

部位の異なる一過性のストレッチングが 動脈スティフネスに及ぼす影響 —上半身と下半身の違いについて—

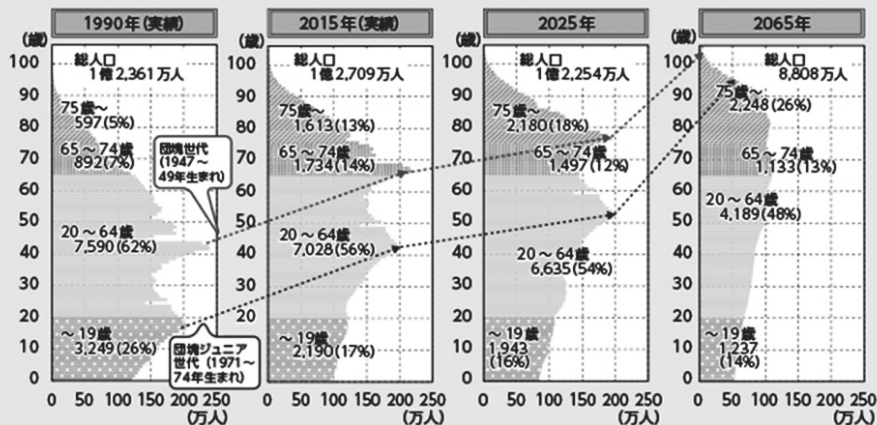
河野寛，勝又梨湖，櫻井天音，實川玲羅，
藤井勇仁，村沢響，温泉川颯，吉田桐也

1 緒言

動脈スティフネスの増加は、循環器疾患の独立した危険因子である (1-4)。この結果を最初に明確に示した先行研究を紹介する。この先行研究では、事前に483名の高血圧患者の年齢、心拍数、血圧、循環器疾患の有無、糖尿病の有無、動脈スティフネスを調査・測定しておき、その後16年間追跡し（コホート研究とも言う）、全死亡率および循環器系疾患による死亡率に16年前の動脈スティフネスが他の項目とは関係なく独立して関与することを明らかにしている (1)。このような動脈スティフネスと循環器疾患との関連に関するエビデンスが多く報告されているため、動脈スティフネスを事前に評価し、その数値を良い状態に保つことは将来の循環器系疾患を回避することにつながるとされる。この動脈スティフネスは、加齢や不活動によって増加するが、活動的な生活を送ることで低下することが縦断的・横断的な研究によって明らかになっている (5)。したがって、動脈スティフネスを運動などによって改善することは、健康寿命の延伸に寄与すると考えられている。

工業化されているような先進国諸国において、高齢者や生活習慣病罹患患者のような低体力者は増加している (図1および2)。そのような国では、体力を維持増進するために身体活動基準が定められているが、3METs以上の運動強度が必要とされている (6,7)。一方で、日常生活における3METs未満の低強度の身体活動時間と動脈スティフネスとの間に負の相関関係が報告されており (8)、また座位時間と生活習慣病罹患率や死亡率と正の相関関係が認められている (9)。これらの結果は、健康寿命の延伸のために低強度の身体活動が重要であることを示唆している。

低強度の代表的な運動種目であるストレッチングは、主にスポーツ活動時のウォーミングアップやクーリングダウンに用いられる。加えて、ヨガやピラティスなどでもストレッチングの要素が取り入れられており、幅広い世代に親しまれている運動種目でもある。またストレッチングの本来の目的は柔軟性を高めることである。2009年に、高齢者や低体力者において柔軟性と動脈硬化の間に負の相関関係があると報告されて以来 (10)、



出所：実績値（1990年及び2015年）は総務省「国勢調査」をもとに厚生労働省作成、推計値（2025年及び2065年）は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成29年推計）：出生中位・死亡中位推計」（各年10月1日現在人口）

（注）1990年及び2015年の総人口は、年齢不詳を含む。

図1. 我が国の人口ピラミッドの変化（1990, 2015, 2025, 2065）平成29年中位推計（厚生労働省 HP）

<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/17/backdata/02-01-01-01.html> 2019年11月17日ダウンロード

柔軟性を高めるストレッチングと動脈硬化との関係が多く検討されており、ストレッチングを数週間から数ヶ月間実施すると、脈波伝播速度（PWV; pulse wave velocity）や β ステイフネス（超音波法とトノメトリー法によって評価）が改善することが明らかとなっ

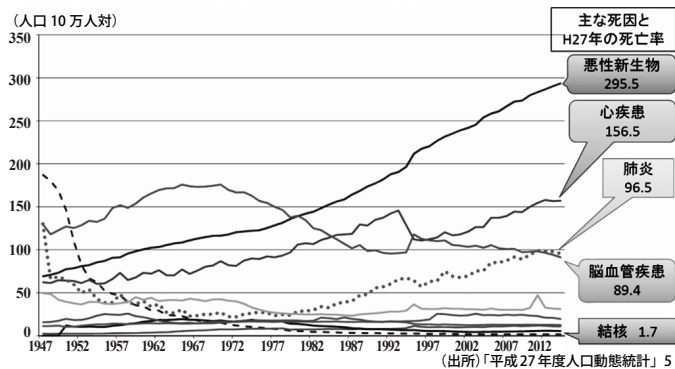


図2 我が国における死亡率の推移（主な死因別）平成27年人口動態統計

（厚生労働省 HP） <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/jinkou/other/15sibou/index.html> 2019年11月17日ダウンロード

ている（11-14）。このように、長期的なストレッチングが動脈ステイフネスを低下させることはエビデンスとして確立しつつある。

柔軟性と動脈ステイフネスの関係を説明するメカニズムは不明な点が多い。若年男性において、全身性の能動的ストレッチングが全身および末梢（下肢）の動脈ステイフネ

を一時的に低下させることが報告されている (15)。この結果は、中強度の一過性の有酸素性運動と同様であり (16)、ストレッチングのような低強度の運動においても動脈スティフネスを改善できることを示している。さらに別の先行研究では、一過的に下腿の片側のみをストレッチングした場合、ストレッチングした側の下腿の動脈スティフネスが一時的に低下することを示した (17)。この知見は、静的な受動的ストレッチングという末梢動脈への機械的刺激が動脈壁を直接調節する可能性を示唆している。しかしながら、ストレッチングを実施する部位の違い (上半身および下半身) が動脈スティフネスに及ぼす影響は明らかではない。一般的に、下半身と比較して上半身における神経支配は優位であるとされている。ストレッチングが筋-神経系に働きかけることで神経系を刺激し、その後の迷走神経賦活化に影響を及ぼすのであるならば、上半身のストレッチングの方が下半身と比較して循環器系への効果が大きいと推測される。

以上のことより、本研究の目的は、上半身および下半身における一過性のストレッチングが動脈スティフネスおよび血圧に及ぼす影響を検討することであった。このことを明らかにすることは、脊髄損傷によって下半身不随になった患者などが上半身の運動を実施する際のエビデンスの蓄積に寄与すると考えられる。また元来の柔軟性の違いによって、同じように最大伸展位でストレッチングを実施した場合でも、筋に対する入力刺激が異なる可能性が考えられる。したがって、本研究では柔軟性と上半身および下半身のストレッチング後の動脈スティフネス変化についても検討することとした。

2 方法

1) 被験者

被験者は健康な男性 8 名女性 7 名、計 15 名 (20.9 ± 0.1 歳) を対象とした。被験者の特性は、表 1 に示した。

2) 実験手順

本実験では、下半身のストレッチングを行う条件 (下半身条件)、上半身のストレッチングを行う条件 (上半身条件) および座位安静を保つ条件 (コントロール条件) を設定した。各被験者は、3 条件について日を変えて同じ時間帯で実施した。3 条件の実施手順については、順番の影響を排除するためにランダムに行われた。実験前には、被験者は 5 分程度の安静時間を過ごして測定を待った。測定は、ストレッチング前、ストレッチング直後、終了 10 分後、20 分後および 30 分後に行われた。

3) 測定項目

1. 心拍数, 血圧およびPWV

心拍数, 血圧およびPWVの計測には血圧脈波検査装置(HBP-8000; オムロン社製)を用いた。測定時には, 仰臥位で右上腕部, 左上腕部, 右足首部, 左足首部に脈波センサー付きのカフを装着し, 減圧法によって測定を行った。減圧中に連続して心拍数, 減圧によって血圧(収縮期血圧, 拡張期血圧, 平均血圧および脈圧), 50mmHg前後まで減圧した段階で圧力低下を一旦止めて10秒間でPWVを測定した(写真1)。

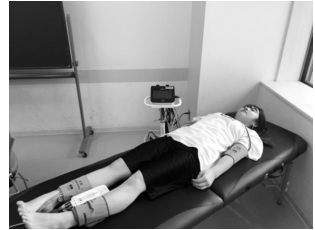


写真1 心拍数, 血圧およびbaPWVの測定風景

PWVは, 上腕動脈から足背動脈までの伝播速度(baPWV)を評価した。baPWVの算出方法は以下の通りである(18)。

$$\text{baPWV} = (\text{Dhf} + \text{Dfa} - \text{Dhb}) / \text{Tba}$$

ただし, Dhbは頸切痕から上腕動脈までの距離, Dhfは頸切痕から大腿動脈分岐部までの距離, Dfaは大腿動脈分岐部から足背動脈までの距離と定義した。また足背動脈と上腕動脈の間で生じる脈波の時間差をTbaと定義した。

$$\text{Dhb} = (0.220 \times \text{身長}\{\text{cm}\} - 2.07)$$

$$\text{Dhf} = (0.564 \times \text{身長}\{\text{cm}\} - 18.4)$$

$$\text{Dfa} = (0.249 \times \text{身長}\{\text{cm}\} + 30.7)$$

血圧およびbaPWVは左右で測定しているため, 本研究では左右の平均を採用した。

2. 長座体前屈

長座体前屈の計測には段ボール材を使用した自作の計測器を用いた。被験者は垂直な壁に両肩および臀部を付けた状態から, 息を吐きながら最大伸展位まで上体を前傾した。そのときの段ボールの移動距離を柔軟性の指標として採用した。元来の柔軟性がストレッチングに対するbaPWVの反応に影響を与えるかどうかを検討するために, 被験者は長座体前屈の全被験者の平均値(36.8cm)を基準として, 柔軟性低値群と柔軟性高値群に分けられた。

3. 歩数

歩数は被験者の日常的な活動量を評価するために採用した。歩数の計測には被験者のスマートフォン内のアプリケーションを用いた。歩数は直近の一週間の平均値とした。

4) ストレッチング

上半身および下半身のストレッチング条件では, それぞれ5種目8セットを実施した。各セット30秒間とし, セット間は10秒間の休息を設けた。

1. 上半身のストレッチング

①前腕と手首のストレッチ

(左右交互に行う)
両手と両膝を地面につけた姿勢をとり、両手の甲を下にして体重をうしろにかける(写真2)。

(前腕の上面がのびる)

②腋下部位と肩の上部のストレッチ(左右交互に行う)

長座位で両手を上にあげ片方の肘をひく(写真3)。

(上背部, 肩甲骨がのびる)

③体側部位のストレッチ(両腕のみ)

長座位で頭の上で両手を交差させ、上にまっすぐ伸ばす(写真4)。

(腕, 肩, 胸部の外側部位の筋肉がのびる)

④コントラクトリラックスストレッチ(左右交互に行う)

長座位で片方の肩を前に出し、肘を持ち、引く(写真5)。

(肩と上腕の外側がのびる)

⑤肩甲骨の引き寄せ(両腕のみ)

長座位で両腕を頭の後ろで組み、肩甲骨を引き寄せるようにして後ろに引く(写真6)。

(胸部および肩前面がのびる)

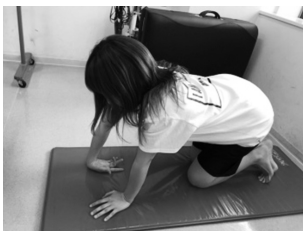


写真2 前腕と手首のストレッチ

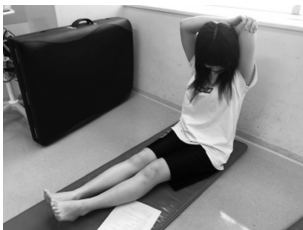


写真3 腋下部位と肩の上部のストレッチ



写真4 体側部位のストレッチ



写真5 コントラクトリラックスストレッチ

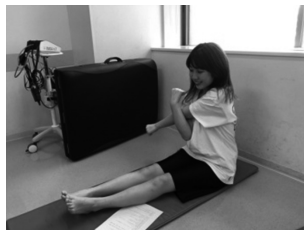


写真6 肩甲骨の引き寄せ

2. 下半身のストレッチング

①股関節のストレッチング

長座位で足を曲げて足の裏同士を合わせ、膝に手を置きゆっくり押す（写真7）。

（股関節がのびる）



写真7 肩甲骨の引き寄せ

②太もものストレッチング(左右の足を片方ずつ変えて行う)

長座位で片脚前屈を行う。両足長座位から一方のひざを折り、上体を伸ばした足の方に上体を倒す（写真8）。

（ハムストリング、腰背部および下腿後面がのびる）



写真8 コントラクトリラックスストレッチング

③大腿四頭筋のストレッチング(左右交互に行う)

片足をまっすぐ前にのばし一方の膝を後ろに向けて折り、上体を後ろにかけて膝を地面につける（写真9）。

（大腿四頭筋がのびる）

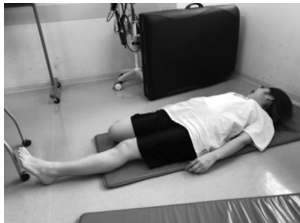


写真9 コントラクトリラックスストレッチング

④腰のストレッチング(左右交互に行う)

仰向けに寝て一方の足を引き寄せて、両手で膝を抱えて胸部までひきつける（写真10）。

（ハムストリングの上部、臀部、股関節がのびる）

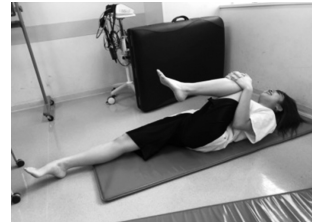
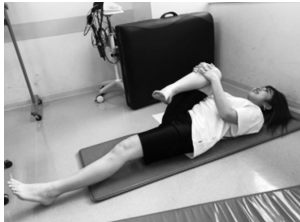


写真10 コントラクトリラックスストレッチング

⑤太もも裏のストレッチング

長座位前屈を行う。両足を伸ばして座り、両腕を前に伸ばして上体を前に倒す（写真11）。

（ハムストリング、腰背部がのびる）



写真11 肩甲骨の引き寄せ

5) 統計処理

上半身および下半身のストレッチングが baPWV に及ぼす影響を検討するために、二元配置の分散分析（対応あり・あり）を用いた。さらに、元来の柔軟性とストレッチングに対する baPWV の反応を検討するために、二元配置の分散分析（対応あり・なし）を用いた。また、二元配置の分散分析の結果、交互作用が認められた場合、Bonferroni 法によって事後検定を行った。表 1 における柔軟性低値群と柔軟性高値群との間の比較には、対応のない t 検定を用いた。すべての数値は、平均 ± 標準誤差で表した。有意水準は、5% 未満とした。

3 結果

表 1 に全被験者および柔軟性の高低で群分けされた各群（柔軟性高値群および柔軟性低値群）の特性を示した（表 1）。二元配置の分散分析の結果、上半身および下半身のストレッチングを行う条件、さらにコントロール条件において、心拍数、血圧および baPWV の変化に交互作用は認められなかった（表 2）。しかしながら、心拍数において、時間の主効果に有意性が認められ、全体として低下する傾向が確認された（ $P < 0.05$ ）。

長座体前屈は、柔軟性低値群と比較して柔軟性高値群において有意に高値を示したが（ $P < 0.05$ ）、年齢、身長、体重、歩数および baPWV には両群間で有意差は認められなかった（表 1）。図 3 は、柔軟性低値群と柔軟性高値群における 3 条件の baPWV の変化を示している。二元配置の分散分析の結果、上半身のストレッチングを実施したとき、柔軟性低値群と柔軟性高値群の間に baPWV の変化に交互作用が認められた（ $P < 0.05$ ）。その後、事後検定を行った結果、有意性は確認されなかった。また下半身をストレッチングする条件およびコントロール条件において、柔軟性高値群と柔軟性低値群との間に有意性は認められなかった。

表 1 全被験者および柔軟性の高低で群分けされた各群の特性

	全体	柔軟性低値群	柔軟性高値群
被験者数（女性の割合%）	15 (47%)	7 (29%)	8 (62.5%)
年齢, yrs	20.9 ± 0.1	21.1 ± 0.1	20.8 ± 0.2
身長, cm	166 ± 2	168 ± 4	165 ± 3
体重, kg	58 ± 3	58 ± 5	59 ± 4
歩数, step/day	9333 ± 1060	8886 ± 1567	9725 ± 1498
長座体前屈, cm	37 ± 3	27 ± 3	45 ± 2*
PWV, cm/s	1061 ± 21	1086 ± 30	1039 ± 28

数値は、平均 ± 標準誤差で表した。baPWV は上腕動脈－背側動脈までの脈波伝播速度（brachial - ankle pulse wave velocity）の略である。* $P < 0.05$ vs 柔軟性低値群

表2 ストレッチングによる心拍数、血圧およびPWVの変化

条件	ストレッチング前	ストレッチング直後	10分後	20分後	30分後	交互作用	時間の主効果	条件の主効果
心拍数, bpm	上半身	74 ± 2	70 ± 2	69 ± 2	69 ± 2	NS	P < 0.05	NS
	下半身	74 ± 3	72 ± 2	73 ± 3	73 ± 3	70 ± 3		NS
	コントロール	72 ± 2	71 ± 3	68 ± 2	67 ± 2	67 ± 2		
上腕収縮期血圧, mmHg	上半身	113 ± 2	114 ± 2	111 ± 2	112 ± 2	113 ± 2	NS	NS
	下半身	112 ± 1	109 ± 1	110 ± 2	111 ± 2	111 ± 2		NS
	コントロール	112 ± 2	108 ± 4	112 ± 2	110 ± 2	111 ± 2		
上腕拡張期血圧, mmHg	上半身	63 ± 2	62 ± 1	63 ± 1	63 ± 1	64 ± 1	NS	NS
	下半身	63 ± 1	60 ± 1	62 ± 1	63 ± 1	62 ± 1		NS
	コントロール	62 ± 1	62 ± 1	64 ± 2	62 ± 1	63 ± 2		
上腕平均血圧, mmHg	上半身	82 ± 2	85 ± 2	83 ± 1	82 ± 2	84 ± 1	NS	NS
	下半身	82 ± 2	80 ± 1	81 ± 2	82 ± 2	81 ± 1		NS
	コントロール	82 ± 2	83 ± 2	82 ± 2	81 ± 2	83 ± 2		
上腕脈圧, mmHg	上半身	50 ± 1	52 ± 2	49 ± 1	49 ± 1	49 ± 1	NS	NS
	下半身	49 ± 1	49 ± 1	48 ± 1	47 ± 1	49 ± 1		NS
	コントロール	49 ± 1	49 ± 1	47 ± 1	48 ± 1	47 ± 1		
脚収縮期血圧, mmHg	上半身	124 ± 3	124 ± 3	123 ± 3	124 ± 3	124 ± 3	NS	NS
	下半身	123 ± 1	118 ± 2	121 ± 2	121 ± 2	122 ± 2		NS
	コントロール	122 ± 2	115 ± 5	125 ± 3	123 ± 2	122 ± 2		
脚拡張期血圧, mmHg	上半身	62 ± 1	62 ± 1	62 ± 1	62 ± 2	62 ± 1	NS	NS
	下半身	60 ± 1	60 ± 1	61 ± 1	61 ± 1	60 ± 1		NS
	コントロール	63 ± 1	62 ± 1	62 ± 2	62 ± 1	62 ± 1		
脚平均血圧, mmHg	上半身	82 ± 2	84 ± 1	82 ± 2	82 ± 2	83 ± 2	NS	NS
	下半身	80 ± 2	81 ± 1	80 ± 1	82 ± 1	79 ± 2		NS
	コントロール	81 ± 1	82 ± 1	83 ± 2	83 ± 1	82 ± 2		
脚脈圧, mmHg	上半身	61 ± 2	63 ± 3	61 ± 2	62 ± 2	62 ± 2	NS	NS
	下半身	62 ± 2	60 ± 2	58 ± 1	60 ± 2	62 ± 2		NS
	コントロール	58 ± 1	60 ± 1	60 ± 1	61 ± 2	60 ± 1		
baPWV, mmHg	上半身	1065 ± 23	1049 ± 25	1048 ± 19	1059 ± 26	1058 ± 25	NS	NS
	下半身	1058 ± 20	1021 ± 25	1034 ± 21	1040 ± 22	1060 ± 32		NS
	コントロール	1059 ± 20	1071 ± 28	1059 ± 25	1045 ± 25	1048 ± 27		

値は平均±標準誤差で表した。baPWVは上腕動脈一背側動脈までの脈波伝播速度 (brachial - ankle pulse wave velocity) の略である。いずれの項目も二元配置の分散分析における有意性は認められなかった。

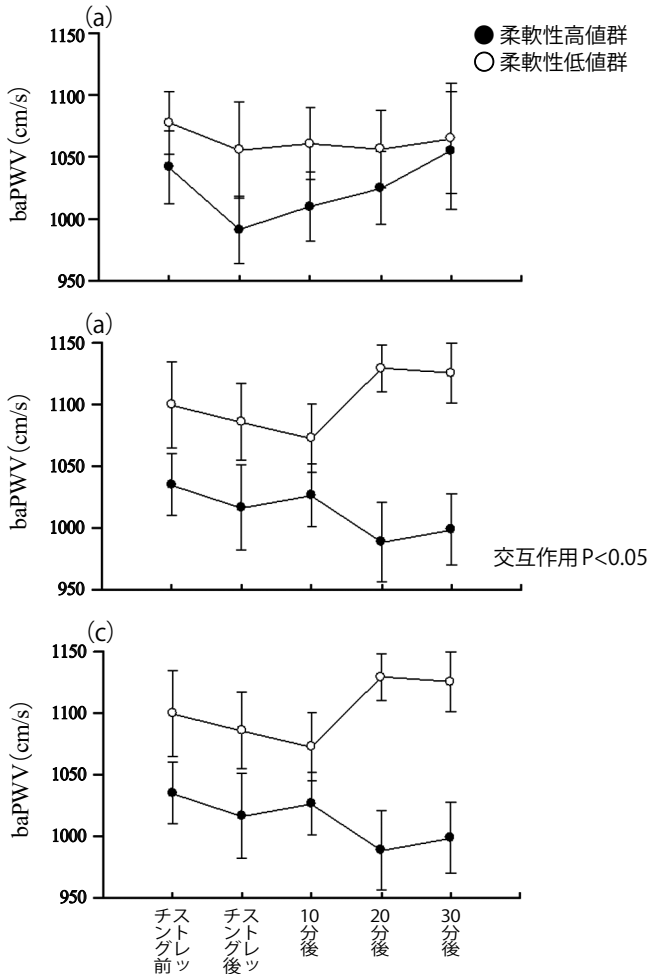


図3 下半身のストレッチングを実施する条件 (a), 上半身のストレッチングを実施する条件 (b) およびコントロール条件 (c) における柔軟性高値群および柔軟性低値群の baPWV の変化

数値は、平均±標準誤差で表した。baPWV は、上腕動脈-足背動脈までの脈波伝播速度 (brachial - ankle pulse wave velocity) の略である。二元配置の分散分析の結果、上半身のストレッチングを実施する条件において、交互作用が認められた。

4 考察

本研究は、ストレッチングする部位の違いが動脈ステイフネス、血圧および心拍数に影響を及ぼす影響を初めて検討した。結果として、上半身および下半身の一過性ストレッチングはいずれも動脈ステイフネスおよび血圧には影響を及ぼさなかったが、心拍数に関しては時間の主効果が認められ、経時的に低下傾向にあった。いずれにしても、スト

ストレッチングする部位の違いは循環器系機能に影響を及ぼさなかった。柔軟性とストレッチングによる動脈ステイフネスの変化との関係については、上半身のストレッチングを行った後、柔軟性低値群の動脈ステイフネスは増加傾向にあった。本研究の結果は、予想通りの結果ではなかったものの、ストレッチングと循環器機能との関連、さらには柔軟性と動脈ステイフネスとの関係に関して新たなエビデンスを与えるものである。

本研究では、上半身および下半身のストレッチングを8種目とし、1セット30秒ずつ実施した。時間については、ストレッチングが一般的に20～30秒を目処に行われていることを根拠とする。しかしながら、この程度のストレッチングでは動脈ステイフネスや血圧に影響を与えるほどではなかった。Yamatoらは、米国スポーツ医学会で推奨されている全身性のストレッチング(10種目)を行ったとき、ストレッチング後15分および30分に動脈ステイフネス(全身および下腿のPWV)が有意に低下することを報告している(15)。この先行研究で用いられたストレッチングは、比較的大きな筋を30秒間伸ばしており、本研究で用いたストレッチングよりも仕事量が大きいと考えられる。したがって、本研究で用いたストレッチングでは、動脈ステイフネスを一過的に変化させるには不十分であったと推測される。すなわち、動脈ステイフネスの改善を目的としたストレッチングを行う場合、本研究で実施したストレッチングの仕事量よりも多くの仕事量が必要であると考えられる。

本研究で用いた動脈ステイフネスの評価法は、上腕(brachial)－足首(ankle)のPWV(baPWV)である。この手法は、我が国で開発されたものであり、すでにその技術は確固たる評価を得ており(18-21)、病院等で導入されている。またこれまでのPWVは頸動脈から大腿動脈の分岐部分までのいわゆる中心動脈を対象部位としていた。事実、この頸動脈(carotid)－大腿動脈分岐部(femoral)のPWV(cfPWV)は循環器疾患の独立した危険因子として認められている(14)。一方で、baPWVはcfPWVも一部反映しており、運動介入研究においてその効果がcfPWVだけでなく、baPWVにも僅かに表れることが報告されている(22)。本研究では、使用した測定機材の制限があったため、cfPWVを評価することができなかった。したがって、本研究においてbaPWVに変化がなかったとしても、cfPWVが変化することを否定するものではない。上半身および下半身のストレッチングが中心動脈のステイフネスに影響を及ぼすかどうかについては、さらなる検討が必要である。

中強度以上の有酸素運動では心拍出量の増加による活動筋への血流量の増大が生じ、シエラストレスが高まるために一酸化窒素がサイクリックGMPを介して血管平滑筋を弛緩させ、血圧や動脈ステイフネスの低下が引き起こされる(23-26)。一方でストレッチングでは、中強度以上の有酸素運動のような心拍数の増大が認められない。実際、本研究においてもストレッチ

ング直後の心拍数は、上半身および下半身条件ともに有意な増大は認められず、コントロール条件と違いはなかった。したがって、ストレッチングのような低強度の運動では、心拍数および一回拍出量の増大に起因する心拍出量の上昇がないため、末梢血管の血流量の促進は認められない。本研究においても同様で、ストレッチング後の心拍数に有意な上昇は認められていないため、心拍出量の上昇による末梢血管の血流量の増大は見込めないと推測される。

一方で、動脈ステイフネスや循環動態は、局所的ストレッチングや阻血のような外部刺激によって対象部位が局所的に変化する。先行研究によると、下腿の受動的ストレッチングが対象部位の動脈ステイフネスを低下させることが報告されている (17)。さらに、大腿および下腿に 200mmHg (収縮期血圧を上回る程度の圧力) で阻血 (4 秒) と開放 (2 秒) を 12 回繰り返す試技を 6 セット実施したとき、この機械的刺激を受けた脚の PWV の低下が確認されている (27)。しかしながら、どちらの先行研究でもこのような局所的な刺激に対して、baPWV もしくは cfPWV に有意な変化は認められていないことから、局所的な刺激では中心動脈や全身性の動脈ステイフネスに影響を及ぼさない可能性がある。このエビデンスを本研究に当てはめてみる。まず上半身のストレッチングにおいては、baPWV の対象部位となる血管付近の筋を刺激できていないと考えられる。また下半身のストレッチングについては、大腿前部およびハムストリングスを伸ばすときにおけるのみ baPWV の対象部位に刺激を与えられている。しかしながら、その 2 種目の刺激自体も 30 秒間だけであり、局所的な刺激としても不十分だと推測できる。これらのことから、本研究のストレッチングでは動脈ステイフネスに変化がなかったと考えられる。

脊髄損傷患者のように、下半身不随になった患者は身体活動が制限される。その結果、一日の消費エネルギーが低くなり、結果的に肥満症、高脂血症、メタボリックシンドロームや糖尿病につながるだけでなく、自律神経機能不全も誘発することから、高血圧、心拍変動異常や不整脈などを介して循環器系疾患による死亡を招来することがわかっている (28)。一方で、脊髄損傷患者を対象にした研究において、横断的検討によって運動習慣と動脈ステイフネスの間に負の相関関係が認められているが (29)、未だに運動介入が動脈ステイフネスを改善することを明確に示したものない。本研究で実施した低強度の運動であるストレッチングがどの程度の動脈ステイフネスを低減できるかを検討することは、運動強度と動脈ステイフネスの関係についてカットオフ値を見極めるの一助になると考えられる。少なくとも本研究で実施した仕事量のストレッチングでは、長期的に実施しても望ましい効果は得られないであろうと推測される。今後は、徐々に強度を高めながら、基準値およびカットオフ値を示していくことが求められるだろう。

本研究では、柔軟性の低い群において、上半身のストレッチング後20～30分に動脈スティフネスが高値を示し、逆に柔軟性の高い群では動脈スティフネスが低値を示した。ストレッチングに対するこの動脈スティフネスの応答の差異は、柔軟性の違いによるストレッチングの機械的刺激的強さが同じ最大伸展位でも異なることを示唆している。事実、動物実験では、ヒラメ筋の伸長によって筋機械受容器を刺激し、圧受容器反射を介して交感神経や血圧を増幅させることが報告されている(30)。したがって、本研究においても柔軟性の高い群と比較して、柔軟性の低い群では筋機械受容器への刺激が強く、結果的に動脈スティフネスの増大を引き起こしたと考えられる。また下半身のストレッチングで同じような現象が起らなかった理由としては、下半身よりも上半身の神経支配が強いことが挙げられる。柔軟性が低い場合、過度なストレッチングは動脈スティフネスの増大を招来する可能性があるため注意が必要である。

本研究では実験を実施するにあたり、いくつかの研究の限界点がある。第一に、実験前の安静時の確保が不十分だった点が挙げられる。被験者である学生の授業の合間に実施することもあり、時間的な制約があった。通常、循環器機能の測定には15分以上の安静時間が必要であるが、本研究ではその時間が少ないため、実験を通じて3条件ともに有意な心拍数の低下が観察された。第二に、食事の影響がある。各被験者はそれぞれ決まった時間帯に日を変えて3条件を実施した。多くの被験者が昼食後3時間以内であったため、消化器官への血流量が増えていることが予想される。その結果、低強度であるストレッチングによる活動筋への血流量が制限されることから、動脈スティフネスの値に影響を及ぼしたと考えられる。第三に、女子における性周期の問題もある。性周期は大きく分けて5つに分類され、動脈スティフネスはそのうち卵胞期と排卵期において低値を示す(31)。本研究では、被験者の時間の制約上、そこまでの実験統制はできていなかった。以上のことをクリアにすれば、一過性のストレッチングが動脈スティフネスに及ぼす影響がより明らかになったと考えられるが、一方で上述したような3つの交絡因子を上回るだけの効果を動脈スティフネスに与えていないという解釈もできる。すなわち、ストレッチングという低強度の運動様式は、そのくらい刺激として弱い、長期的な視野に立って柔軟性と動脈スティフネスの関係をとらえた場合、一歩ずつでも柔軟性を維持・増加することが将来の健康につながると考えられる。

5. 結論

本研究では、上半身と下半身のストレッチングを実施し、一過的に動脈スティフネスの

変化に違いがあるかどうかを明らかにしようとした。結果としては、両条件の間に有意な差は認められなかった。さらに、上半身のストレッチングを行った後、柔軟性の低い群の動脈ステイフネスは増加傾向にあった。本研究の結果は、ストレッチングという低強度の弱い運動刺激は一過的にステイフネスを大きく動かすことないが、柔軟性が低い者にとってはその刺激は比較的強いいため、動脈ステイフネスの増大を招くことを示唆している。

謝辞

本研究にご協力いただいた初等教育専攻・コースの学生の皆さんに感謝申し上げます。

引用文献

- (1) Laurent S, Boutouyrie P, Asmar R et al. Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension* 2001;37:1236-41.
- (2) Blacher J, Guerin AP, Pannier B, Marchais SJ, London GM. Arterial calcifications, arterial stiffness, and cardiovascular risk in end-stage renal disease. *Hypertension* 2001;38:938-42.
- (3) Blacher J, Guerin AP, Pannier B, Marchais SJ, Safar ME, London GM. Impact of aortic stiffness on survival in end-stage renal disease. *Circulation* 1999;99:2434-9.
- (4) Mattace-Raso FU, van der Cammen TJ, Hofman A et al. Arterial stiffness and risk of coronary heart disease and stroke: the Rotterdam Study. *Circulation* 2006;113:657-63.
- (5) Tanaka H, Dinverno FA, Monahan KD, Clevenger CM, DeSouza CA, Seals DR. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation* 2000;102:1270-5.
- (6) Physical activity guidelines for Americans. *Okla Nurse* 2008;53:25.
- (7) 身体活動基準 2013. 厚生労働省 2013.
- (8) Gando Y, Yamamoto K, Murakami H et al. Longer time spent in light physical activity is associated with reduced arterial stiffness in older adults. *Hypertension* 2010;56:540-6.
- (9) Young DR, Hivert MF, Alhassan S et al. Sedentary Behavior and Cardiovascular Morbidity and Mortality: A Science Advisory From the American Heart Association. *Circulation* 2016;134:e262-79.
- (10) Yamamoto K, Kawano H, Gando Y et al. Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening. *American journal of physiology Heart and circulatory physiology* 2009;297:H1314-8.
- (11) Logan JG, Kim SS, Lee M, Byon HD, Yeo S. Effects of Static Stretching Exercise on Lumbar Flexibility and Central Arterial Stiffness. *J Cardiovasc Nurs* 2018;33:322-328.
- (12) 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* 2017;17:586-592.
- (13) Hunter SD, Dhindsa MS, Cunningham E et al. The effect of Bikram yoga on arterial stiffness in young and older adults. *Journal of alternative and complementary medicine* 2013;19:930-4.
- (14) Nishiwaki M, Yonemura H, Kurobe K, Matsumoto N. Four weeks of regular static stretching reduces arterial stiffness in middle-aged men. *Springerplus* 2015;4:555.

- (15) Yamato Y, Hasegawa N, Sato K, Hamaoka T, Ogoh S, Iemitsu M. Acute Effect of Static Stretching Exercise on Arterial Stiffness in Healthy Young Adults. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists* 2016;95:764-70.
- (16) Kingwell BA, Berry KL, Cameron JD, Jennings GL, Dart AM. Arterial compliance increases after moderate-intensity cycling. *The American journal of physiology* 1997;273:H2186-91.
- (17) Yamato Y, Hasegawa N, Fujie S, Ogoh S, Iemitsu M. Acute effect of stretching one leg on regional arterial stiffness in young men. *Eur J Appl Physiol* 2017;117:1227-1232.
- (18) Yamashina A, Tomiyama H, Takeda K et al. Validity, reproducibility, and clinical significance of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement. *Hypertens Res* 2002;25:359-64.
- (19) Tomiyama H, Yamashina A, Arai T et al. Influences of age and gender on results of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement--a survey of 12517 subjects. *Atherosclerosis* 2003;166:303-9.
- (20) Yamashina A, Tomiyama H, Arai T et al. Brachial-ankle pulse wave velocity as a marker of atherosclerotic vascular damage and cardiovascular risk. *Hypertens Res* 2003;26:615-22.
- (21) Munakata M, Ito N, Nunokawa T, Yoshinaga K. Utility of automated brachial ankle pulse wave velocity measurements in hypertensive patients. *Am J Hypertens* 2003;16:653-7.
- (22) Sugawara J, Hayashi K, Yokoi T et al. Brachial-ankle pulse wave velocity: an index of central arterial stiffness? *J Hum Hypertens* 2005;19:401-6.
- (23) Dudzinski DM, Igarashi J, Greif D, Michel T. The regulation and pharmacology of endothelial nitric oxide synthase. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 2006;46:235-76.
- (24) Brecht DS, Snyder SH. Nitric oxide: a physiologic messenger molecule. *Annu Rev Biochem* 1994;63:175-95.
- (25) Anderson TJ. Assessment and treatment of endothelial dysfunction in humans. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:631-8.
- (26) Moncada S, Higgs A. The L-arginine-nitric oxide pathway. *N Engl J Med* 1993;329:2002-12.
- (27) Heffernan KS, Edwards DG, Rossow L, Jae SY, Fernhall B. External mechanical compression reduces regional arterial stiffness. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:735-41.
- (28) Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists* 2007;86:142-52.
- (29) Hubli M, Currie KD, West CR, Gee CM, Krassioukov AV. Physical exercise improves arterial stiffness after spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2014;37:782-5.
- (30) Yamamoto K, Kawada T, Kamiya A et al. Muscle mechanoreflex augments arterial baroreflex-mediated dynamic sympathetic response to carotid sinus pressure. *American journal of physiology Heart and circulatory physiology* 2008;295:H1081-H1089.
- (31) Hayashi K, Miyachi M, Seno N et al. Variations in carotid arterial compliance during the menstrual cycle in young women. *Exp Physiol* 2006;91:465-72.