

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：32678

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650333

研究課題名(和文) ストレッチングが高齢者の動脈エラスタンスに与える影響：超音波装置による無侵襲計測

研究課題名(英文) The effect of stretching on effective aortic elastance in elderly people:  
noninvasive evaluation using ultrasonography

研究代表者

仁木 清美 (Niki, Kiyomi)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：40218095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：ストレッチングは運動強度が高くないため、主に準備運動として扱われているが、交感神経活動抑制効果があり、心臓の後負荷軽減効果が期待される。特に血管ステイフネスが増加した高齢者には有用な運動と考えられるが後負荷を実際に計測している報告はない。実効大動脈エラスタンス(Ea)は末梢血管抵抗と動脈のステイフネスを統合したもので、後負荷評価に有用な指標である。本研究ではEaを非侵襲的に計測し、高齢者におけるストレッチングが後負荷に及ぼす効果を評価した。その結果、日常運動量が少ない中高年においてEaの改善を認めた。以上より運動量の少ない高齢者には積極的にストレッチング療法を行うことが有用である。

研究成果の概要(英文)：Stretching is used to be considered as warming-up exercise. However, it is reported that stretching restrains sympathetic activity and has potential to decrease afterload on the heart. Afterload reduction is more beneficial to elderly whose elasticity of aorta is increased. However, there are few papers which measured afterload directly. Effective arterial elastance (Ea), is an integrated parameter of arterial resistance and compliance. By using ultrasonic methods, we measured noninvasively Ea before and after stretching for two month and evaluated the effect of stretching on Ea. After stretching program, Ea was reduced in the elderly group whose daily activity was low. We concluded that act of promoting stretching is required to elderly who cannot do daily exercise.

研究分野：循環器医学および超音波計測

キーワード：実行大動脈エラスタンス ストレッチング 高齢者 超音波計測 wave intensity

## 1. 研究開始当初の背景

近年の高齢化社会においては、高齢者のQOLを改善するため、様々な運動療法が提唱されている。ストレッチングは運動能力の向上、関節可動域拡大をもたらし、高齢者の転倒予防、QOLの改善によいとされている。特に静的ストレッチングは心拍数や血圧には大きな影響を与えることがなく、高齢者でも比較的安全に行うことができる。しかしこのことは逆に運動療法の点からみると負荷としては少ないとみなされ、循環器疾患におけるリハビリや運動療法ではおもに準備運動の一部として位置づけられている。一方、近年ストレッチングには交感神経活動抑制効果があることが報告されている (*Farinatti PT et al. J Strength Cond Res 2011 Jun;25(6):1579-85.*)。このことはストレッチングには後負荷軽減効果があることを示唆するが、後負荷を実際に計測している報告はない。

後負荷の指標のなかで、実効大動脈エラストランス (Ea) は末梢血管抵抗と動脈のスティッフネスを統合したもので、心機能との関連をみるのに有用な指標である (*Sunagawa K et al. Circ Res 1985;56: 586-595.*)。この値は

$$Ea = ESP / SV \quad Eq (1)$$

(SV:一回心拍出量, ESP:大動脈収縮末期圧)と定義できる。ESPはカテーテルにより計測する必要があるため非侵襲的に得ることは難しい。

我々はいままで、血管系と干渉している心臓の動作状態を解析する wave intensity を研究してきた (*Niki K et al. Heart vessels 2002;17:12-21, Sugawara M, Niki K et al. Med Biol Eng Comput 2009;47, 197-206.*)。Wave intensity の計測には、血圧情報を得るための侵襲的検査が必要であったが、我々は超音波装置を用いて非侵襲的に wave intensity を得るシステムを完成した。この装置には、非侵襲的に血圧波形を得るシステムが組み込まれており、この手法を用いれば、従来はカテ

ーテル検査を行わなければ得られなかった Ea を非侵襲的に計測できる。

## 2. 研究の目的

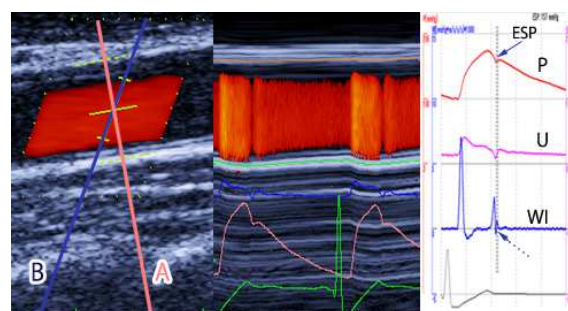
本研究の目的は Ea を非侵襲的に計測する方法を確立し、高齢者におけるストレッチングが後負荷に及ぼす効果を評価することである。

## 3. 研究の方法

(1) 超音波装置による非侵襲的実効大動脈エラストランス(Ea)計測

Ea は式 Eq より計算される。ESP は頸動脈 wave intensity(WI)を計測するために開発されたエコートラッキングとカラードプラの複合システム (アロカ社 SSD5500 に搭載) を用いて行う。この装置を用いて総頸動脈の直径変化と血流速度を同時計測している様子を図 1 に示す。図左側パネルの B-Mode 画面上に総頸動脈の長軸断面像が写され、エコートラッキングにより直径を測定するための超音波ビーム(A)の方向とカラードプラにより流速を測定するための超音波ビーム(B)の方向が示されている。エコートラッキングポイントとカラードプラによる流速測定範囲をそれぞれ設定することにより、自動的にエコートラッキングによる位置の計測と断面平均血流速度(U)の計測が開始される。そして近位と遠位の血管の位置の差から計算された血管径変化と、断面平均血流速度が図中央パネルの M-mode 画面上に表示される。計測されたデータは指定した時間で装置内のハードディスクに取り込まれる。この時、上腕動脈の血圧を自動血圧計で計測し、圧情報と

図 1



して入力すると血管径変化波形が較正され  
 血圧波形 (P)として取り込まれる。WI は血圧  
 と 血 流 速 度 の 時 間 微 分 の 積  
 ( $WI=(dP/dt)(dU/dt)$ ) で定義され、取り込ん  
 だデータより WI を計算する。このようにし  
 て得られた WI 波形を図右パネルに示す。右  
 パネル上段は血管径変化波形から得られた  
 血圧波形(P), 中段は流速波形(U), 下段は計  
 算された WI 波形を示す。血圧波形上に認め  
 る *dicrotic notch* の圧が ESP となる。

ESP は自動検出できるようにする。ESP は  
 圧波形の変局点であるが、前後で複雑な波形  
 の変化があったり、不明瞭であるな検出が難  
 しい時がある。そこで ESP の時相は WI の第 2  
 のピークが 0 になる時点 (図 1 右パネル破線  
 矢印) と一致することを利用し、この点を自  
 動的に検出するソフトを開発する。ソフト開  
 発は菅原が担当する。

一回心拍出量(SV)は、心エコーにより計測  
 する (図 2)。まず左室長軸画像において左室  
 流出路 (D) を計測し、さらに心尖部二腔  
 像で流出路の血流速度を計測し、その時間積  
 分値 (TVI) を用いて以下の式で計算する。

$$SV=\pi(D/2)^2 \times TVI$$

左室流出路は 2 乗するため、計測誤差によ  
 る値のばらつきが大きい。そのため、ズーム  
 機能で拡大して計測することが必要である。

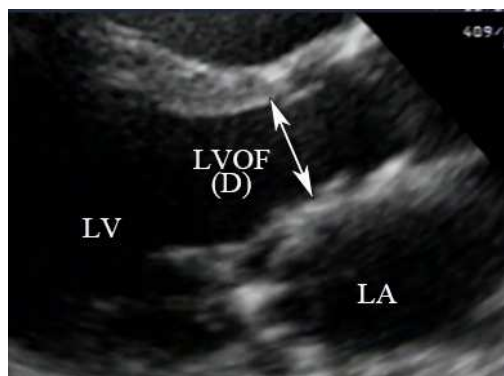
計測は 27°C に設定した部屋において 15 分  
 以上の安静を保った後に行う。計測前に 6 分  
 間の安静時心電図を計測しパワースペクト  
 ル解析による自律神経機能を検査した。

## (2) ストレッチングのプロトコル

ストレッチング療法は、ウォーミングアッ  
 プ (約 3 分), 静的ストレッチング (約 10 分),  
 動的ストレッチング (約 5 分), クール  
 ダウン (約 5 分) の 4 過程で行う。運動対応  
 能は個人により異なるため、あらかじめ運動  
 プロトコルを決めてビデオに撮影する。

静的ストレッチングは頸部から肩、腕から  
 胸、腹部、背部、股関節、大腿四頭筋、ハム

図 2



ストリング, 内転筋群, 外転筋群, ふくらは  
 ぎに関して各々 1 分ずつのメニューを作成  
 する。動的ストレッチングは伸長する筋群を  
 選び、拮抗する筋群を能動的に収縮させその  
 ままストレッチ姿勢を 1-2 秒維持してから  
 ストレッチを止める動作を 5 回繰り返す。ク  
 ールダウンは臥位になり手足を揺らして筋  
 肉の緊張をとり、5 回深呼吸を行ったのち 3  
 分間そのまま安静に保ち。その後側臥位から  
 座位になり終了とする。初回の検査におい  
 てストレッチ終了後、心拍数、血圧に 20% 以  
 上の変動が見られたものは過剰負荷と考  
 え、ストレッチング時間を短縮する。

## (3) 計測プロトコル

初回検査時は全例で安静時の  $E_a$  の計測  
 を行う。その後無作為に 2 群に分け、自宅  
 でのストレッチング施行群と非施行群とし  
 て 2 か月後に再度  $E_a$  の検査を行う。ス  
 トレッチング施行群ではその間、自宅  
 で週 5 回、1 日 1 回撮影したビデオに合  
 わせてストレッチングを施行していただ  
 く。あらかじめストレッチング前後の血  
 圧、脈拍、動悸、息切れ等の症状チェッ  
 ク項目を記載した経過記録用紙を渡して  
 、ストレッチング施行前後に記載し心拍  
 数、血圧に 20% 以上の変動がある場合  
 や症状を認めた場合は連絡していただき  
 、ストレッチング内容を変更する等の検  
 討を行う。また、計測前に 6 分間の心  
 拍計測を行い、パワースペクトラム分  
 析による、自律神経機能検査を行った。

本研究は当大学の倫理委員会です承された。また、研究の実施にあたり、被検者から書面にてインフォームドコンセントを得た。

#### 4. 研究成果

##### (1) 研究のおもな結果

##### ①実効大動脈エラストランス (Ea) の検討

ストレッチ施行群 20 例 (平均年齢 54±20 歳), 非施行群 20 例 (平均年齢 41±21 歳) で計測を行った。計測結果を表に示す。

	ストレッチ施行群		ストレッチ非施行群	
	ストレッチ前	ストレッチ後	コントロール	2か月後
n	20	20	20	20
Ea[mmHg/ml]	1.58±0.44	1.59±0.45	1.40±0.31	1.31±0.25
ESP[mmHg]	103±19	101±12	96±10	96±12
SV[ml]	69±16	67±16	71±13	73±9
CO[l/min]	4.3±0.89	4.12±1.31	4.3±0.86	4.5±0.74
HR[bpm]	63±9	61±8	61±8	62±8
age[years]	54±20		41±21	
height	1.63±0.1		1.67±0.08	
BSA	1.63±0.18		1.71±0.15	

ストレッチ施行群と非施行群間の年齢に有意差を認めたが、Ea, 心拍数, 身長, BSA に有意差は認めなかった。40 例における年齢と Ea, 身長と Ea 値の相関関係を図に示すがいずれも有意な相関を認めなかった (それぞれ  $r = 0.28, p=0.06, r=0.24, p=0.06$ ) (図 3)。しかし、どちらも相関関係を認める傾向にあるため、年齢を 50 歳前後の 2 グループに分けて Ea と身長の相関を調べたところ、50 歳前の若年群において身長と Ea の間により高い相関関係を認めたが、有意ではなかった ( $r = 0.47, p=0.06,$ ) (図 4)。50 歳以上の高齢群では相関関係は認めなかった ( $r=0.14, p=0.52$ )。全例において運動習慣のある群と習慣のない群に分けたところ、運動していない群においては運動している群に比べて Ea は有意に高値であった (図 5.  $p<0.05$ )。2 か月後のストレッチ施行群と非施行群では Ea に有意差を認めなかったが (表参照), 運動習慣のない群においてストレッチ前後の Ea の低下を認めた (図 6,  $p<0.05$ )。

##### ②心拍変動とストレッチ

まず、コントロール安静時における心拍変動を検討したところ、LF, HF とともに年齢と負の相関を認めたが(それぞれ  $y=-54.8x+5433, r = 0.52, p<0.005, y=-8.5x+738, r=0.55,$

図 3

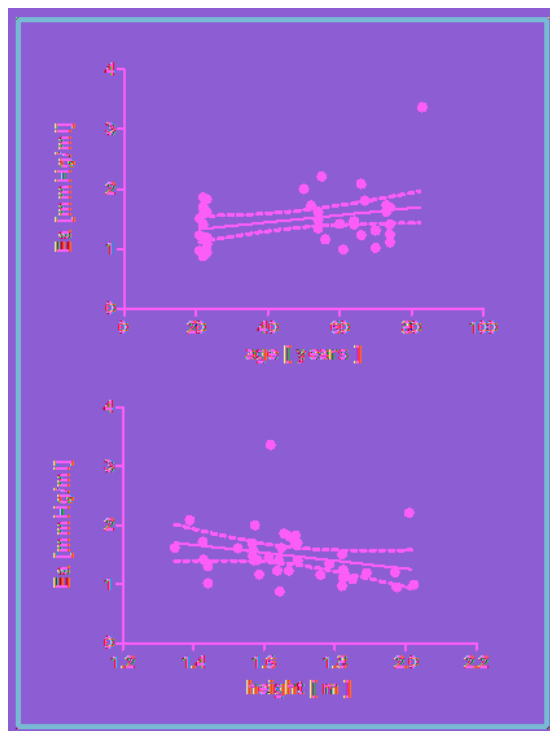


図 4

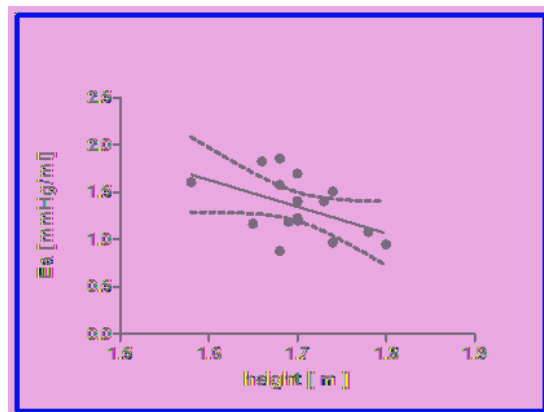
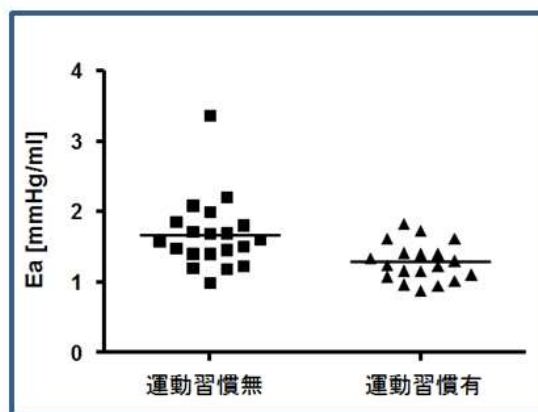


図 5



$p<0.005$ ) (図 7), LF/HF は年齢との相関を認めなかった。ストレッチ前後で LF, HF, LF/HF

に有意な変化は認めなかった。

### (3) 計測ソフトの開発

#### ①ESP 計測ソフトの作成

WI 計測ソフトにおいて  $W_2=0$  となる点は  $dU/dt=0$  となる点であるため、保存されたテキストデータより  $dU/dt=0$  となる点を検出し、その時相での圧データを自動計測し、解析画面上に示すようにした。

#### ②心電図 RR 間隔変動のスペクトル解析ソフトの作成

最大エントロピー法を用いたスペクトル解析ソフトを作成した。

### (2) 考察

#### ①Ea 計測における国内外での位置づけとインパクト

Ea は日本の研究者により提唱された指標であり、種々の研究がおこなわれてきた。しかしその多くはカテーテルを用いた侵襲的研究であり、おもに動物が用いられた。上腕動脈の血圧から推測して Ea を非侵襲的に計算する手法は報告されているが、超音波装置による非侵襲的な ESP 計測は我々の開発したシステムが唯一である。今回の研究により計測システムはほぼ完成し、正常値も得ることができた。今後は高血圧等の心臓血管疾患の早期発見への応用をめざしたい。

#### ②本研究の意義

今回の検討では運動習慣の有無で Ea の値が異なることが示された。Ea は末梢血管抵抗と血管スティッフネスを統合した後負荷の指標であるが、身長と負の相関があることが報告されている。これは低身長の方が、反射波が早く心臓に到達するため ESP を上げるためと考えられている。本研究では若年で身長との負の相関を認めたが、高齢者では相関がなかった。高齢者では血管スティッフネスの年齢依存性が高くなるためだと考えられるがこの点に関しては今後の検討を要する。本研究により Ea が運動習慣に依存し、さらに運動習慣のない高齢者にストレッチ

図 6

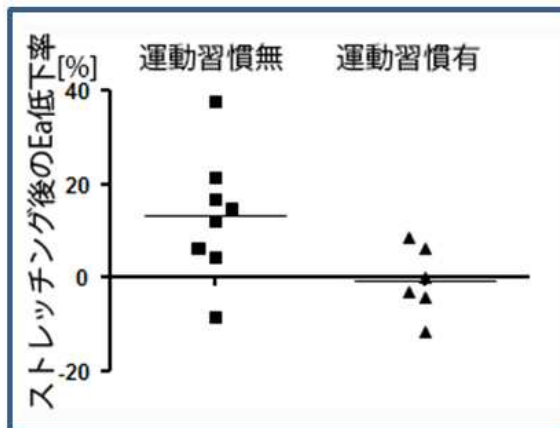
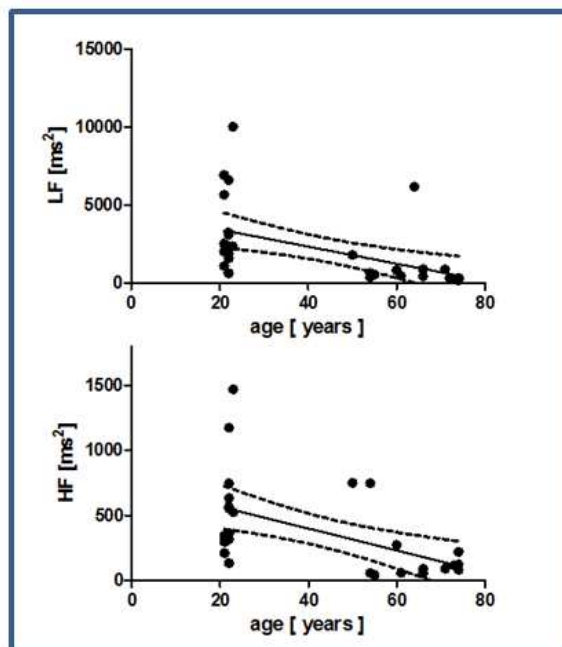


図 7



ングの効果があることが示された。今後は高齢者におけるストレッチングの効果をさらに検討し、ストレッチングを日常生活に取り入れることの必要性を示し、啓蒙活動を広めていきたいと考える。

#### ③計測システムの評価、問題点

今回の研究でシステムを完成させたが、計測時間の問題が残った。ESP 計測はそれほど時間がかからないが、一回心拍量計測のための流出路血流計測が最も時間を要した。高齢者で検査を行う場合、30分以内に抑える必要があるが、今回の計測では1回あたり約1時間を要した。そのため、安静が保てなく



なり，血圧の変動が大きくなった．また，Ea 計算において最もばらつきが大きかったのは一回心拍出量の値であった．心拍出量計算のためには流出経路を用いて面積計算するため，計測誤差が2乗されることになり誤差の原因となる．今後はさらに計測時間の短縮を目指して計測システムの改善を行う予定である．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

1. M.Tanaka, M.Sugawara, K.Niki 他4名7番目. Noninvasive evaluation of left ventricular force-frequency relationships by measuring carotid arterial wave intensity during exercise stress. J Med Ultrasonics (2015)45:65-70(査読有)

DOI 10.1007/s10396-014-0554-8

2. 田中みどり, 菅原基晃, 仁木清美 他3名5番目. 中等強度の定期的有酸素運動が動脈の硬さに与える効果—圧力—ひずみ弾性率(Ep)とスティッフネス・パラメータ (B) の超音波測定による評価—心臓(2015);

147:157-164 (査読有) <http://www.jhf.or.jp/shinzo/backnumber/data/2015/02.html>

3. M.Tanaka, M.Sugawara, K.Niki 他3名5番目. Intermittent, moderate-intensity aerobic exercise for only eight weeks reduces arterial stiffness: evaluation by measurement of stiffness parameter and pressure-strain elastic modulus by use of ultrasonic echo tracking J Med Ultrasonics(2013) 40:119-124(査読有)

DOI 10.1007/s10396-012-0408-1

〔学会発表〕(計21件)

1. K.niki, M. Sugawara et al. Assessment of ventriculo-arterial Interactions early after cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure.第79回日本循環器学会 2015年4月26日大阪国際会議場

(大阪)

2. 仁木清美, 金井俊他. スペックルトラッキング法を用いた頸動脈血管径変化量計測. 第87回日本超音波医学会 2014年5月10日パシフィコ横浜 (横浜)

3. K.niki, M.Sugawara et al. Relationships between Severity in Chronic Mitral Regurgitation and Arterial Stiffness. 第78回日本循環器学会 2014年3月23日東京国際フォーラム (東京)

4. 仁木清美, 菅原基晃他. Arteriosclerosis と後負荷: 血管スティッフネスと実効大動脈エラストランスによる評価第86回日本超音波医学会 2013年5月25日グランキューブ大阪 (大阪)

5. 小林幸史, 仁木清美, 菅原基晃他. スペックルトラッキング法を用いた血管弾性計測の評価および検討. 日本超音波医学会第25関東甲信越地方会学術集 2013年11月19日ビッグサイト TFT ホール (東京)

6. 仁木清美, 菅原基晃他. 僧房弁閉鎖不全症に対する Arterio-ventricular coupling の影響: wave intensity と effective arterial elastance 計測による検討. 第23回日本心エコー学会 2012年4月20日大阪国際会議場 (大阪)

〔その他〕

ホームページ <http://niki-lab.jimdo.com/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

仁木清美 (NIKI Kiyomi)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号: 40218095

(2)研究分担者

菅原基晃 (SUGAWARA Motoaki)

姫路獨協大学・医療保健学部・名誉教授

研究者番号: 60010914

(3)連携研究者 なし