期高齢者を対象としたスタティック・ストレッチングの介入による 認知機能および抗動脈硬化への影響

Effects of static stretching on cognitive function and anti-atherosclerosis in
latter-stage elderly people

新野 弘美¹⁾
Hiromi Shinno¹⁾

Abstract

We investigated the effects of continuous static stretching on cognitive function, flexibility, anti-atherosclerosis in latter-stage elderly people. The cognitive function, flexibility, vascular endothelial function and arterial stiffness significantly improved after three and six months of intervention. However, after a 6-month period of no intervention, cognitive function, flexibility, vascular endothelial function, and arterial stiffness returned to pre-intervention levels, demonstrating the reversibility of the effects achieved. These results suggest that static stretching may contribute as an anti-atherosclerotic exercise in latter-stage elderly people, as it improves cognitive function, flexibility, vascular endothelial function and arterial stiffness.

Key words : static stretching, cognitive function, flexibility, vascular endothelial function, arterial stiffness

キーワード：後期高齢者，スタティック・ストレッチング，認知機能，柔軟性，抗動脈硬化
latter-stage elderly people, static stretching, cognitive function, flexibility,
anti-atherosclerosis

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（新井、2017）。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（Fujie et al., 2017；松岡，2008）。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

1) 京都先端科学大学 健康医療学部 健康スポーツ学科

Kyoto University of Advanced Science Faculty of Health
and Medical Sciences

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 (Sumino et al., 2006; Zaydun et al., 2006)。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 (新井, 2017)。

先行研究では、無症候性脳血管障害と Mini Mental State Examination (MMSE) スコアの低値とに関連があるという報告 (Eman et al., 2007) がされており、動脈硬化度と認知機能障害に影響している可能性を示唆している。高齢者が運動を継続的に実施することは、認知症を含む認知および精神機能における退行抑制に対しても有効な手段であり、ストレッチングに比し有酸素運動は海馬の肥大、記憶試験のスコアの改善、血中脳由来神経栄養因子 Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) 濃度の増加といった可逆的に修飾を受けるという報告 (Erickson et al., 2011) がある。しかしながら、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、レジスタンストレーニング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実施可能であり、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 (山口ほか, 2012) されている。

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 (Yamamoto et al., 2009) 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。

これまでも抗動脈硬化の運動として有酸素運動 (Ashor et al., 2014; Fujie et al., 2015; Hasegawa et al., 2016; Hasegawa et al., 2018)、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 (Miura et al., 2008) は散見される。我々は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 (Shinno et al., 2017)、血管内皮機能の改善 (Shinno et al., 2017; 新野ほか, 2018) および動脈スティッフネスの改善効果 (Shinno et al., 2017) を報告している。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認知機能および柔軟性、抗動脈硬化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、スタティック・ストレッチングのみに特化した継続実施が認知機能および柔軟性、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

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。介入群とコントロール併用群の2群に無作為に群分けした。介入期間中にスタティック・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) とし、比較検討した。

介入群は、毎日15分以上のスタティック・ストレッチングを1日1回以上6ヶ月間実施した。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分間以上のスタティック・ストレッチングを1日1回以上実施した。介入群と比較し介入6ヶ月間と介入3ヶ月間の介入期間の影響の差を検討した。また、両群とも介入後未介入期間3ヶ月後と6ヶ月後に同様の測定項目を評価し、介入の残存効果を検討した (Figure1)。

2) スタティック・ストレッチングの内容

伸張部位は立位、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。

スタティック・ストレッチングの導入は、介入群およびコントロール併用群それぞれの介入前に15部位の実施方法を記載している紙媒体と立位・椅座位・座位と臥位別の実施動画を配布した。そして介入期間直前に集団にて、立位・椅座位・座位と臥位の姿勢での15部位のスタティック・ストレッチングを習得した。任意の参加ではあったが、介入群の介入期間である6ヶ月間に概ね2週間以内に1回以上、計19回のストレッチング講座を開講した。コントロール併用群も介入期間の3ヶ月間に開講されていた講座に参加した。講座は60分間で、立位のストレッチングを中心とし、不明確な方法や姿勢の取りにくい動きに対しての情報提供を

しながら、15部位を実施した。コントロール期間時および介入期間時には、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、実施記録は記入用紙を配布し、自記式にて記入依頼した。

実施率は、スタティック・ストレッチングの実施回数を介入期間日数で除して算出し、数値を%で表した。そして、そのパーセンテージから1週間7日当たりの頻度として、5回以上では71.4%以上に相当するとした。

3) 測定項目

① 体組成

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BIOSPACE社製InBody 720を用い測定した。

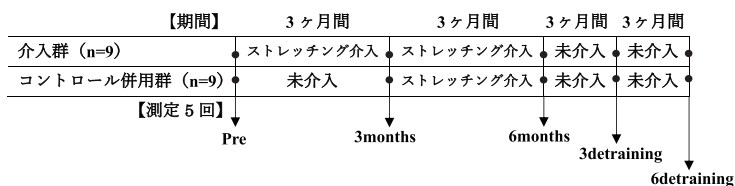
② 身体活動量

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。

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

Figure 1. Protocol of the research



を採用した。

④ 認知機能

NPO 認知予防サポートセンターの一般高齢者集団認知機能検査ファイブ・コグ(矢富, 2010)を実施した。ファイブ・コグ検査は、国際老年精神医学会が提唱する認知機能低下 Aging-associated Cognitive Decline (AACD) (Levy, 1994) をスクリーニングすることを目的として、日本人用に作成された評価指標の一つであり、5つの認知要素から構成されている。手先の運動スピードを測る運動課題、エピソード記憶を測る手がかり再生課題、注意分割機能を測る文字位置照合課題、視空間認知機能を測る時計描画課題、言語検索機能を測る動物名想記課題、抽象的思考能力を測る共通単語課題の6項目について制限時間内に検査用紙に記入する。監視下のもと、所要時間は約45分間でパソコンに接続したプロジェクター画像の説明および音声の指示に従い進行了た。

⑤ 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、両手中指の指先に PAT プローブを装着し、左上腕にマンシェットを巻いた。マンシェットは駆血時、被験者の安静時の拡張期血圧 +60mmHg で加圧した。測定プロトコールは、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分間のプ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。

⑥ 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-203RPE III 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。

測定室は室温26度で管理されており、参加者は1名づつ測定者が対応した。参加者の全測定回の測定開始時間は概ね同時刻とし、水以外の食事は来室4時間前に済ませた。血管内皮機能 (RH-PAT index) と上腕-足首脈波伝播速度 (baPWV) の測定が終了するまでは、脈拍や血圧に影響しないよう最小限の会話、スマートフォンの使用を禁止した。椅座位にて15分以上の安静をとり、RH-PAT index ⇒ baPWV ⇒ 長座体前屈 ⇒ 体組成 (Inbody) の順で測定した。

4) 統計処理

統計処理は、介入前の介入群とコントロール併用群の群間の比較はマンホイットニー U 検定を用いた。介入群とコントロール併用群の比較では、各測定値の時系列変化を分析し、群間差の有意差を Fisher の最小有意差法で検証した。測定値は平均値 ± 標準偏差で示し、測定値は正規性を確認した。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

1) 介入前の介入群とコントロール期間前のコントロール併用群の群間差の確認

Table1-1) 2) に対象者特性として体組成、SAS、IPAQ を示した。Table1-1) の BMI、体脂肪率、

除脂肪体重, SAS, IPAQ は, 有意な群間差を認めなかった. Table1-2) の介入期間, 介入終了後未介入期間においては両群の各測定値に有意な差を認めなかった.

Table2 にファイブ・コグテストの群間差を示した. 再生課題 (p 値 = 0.028), 時計描画課題 (p 値 = 0.036) は, 有意な群間差を認め, 運動課題, 照合課題, 想起課題, 共通単語課題は, 有意な群間差を認めなかった.

Table3 に柔軟性を示した. 柔軟性は有意な群間差を認めなかった.

Table3 に心拍数, 血圧, RH-PAT index, baPWV の群間差を示した. 心拍数, 収縮期血圧, 拡張期血圧, RH-PAT index, baPWV は, 有意な群間差を認めなかった.

2) 介入群とコントロール併用群の介入有無の効果検討 (介入前と介入3ヶ月後およびコントロール期間前とコントロール期間後比較および群間差の比較)

a) 柔軟性

Table3 に柔軟性の値を示した. 二元配置分散分析にて, 各測定値の時系列変化を分析し, 介入群, コントロール併用群と各測定値の時系列の水準間で有意な交互作用を認めなかったため, 時間経過の水準介入群とコントロール併用群における介入前に対する群間差を確認した.

介入群は, 有意な改善を認めた (p 値 = 0.0001). コントロール併用群は, 有意な改善を認めなかった. 介入群のスタティック・ストレッチング実施率は, 介入3ヶ月間において $105.5 \pm 24.0\%$ であった. コントロール併用群は, 有意な改善を認めなかった.

b) 認知機能

Table2 にファイブ・コグテストの値を示した. 二元配置分散分析にて, 各測定値の時系列変化を分析し, 介入群, コントロール併用群と6項目の測定値の時系列の水準間で有意な交互作用を認めなかったため, 介入群とコントロール併用群における介入前に対する群間差を確認した. 介入群は, 運動課題 (p 値 = 0.0266), 再生課題 (p 値 = 0.0001) に有意な改善を認めた.

コントロール併用群は運動課題 (p 値 = 0.0039), 再生課題 (p 値 = 0.0059), 照合課題 (p 値 = 0.0001), 想起課題 (p 値 = 0.0001), 共通単語課題 (p 値 = 0.0434) に有意な改善を認めた.

c) 血管内皮機能・動脈スティフネス

Table3 に心拍数, 血圧, RH-PAT index と baPWV の値を示した. 二元配置分散分析にて, 各測定値の時系列変化を分析し, 介入群・コントロール併用群と心拍数, 収縮期血圧, 拡張期血圧, RH-PAT index, baPWV の時系列の水準間で有意な交互作用を認めなかったため, 介入群とコントロール併用群における介入前に対する群間差を確認した.

介入群の RH-PAT index (p 値 = 0.0001) と baPWV (p 値 = 0.0001) は, 有意な高値を認めた. コントロール併用群は, 有意な改善を認めなかった.

3) 介入群の介入6ヶ月間とコントロール併用群の介入3ヶ月間の介入期間の効果差の検討 (6ヶ月間比較および群間差比較)

a) 柔軟性

Table3 に柔軟性の値を示した. 両群間に交互作用を認めなかった. 介入群は有意な改善を認めた (p 値 = 0.0001). 介入群のスタティック・ストレッチング実施率は, $105.5 \pm 24.0\%$ であった. コントロール併用群も有意な改善を認めた (p 値 = 0.0001). スタティック・ストレッチング実施率は, $92.0 \pm 7.6\%$ であった.

b) 認知機能

Table2 にファイブ・コグテストの値を示した. 6項目に交互作用を認めなかった.

介入群は, 時計描画以外の運動課題 (p 値 = 0.0016), 再生課題 (p 値 = 0.0001), 照合課題 (p 値 = 0.0001), 想起課題 (p 値 = 0.0029), 共通単語課題 (p 値 = 0.0001) に有意な改善を認めた.

コントロール併用群は時計描画以外の運動課題 (p 値 = 0.0001), 再生課題 (p 値 = 0.0012), 照合課題 (p 値 = 0.0001), 想起課題 (p 値 = 0.0001), 共通単語課題 (p 値 = 0.0001) に有意な改善を認めた.

c) 血管内皮機能・動脈スティフネス

Table3 に心拍数, 血圧, RH-PAT index と baPWV の値を示した. 心拍数, 収縮期血圧, 拡張期血圧, RH-PAT index, baPWV に交互作用を認めなかった.

介入群は, RH-PAT index (p 値 = 0.0001), baPWV (p 値 = 0.0175) に有意な改善を認めた. コントロール併用群は RH-PAT index (p 値 = 0.0001), baPWV (p 値 = 0.0055) に有意な改善を認めた.

4) 介入の残存効果を検討 (介入終了後未介入期間 3 ヶ月後と未介入期間 6 ヶ月後比較および群間差比較)

a) 柔軟性

Table3 に柔軟性の値を示した. 両群間に交互作用を認めなかった. 介入群は有意な低下 (p 値 = 0.026) を認めた. さらに未介入期間 3 ヶ月後に有意な低下 (p 値 = 0.0041) を認めた. コントロール併用群は, 有意な低下 (p 値 = 0.0001) を認めたが, さらに未介入期間 3 ヶ月後は有意な差を認めなかった.

b) 認知機能

Table2 にファイブ・コグテストの値を示した. 6 項目に交互作用を認めなかった.

介入群は, 運動課題 (p 値 = 0.0266), 再生課題 (p 値 = 0.0001) に有意な低下を認めたが, さらに未介入期間 3 ヶ月後ではどの項目にも有意な差を認めなかった. コントロール併用群は, 運動課題 (p 値 = 0.0070), 再生課題 (p 値 = 0.0059), 照合課題 (p 値 = 0.0001), 想起課題 (p 値 = 0.0001), 共通単語課題 (p 値 = 0.0143) に有意な低下を認めたが, さらに未介入期間 3 ヶ月後ではどの項目にも有意な差を認めなかった.

c) 血管内皮機能・動脈スティフネス

Table3 に心拍数, 血圧, RH-PAT index と baPWV の値を示した. 介入群は, 心拍数 (p 値 = 0.0081), RH-PAT index (p 値 = 0.0003) に有意な差を認めたが, さらに未介入期間 3 ヶ月後ではどの項目にも有意な差を認めなかった. コントロール併用群は, RH-PAT index (p 値 = 0.0001) に有意な低下を認めたが, さらに未介入期間 3 ヶ月後ではどの項目にも有意な差を認めなかった.

Table 1-1). Body composition, SAS, IPAQ before intervention

	介入群 (n=9)	コントロール併用群 (n=9)	p 値 ^a
Age (years)	79.2 ± 2.5	80.4 ± 3.8	0.179
Height (cm)	154.8 ± 5.8	151.4 ± 7.8	0.568
Weight (kg)	53.2 ± 8.4	50.3 ± 6.1	0.672
Body Mass Index (kg/m ²)	22.1 ± 2.1	21.9 ± 1.6	0.706
Body fat percentage (%)	30.1 ± 4.8	30.7 ± 5.0	0.803
Lean Body Mass (kg)	34.7 ± 5.7	32.8 ± 4.3	0.671
SAS (Mets)	7.1 ± 0.9	7.1 ± 0.9	0.797
IPAQ (kcal/day)	532.5 ± 522.1	302.9 ± 496.2	0.430

Results are expressed as means ± SD. b. Fisher の最小有意差法による

SAS : Specific activity scale IPAQ : International physical activity questionnaire short version

Table 1-2). Changes in body composition, SAS, IPAQ during the study period

	介入群 (n=9)					コントロール併用群 (n=9)					2 群 有意性 ^b
	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	0.446
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	0.846
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	0.681
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	0.400
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	0.446
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	0.353

Results are expressed as means ± SD. b. Fisher の最小有意差法による

2 群 : 多重比較検定 有意性^b: 交互作用効果の有意性^b

Table 2. Changes in cognitive function during the study period

認知要素	介入群 (n=9)					コントロール併用群 (n=9)					群間差 2 群	
	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining	p 値 ^a	有意性 ^b
運動課題	24.1 ± 12.5	26.6 ± 14.0	30.4 ± 15.4	26.6 ± 14.0	23.7 ± 12.2	25.7 ± 10.3	28.9 ± 13.1	34.2 ± 11.2	28.7 ± 8.7	26.3 ± 9.8	0.445	0.664
標準誤差 1.0773	有意確率 ^b vs. Pre	0.0266*	0.0016**	0.0266*	0.6813	有意確率 ^b vs. Pre	0.0039**	0.0001**	0.0070*	0.5382		
再生課題	16.8 ± 14.0	22.3 ± 12.6	23.3 ± 13.8	22.4 ± 12.4	17.2 ± 13.5	23.1 ± 6.9	26.7 ± 8.4	27.3 ± 9.6	26.7 ± 8.4	23.1 ± 6.9	0.028*	0.330
標準誤差 1.2477	有意確率 ^b vs. Pre	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.7229	有意確率 ^b vs. Pre	0.0059**	0.0012**	0.0059*	1.0000		
組合課題	35.8 ± 7.5	35.1 ± 13.2	42.8 ± 9.4	38.2 ± 6.9	35.8 ± 7.5	39.6 ± 9.2	46.2 ± 8.2	51.0 ± 9.0	46.2 ± 8.2	39.6 ± 9.2	0.353	0.080
標準誤差 1.5727	有意確率 ^b vs. Pre	0.6730	0.0001**	0.1250	1.0000	有意確率 ^b vs. Pre	0.0001**	0.0001**	0.0001**	1.0000		
時計読み課題	54.0 ± 0.0	54.0 ± 0.0	54.0 ± 0.0	54.0 ± 0.0	54.0 ± 0.0	51.9 ± 6.3	54.0 ± 0.0	54.0 ± 0.0	51.9 ± 6.3	51.9 ± 6.3	0.036*	0.177
標準誤差 1.0816	有意確率 ^b vs. Pre	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	有意確率 ^b vs. Pre	0.0553	0.0553	1.0000	1.0000		
部計測課題	36.0 ± 13.3	36.6 ± 14.5	41.2 ± 11.2	35.3 ± 14.9	33.4 ± 13.8	37.7 ± 8.6	47.2 ± 13.7	50.9 ± 13.1	47.1 ± 12.2	38.4 ± 7.6	0.131	0.178
標準誤差 1.6875	有意確率 ^b vs. Pre	0.7430	0.0029*	0.6941	0.1349	有意確率 ^b vs. Pre	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.6464		
共通課題	35.8 ± 10.6	38.1 ± 11.9	43.9 ± 13.5	37.1 ± 12.6	36.3 ± 10.3	40.2 ± 7.7	43.2 ± 8.0	50.0 ± 9.3	43.9 ± 9.1	41.0 ± 9.6	0.166	0.251
標準誤差 1.4555	有意確率 ^b vs. Pre	0.1138	0.0001**	0.3631	0.7040	有意確率 ^b vs. Pre	0.0434*	0.0001**	0.0143*	0.5949		

Results are expressed as means ± SD. Asterisks show statistically significant difference (*p<0.05, **p<0.01)

b. Fisher の最小有意差法による

2 群：多重比較検定

群間差：介入前(Pre)の群間差の比較

有意性^b：交互作用効果の有意性^b

Table 3. Changes in blood pressure, RH-PAT index, baPWV, flexibility during the study period

	介入群 (n=9)					コントロール併用群 (n=9)					群間差 2 群	
	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining	Pre	3months	6months	3 detraining	6 detraining	p 値 ^a	有意性 ^b
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	0.402	0.323
標準誤差 2.6825	有意確率 ^b vs. Pre	0.6801	0.9671	0.0081*	0.6209	有意確率 ^b vs. Pre	0.9015	0.8689	0.6801	0.7415		
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	0.090	0.676
標準誤差 0.7337	有意確率 ^b vs. Pre	0.0035**	0.0182*	0.2302	0.4517	有意確率 ^b vs. Pre	0.2931	0.1349	0.4517	0.7630		
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	0.281	0.794
標準誤差 0.8643	有意確率 ^b vs. Pre	0.3716	0.3076	0.7979	0.0089**	有意確率 ^b vs. Pre	0.2516	0.3716	0.2516	0.4434		
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	0.600	0.102
標準誤差 0.0339	有意確率 ^b vs. Pre	0.0001**	0.0001**	0.0003**	0.4341	有意確率 ^b vs. Pre	0.9739	0.0001**	0.0011**	0.3791		
baPWV (cm/sec)	1883.1 ± 197.8	1828.0 ± 69.3	1775.9 ± 190.1	1859.0 ± 213.0	1885.1 ± 97.5	1777.6 ± 251.0	1779.9 ± 250.3	1741.1 ± 246.2	1775.9 ± 246.3	1785.6 ± 255.7	0.278	0.505
標準誤差 12.6994	有意確率 ^b vs. Pre	0.0001**	0.0175*	0.0627	0.8719	有意確率 ^b vs. Pre	0.8531	0.0055**	0.8994	0.5270		
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	0.257	0.416
標準誤差 0.7466	有意確率 ^b vs. Pre	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0041**	有意確率 ^b vs. Pre	0.3153	0.0001**	0.026*	0.7897		

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

b. Fisher の最小有意差法による

SBP: Systolic blood pressure DBP: Diastolic blood pressure RH-PAT index: reactive hyperemia peripheral arterial tonometry index baPWV: brachial-ankle Pulse Wave Velocity

群間差：介入前(Pre)の群間差の比較

2 群：多重比較検定

有意性^b：交互作用効果の有意性^b

4. Discussion

1) 柔軟性の向上

スタティック・ストレッチングによる 3 ヶ月介入後に柔軟性の有意な改善を認めた。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。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 (Weppler et al., 2010) 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。ストレッチング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 (Ben et al., 2010; Mizuno et al., 2010) 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 (Christiansen, 2008; Kerrigan et al., 2003) 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では、脊柱屈曲可動域が有意に改善した (Rider et al., 1991) 報告もある。

今回のスタティック・ストレッチング実施率

は、介入群およびコントロール併用群ともに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(Bandy et al., 1994)以上であった。健康づくりのための身体活動・運動ガイド2023 高齢者版(厚生労働省, 2023)では、強度が3メッツ以上の身体活動を週15メッツ・時以上行うことを推奨しており、具体的には歩行又はそれと同等以上の強度の身体活動を1日40分以上行うことを推奨し、筋力・バランス・柔軟性など多要素な運動を週3日以上行うことを推奨している。スタティック・ストレッチングは、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り、定期的な実施は、高齢者の歩行能力低下(田井中, 2002)や転倒リスク(田井, 2007)との関連し、柔軟性への効果(Stathokostas et al., 2002)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(鈴木, 2013)とされている。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(Walter et al., 1996; Marques et al., 2009)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(Kataura et al., 2017)もあるが、ストレッチ時の伸張強度は主観的な感覚である為、数値化するのは困難で、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いきつ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ものと考えられる。介入期間中は、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種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(Abraham et al., 2018; Uemura et al., 2018)、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(Mutrie et al., 2012)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、スタティック・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スタティック・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スタティック・ストレッチングの講習会を19回開催したことが、正しい実施方法、実施の定着、実施頻度の増加に結び付いた可能性がある。本研究では、3ヶ月の介入期間より6ヶ月間の介入期間による改善は定着し、6ヶ月未介入期間後も改善が保持されることが示された。

2) 認知機能

認知機能課題は、介入群とコントロール併用群のベースラインに差がある課題もあったが、両群においても介入前に比し、3ヶ月の介入後に複数の課題に有意な高値を認めた。加齢により想起力や記憶力、記憶や計算のような単純な機能や知的作業能力の速度も低下する。記憶力が衰えても理解力が補うことで、優れた創造性を発揮することもあり、意欲と積極性があれば、衰えた機能が衰えていない機能を補い、知的機能は発達する(筒井, 1997)という報告がある。また地域在住の高齢者を対象とした長期疫学研究では、身体活動および運動実施が認知機能低下および認知症の発症に対して防御的な効果があることを報告(Rolland et al., 2008)している。

介入群の6ヶ月間のスタティック・ストレッチング実施率、コントロール併用群の3ヶ月間の実施率は共に80%以上であった。1週間当たりの頻度としては、3メッツ未満の身体活動ではあるが5回以上の活動に相当する。介入期間中は自主的にスタティック・ストレッチングを継続実施したこと、更には実施記録用紙に毎日の自身の体調、スタティック・ストレッチングの実施開始時間と終了時間、所要時間と感想や出来事などを自記式にて記入するよう依頼した。行動や出来事を振り返ることで脳の活動が活性化され、感覚器の向上に寄与した可能性があると考えられる。また、自身の手で記入することにより、手の運動機能の改善効果もあったものと推察される。しかしながらコントロール併用群において、ストレッチング未介入期間後に有意な改善項目が認められたことは、スタティック・ストレッチングの介入期間との因果関係として明らかにすることはできず、研究に参加することに対して改善される傾向があるとの推測や課題に対しての慣れが生じている可能性も考えられた。本研究では6ヶ月間の介入期間で改善し、6ヶ月未介入期間後は介入期間に関わらず元の状態に戻ることが示された。

3) 血管内皮機能の改善

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 (Bonetti et al., 2004) としている。両群介入群およびコントロール併用群の介入前の RH-PAT index は、1.67 以下 (Maiorana et al., 2003) 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。

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り (Palombo et al., 2016)、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 (Laurent et al., 2015) されている。

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 (Cui et al., 2006)。ストレッチング実施後に筋血液量が増加するのは、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 (Takeda et al., 2006)。筋束長の伸張が大きいほど筋血液量は減少し、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 (Ando et al., 1993; Yamamoto et al., 2003)、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。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 (StO_2) が増加、筋酸素化ヘモグロビン muscle oxygen-Hemoglobin (Oxy-Hb) が増加し、 StO_2 と Oxy-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液量が増加して、筋組織への酸素供給が消費酸素を上回り、 StO_2 が増加したことを示唆 (McCully et al., 2000) している。

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液量の亢進に寄与し、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) 動脈スティフネス

介入期間前の baPWV の値は介入群が 1883.1cm/s、コントロール併用群が 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。中年女性を対象とした先行研究では、3ヶ月介入で baPWV は有意な改善を認めず、介入群の6ヶ月介入後に有意な低値が認められたと報告 (Shinno et al., 2017) している。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、動脈スティフネスの改善 (Wallance et al., 2007) 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 (Heffernan et al., 2007) 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 (Thacher et al., 2010) がある。中年女性を対象とした報告では、性周期および月経の有無を明確にしていなかったため、女性ホルモンが動脈コンプライアンスへの影響もあった可能性が考えられた。

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 (大石 ほか, 2007)。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 (Tomiya et al., 2003) 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 (Skafar et al., 1997) が、女性の閉経により急速な分泌低下が生じると報告 (Moreau et al., 2014) 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 (Sugawara et al., 2005) がある。これらのことから今回の対象者は後期高齢者であり、性差、性周期を考慮せずに検討した結果、介入群とコントロール併用群ともに 3 ヶ月間の介入後に有意な改善が認められた。このことは、頻度が高い反復運動による効果 (川崎 ほか, 2004) として、血管内皮機能の改善と同時に動脈スティフネスも改善した可能性がある。RH-PAT index は、3 ヶ月間の未介入後も改善が認められるが、6 ヶ月未介入後は元の状態に戻る。柔軟性が維持できても、ストレッチングを継続しないと RH-PAT index は改善されない。そして baPWV は RH-PAT index よりも早くストレッチングによる効果は維持できない

ことが示された。

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 (Gando et al., 2010 ; Parsons et al., 2016) がみられる。定期的なストレッチが動脈コンプライアンスを向上させる可能性があり (Cortez-Cooper et al., 2006)、一過性のスタティック・ストレッチング直後では baPWV の改善を報告 (Hotta et al., 2013) 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 - 足首間脈波伝播速度 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 (Yamato et al., 2017) 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。

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 (Gregg et al., 2003 ; Stessman et al., 2009) されている。柔軟性を高めるストレッチングの継続で、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、全身的なストレッチングを 1 日 30 ~ 45 分、週に 3 日以上、頻度、4 週間以上の継続実施 (Cortez-Cooper et al., 2006) が望ましい。

5) 限界と課題

高齢者を対象としたスタティック・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、そして介入成果については、測定を 3 ヶ月ごととしたため測定項目の数値的变化の詳細なタイミングが明確にわからなかった為、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、スタティック・ストレッチングの継続実施による、認知機能および柔軟性、抗動脈硬化に及ぼす影響を検討した。その結果、介入期間 3 ヶ月後、6 ヶ月後に認知機能および柔軟性の改善、抗動脈硬化の成果として血管内皮機能および動脈スティフネスにおいて有意な改善を認めた。しかしながら、6 ヶ月間の介入後未介入期間では、認知機能および柔軟性、血管内皮機能、動脈スティ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。スタティック・ストレッチングの継続実施は後期高齢者の認知機能および柔軟性を改善し、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。

References

- Abraham C, Kools, M (2018) 行動変容を促すヘルスコミュニケーション—根拠に基づく健康情報の伝え方—. 北大路書房, 103-120.
- Ando J, Kamiya A (1993) Blood flow and vascular endothelial cell function. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 5:245-264.
- Ashor AW, Lara J, Siervo M (2014) Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*, 9:e110034.
- 新井智之 (2017) 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.
- Bandy WD, Irion JM (1994) The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstring muscle. *Physical Therapy*, 4(9):845-850.
- Ben M, Harvey LA (2010) Regular stretch does not increase muscle extensibility: a randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20:136-144.
- Bonetti PO, Pumper GM, Higano ST, Holmes DR, Kuvin JT, Lerman A (2004) Noninvasive identification of patients with early coronary atherosclerosis by assessment of digital reactive hyperemia. *Journal of the American College of Cardiology*, 4:2137-2141.
- Christiansen CL (2008) The effects of hip and ankle stretching on gait function of older people. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89:1421-1428.
- Cortez-Cooper MY, Anton MM, Devan AE, Neidre DB, Cook JN (2006) Effects of strength training vs. stretching on central arterial compliance in older adults. *Experimental Biology (Part I) Physiology (The American Physiological Society)*, A814.
- Cui J, Blaha C, Moradkhan R, Gray KS, Sinoway LI (2006) Muscle sympathetic nerve activity responses to dynamic passive muscle stretch in humans. *The Journal of Physiology*, 576:625-634.
- Eman EM, Kondo T, Suzukamo Y, Satoh M, Oouchida Y, Hara A, Ohkubo T, Kikuya M, Hirano M, Hosokawa A, Hosokawa T, Imai Y, Izumi S (2012) Association between white matter hyperintensity and lacunar infarction on MRI and subitem scores of the Japanese version of mini-mental state examination for testing cognitive decline: The Ohasama study. *Clinical and Experimental Hypertension*, 34:541-7.
- Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, Kim JS, Heo S, Alves H, White SM, Wojcicki TR, Mailey E, Vieira VJ, Martin SA, Pence BD, Woods JA, McAuley E, Kramer AF (2011) Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences of the United States of America. 108(7):3017-3022.
- Fujie S, Iemitsu M (2019) Anti-aging effects for arteriosclerosis by exercise and nutrition. *Glycative Stress Research*, 6(4):219-226.
- Fujie S, Hasegawa N, Sato K, Fujita S, Sanada K, Hamaoka T, Sanada K, Sato K, Hamaoka T, Iemitsu M (2015) Aerobic exercise training-induced changes in serum adiponectin level are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 309:1642-1647.
- Gando Y, Yamamoto K, Murakami H, Ohmori Y, Kawakami R, Sanada K, Higuchi M, Tabata I, Miyachi M (2010) Longer time spent in light physical activity is associated with reduced arterial stiffness in older adults. *Hypertension*, 56(3):540-546.
- Gregg EW, Cauley JA, Stone K (2003) Relationship of changes in physical activity and mortality among older women. *Journal of the American Medical Association*, 289(18):2379-2386.
- Gu Q, Wang B, Zhang XF, Ma YP, Liu JD, Wang XZ (2014) Chronic aerobic exercise training attenuates aortic stiffening and endothelial dysfunction through preserving aortic mitochondrial function in aged rats. *Experimental Gerontology*, 56:37-44.
- Hasegawa N, Fujie S, Kurihara T, Homma T (2016) Effects of habitual aerobic exercise on the relationship between intramyocellular or extramyocellular lipid content and arterial stiffness. *Journal of Human Hypertension*, 30(10):606-612.
- Hasegawa N, Fujie S, Horii N, Uchida M, Kurihara T, Sanada T, Hamaoka T, Iemitsu M (2018) Aerobic exercise training-induced changes in serum C1q/TNF-related protein levels are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 314:94-101.
- Heffernan KS, Edwards DG, Rossow L, Jae SY, Fernhall B (2007) External mechanical compression reduces regional arterial stiffness. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6):735-41.
- Hotta K, Kamiyama K, Shimizu R, Yokoyama M, Nakamura-Ogura M, Tabata M, Kamekawa D, Akiyama A, Kato M, Noda C, Matsunaga A, Masuda T (2013) Stretching exercises enhance vascular endothelial function and improve peripheral circulation in patients with acute myocardial infarction. *International Heart Journal*, 54(2):59-63.
- Kataura S, Suzuki S, Matsuo S, Hatano G, Iwata M, Yokoi K, Tsuchida W, Banno Y, Asai Y (2017) Acute Effects of the Different Intensity of Static Stretching on Flexibility and Isometric Muscle Force. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(12):3403-3410.
- 川崎新太郎, 萩原礼紀, 久保達郎 (2004) 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.
- Kerrigan D, Xenopoulos-Oddsson A, Sullivan M (2003) Effect of a Hip Flexor-Stretching Program on Gait in the Elderly. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(1):1-6.
- 厚生労働省 (2023) 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/undou/index.html
- Laurent S, Boutouyrie P (2015) The structural factor of hypertension: large and small artery alterations. *Circulation Research*, 116(6):1007-1021.
- Levy R (1994) Aging-associated cognitive decline. Working Party of the International

- Psychogeriatric Association in collaboration with the World Health Organization. *International Psychogeriatrics*, 6:63-68.
- Luscher TF, Tanner FC (1993) Endothelial regulation of vascular tone and growth. *American Journal of Hypertension*, 6:283S-293S.
- Maiorana A, O'Driscoll G, Taylor R, Green D (2003) Exercise and the nitric oxide vasodilator system. *Sports Medicine*, 33:1013-1035.
- 松岡博昭 (2008) 循環器疾患の加齢による変化. *Dokkyo Journal of Medical Sciences*, 5(3):197-201.
- Marques AP, Vasconcelos AAP, Cabral CMN, Sacco ICN (2009) Effect of frequency of static stretching on flexibility, hamstring tightness and electromyographic activity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 42(10):949-953.
- McCully KK, Hamaoka T (2000) Near-infrared spectroscopy what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle?. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(3):123-127.
- Miura H, Nakagawa E, Takahashi Y (2008) Influence of group training frequency on arterial stiffness in elderly women. *European Journal of Applied Physiology*, 104:1039-1044.
- Mizuno T, Matsumoto M, Umemura Y (2013) Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23:23-30.
- Moreau KL, Hildreth KL (2014) Vascular Aging across the Menopause Transition in Healthy Women. *Advances in Vascular Medicine*, 204390.
- Mutrie N, Doolin O, Fitzsimons CF, Grant PM, Granat M, Grealy M, Macdonald H, MacMillan F, McConnachie A, Rowe DA, Rowe R, Skelton DA (2012) Increasing older adults' walking through primary care: results of a pilot randomized controlled trial. *Family Practice*, 29(6):633-642.
- Palmer RM, Ferrige A, Moncada S (1987) Nitric oxide release accounts for the biological activity of endothelium-derived relaxing factor. *Nature*, 327:524-526.
- 大石充, 萩原俊男 (2007) PWV の定義と測定. *血圧*, 14:13-6.
- Palombo C, Kozakova M (2016) Arterial stiffness, atherosclerosis and cardiovascular risk: Pathophysiologic mechanisms and emerging clinical indications. *Vascular Pharmacology*, 77:1-7.
- Parsons TJ, Sartini C, Ellins EA, Halcox JPJ, Smith KE, Ash S, Lennon LT, Wannamethee SG, Lee IM, Whincup PH, Jefferis BJ (2016) Objectively measured physical activity, sedentary time and subclinical vascular disease: Cross-sectional study in older British men. *Preventive Medicine*, 89:194-199.
- Rider RA, Daly J (1991) Effects of flexibility training on enhancing spinal mobility in older women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31:213-217.
- Rolland Y, van Kan GA, Vellas B (2008) Physical activity and Alzheimer's disease : from prevention to therapeutic perspectives. *Journal of the American Medical Directors Association*, 9:390-405.
- Shinno H, Kurose S, Yamanaka Y, Higurashi K, Fukushima Y, Tsutsumi H, Kimura Y (2017) Evaluation of Extension of Blood Vessels during Static Stretching Using Ultrasound 2D Speckle Tracking Imaging. *Global Journal of Health Science*, 9(8):1-9.
- Shinno H, Kurose S, Yamanaka Y, Higurashi K, Fukushima Y, Tsutsumi H, Kimura Y (2017) Evaluation of a static stretching intervention on vascular endothelial function and arterial stiffness. *European Journal of Sport Science*, 17:586-592.

- 新野弘美, 黒瀬聖司, 山中裕, 堤博美, 木村穰 (2018) スタティックストレッチング介入による動脈スティフネス及び血管内皮機能への効果の検討. 日本臨床運動療学会, 19(2):27-31.
- Skafar DF, Xu R, Morales J, Ram J, Sowers JR (1997) Clinical review 91: Female sex hormones and cardiovascular disease in women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 82(12):3913-8.
- Stathokostas L, Little RMD, Vandervoort AA, Paterson DH (2012) Flexibility Training and Functional Ability in Older Adults: A Systematic Review. *Journal of Aging Research*, 8:306818.
- Stessman J, Hammerman-Rozenberg R, Cohen A, Mor EE, Jacobs JM (2009) Physical Activity, function, and Longevity Among the Very Old. *Archives of internal medicine*, 169(16):1476-1483.
- Sugawara J, Otsuki T, Maeda S, Tanabe T, Kuno S, Ajisaka R, Matsuda M (2005) Effect of arterial lumen enlargement on carotid arterial compliance in normotensive postmenopausal women. *Hypertension Research*, 28(4):323-9.
- Sumino H, Ichikawa S, Kasama S, Takahashi T, Kumakura H, Takayama Y, Kanda T, Sakamaki T, Kurabayashi M (2006) Elevated arterial stiffness in postmenopausal women with osteoporosis. *Maturitas*. 55:212-218.
- 鈴木重行 (2013) ストレッチングの科学. 三輪書店, 2-15.
- 田井中幸司, 青木純一郎 (2002) 高齢女性の歩行速度の低下と体力. *体力科学*, 51:245-252.
- 田井中幸司, 青木純一郎 (2007) 在宅高齢女性の転倒経験と体力. *体力科学*, 56:279-286.
- Takeda H, Komori K, Nishikimi N, Nimura Y, Sokabe M, Naruse K (2006) Bi-pasic activation of eNOS in response to uni-axial cyclic stretch is mediated by differential mechanisms in BAECs. *Life Sciences*, 79(3):233-239.
- Thacher T, Gambillara V, da Silva RF, Silacci P, Stergiopoulos N (2010) Reduced cyclic stretch, endothelial dysfunction, and oxidative stress: an ex vivo model. *Cardiovascular Pathology*, 19(4):91-98.
- Tomiyama H, Yamashina A, Arai T, Hirose K, Koji Y, Chikamori T, Hori S, Yamamoto Y, Doba N, Hinohara S (2003) 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.
- 筒井雄二 (1997) 加齢に伴う記憶機能の変化. 学習院大学文学部研究年報, 学習院大学文学部編, (44):109-126.
- Uemura K, Yamada M, Okamoto H (2018) Effects of active learning on health literacy and behavior in older adults: a randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(9):1721-1729.
- Wallance SML, Yasmin M, McEniery CM, Mäki-Petäjä KM, Booth AD, Cockcroft JR, Wilkinson IB (2007) Isolated systolic hypertension is characterized by increased aortic stiffness and endothelial dysfunction. *Hypertension*, 50(1):228-233.
- Walter J, Figoni SF, Andres FF, Brown E (1996) Training intensity and duration in flexibility. *Clinical Kinesiology*, 50(2):40-45.
- Wang M, Takagi G, Asai K, Resuello RG, Natividad FF, Vatner DE, Vatner SF, Lakatta EG (2003) Aging increases aortic MMP-2 activity and angiotensin II in nonhuman primates. *Hypertension*, 41(6):1308-1316.
- Weppler CH, Magnusson SP (2010) Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation?. *Physical Therapy*, 90:438-449.
- 山口太一, 石井好二郎 (2012) 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.

- Yamamoto K, Takahashi T, Asahara T, Ohura N, Sokabe T, Kamiya A, Ando J (2003) Proliferation differentiation and tube formation by endothelial progenitor cells in response to fluid shear stress. *Journal of Applied Physiology*, 95(5):2081-2088.
- Yamamoto K, Kawano H, Gando Y, Iemitsu M, Murakami H, Sanada K, Tanimoto M, Ohmori Y, Higuchi M, Tabata I, Miyachi M (2009) Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 297:1314-1318.
- Yamato Y, Hasegawa N, Fujie S, Ogoh S, Iemitsu M (2017) Acute effect of stretching one leg on regional arterial stiffness in young men. *European Journal of Applied Physiology*, 117:1227-1232.
- Yanagisawa M, Kurihara H, Kimura S, Tomobe Y, Kobayashi M, Mitsui Y, Yazaki Y, Goto K, Masaki T (1988) A novel potent vasoconstrictor peptide produced by vascular endothelial cells. *Nature*, 332:411-415.
- 矢富直美 (2010) 集団認知検査ファイブ・コグ. *老年精神医学雑誌*, 22(2):215-220.
- Zaydun G, Tomiyama H, Hashimoto H, Arai T, Koji Y, Yamabe M, Motobe K, Hori S, Yamashina A (2006) Menopause is an independent factor augmenting the age-related increase in arterial stiffness in the early postmenopausal phase. *Atherosclerosis*, 184:137-42.

(受付日 2024/8/22 受理日 2025/5/6)