中高齢者における身体活動が動脈系コンプライアンス および収縮期血圧に及ぼす影響

田辺 匠¹⁾ 前田 清司^{2,3)} 菅原 順⁴⁾ 大槻 毅¹⁾
 柿山 哲治⁵⁾ 横山 典子³⁾ 宮内 卓⁶⁾ 久野 譜也²⁾
 鯨坂 隆一²⁾ 松田 光生²⁾

Effect of physical activity on central arterial compliance and systolic blood pressure in middle and elderly humans

Takumi Tanabe¹, Seiji Maeda^{2,3}, Jun Sugawara⁴, Takeshi Otsuki¹,
 Tetsuji Kakiyama⁵, Noriko Yokoyama³, Takashi Miyauchi⁶
 Shinya Kuno², Ryuichi Ajisaka² and Mitsuo Matsuda²

Abstract

The distensibility of the arterial wall progressively decreases with age, and the aging of the arterial wall may be responsible for the decrease of central arterial compliance and the consequent rise of systolic blood pressure (SBP) in the elderly. We hypothesized that an increase in daily physical activity (DPA) might have a favorable effect on systemic arterial compliance (SAC: an index of central arterial compliance) and lower SBP in the elderly. We therefore investigated relationships among DPA, SAC and SBP cross-sectionally in 92 middle-aged and elderly individuals (30 males, 62 females; aged 64 ± 8 years, mean $\pm$ SD). DPA was estimated by using an accelerometer as expended

- 1) 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 - 2) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 - 3) 筑波大学先端学際領域研究センター
〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 - 4) 産業技術総合研究所
〒305-8586 茨城県つくば市東 1-1-1
 - 5) 九州保健福祉大学
〒882-8508 宮崎県延岡市吉野町 1714-1
 - 6) 筑波大学臨床医学系
〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 連絡先 松田光生

1. *Doctoral program of Health and Sport Sciences University of Tsukuba*
1-1-1, Tennodai, Tsukuba city, Ibaraki 305-8574
 2. *Institute of Health and Sport Sciences University of Tsukuba*
1-1-1, Tennodai, Tsukuba city, Ibaraki 305-8574
 3. *Center of Tsukuba Advanced Research Alliance University of Tsukuba*
1-1-1, Tennodai, Tsukuba city, Ibaraki 305-8577
 4. *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*
1-1-1, Higashi Tsukuba city, Ibaraki 305-8586
 5. *Kyushu University of Health and Welfare*
1714-1 Yoshinotyo, Nobeoka city, Miyazaki 882-8508
 6. *Institute of Clinical Medicine University of Tsukuba*
1-1-1, Tennodai, Tsukuba city, Ibaraki 305-8575
- Corresponding author m-matsuda@taiiku.tsukuba.ac.jp

calories. SAC was calculated from the finger pulse pressure waveform recorded by using a Portapres and the stroke volume obtained from the same pressure waveform based on the volume-clamp method. Preliminarily in 37 subjects (17 male, 20 females; aged 25–97 years), we confirmed a significant negative correlation between the simultaneously measured SAC and aortic pulse wave velocity ($r=-0.68$, $p<0.0001$). Correlation analysis and path analysis applied to the hypothetical model demonstrated that SBP was directly affected by both DPA and the SAC which decreased with age, and that DPA had an increasing effect on SAC, i.e. DPA might have a suppressive effect on the rise of SBP not only directly but also indirectly through SAC. These results suggest that an increased level of daily physical activity could improve the age-dependent decrease of central arterial compliance and the rise of systolic blood pressure in middle-aged and elderly humans.

Key words : aging, daily physical activity, aortic distensibility, isolated systolic hypertension

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 49: 135-146, March, 2004)

キーワード：加齢，日常身体活動量，動脈伸展性，
収縮期高血圧

I 緒 言

大動脈および大動脈に連なる比較的太い動脈（中心動脈）は，心拍動に伴う動脈圧の変動を緩和し，間欠的な血液の流れを平滑化する機能（ウィンドケッセル機能）を有している．中心動脈の伸展性が低下すると，ウィンドケッセル機能が十分に発揮されず，収縮期血圧（SBP）が上昇して左室後負荷が増大する．動脈伸展性の低下は，一般に加齢とともに進行するので，高齢者で有病率が高い収縮期高血圧症の主要な発症要因になっていると考えられる．実際に，Framingham studyでは，加齢とともに動脈壁の伸展性が低下し，収縮期高血圧症の罹患率が増加することが示されており（Kannel et al., 1981），しかも近年報告された長期間の追跡調査の成績（Sagie et al., 1993）では，比較的軽症の収縮期高血圧症患者でも，血圧正常者と比較して心血管疾患の罹患率が1.47倍，脳卒中が1.42倍高かったとされている．

一方で，身体活動は，動脈伸展性を増大させる効果を有する可能性を示す報告がなされている．吉村ほか（1978）は，マラソン大会に出場した中高年男性の大動脈脈波速度は，一般健常人と比較

して10歳程度若い年齢に相当する値を示すことを報告した．また，Kakiyama et al.（1998a）の報告では，大動脈脈波速度は加齢とともに速くなるが，身体活動量の多い健常男性では同年齢の健常男性と比較して大動脈脈波速度が遅いことが示された．大動脈脈波速度は動脈伸展性が低いほど速くなるので，これらの報告は，身体活動量が多いと，加齢に伴う動脈伸展性の低下が抑制されていることを示唆する．また，柿山ほか（1998b）による危険因子保有者を含む多数の男性における多変量解析を用いた検討でも，身体活動量が多いほど大動脈脈波速度が遅いことが示された．しかも，身体活動量と収縮期血圧との間には有意の関連が認められ，この関連は主に身体活動の大動脈脈波速度への影響を介した効果によるものであるという可能性も示された．すなわち，身体活動は加齢現象としての動脈伸展性の低下を抑制し，そのことによって収縮期血圧の上昇を抑制する効果を持つ可能性を示唆する成績が示されている．

最近になって，Tanaka et al.（2000）も若齢から中高齢にわたる男性で動脈伸展性（中枢動脈のコンプライアンス）を測定し，習慣的なトレーニングを行っていない男性と比較して，高度の持久性トレーニングを継続している男性の動脈伸展性が大きいことを報告した．この報告では，レクリエーション程度の運動を行っている群と，習慣的

なトレーニングを行っていない群の間では、動脈伸展性に有意な差は認められていない。一方、Kakiyama et al. (1998a) の報告では、レクリエーションとしての運動などを行っている活動的な人の動脈伸展性も、市民マラソンに参加するなどの高度の運動を継続している人に比べれば低値だが、静的な生活をしている人より有意に大きな値であることが示されている。ただし、いずれの報告でも、一般の人を静的と活動的とに分けた基準は聞き取り調査に基づいている。聞き取り調査や質問紙法のような主観的な評価によらず、身体活動量を客観的に測定して動脈伸展性との関連を検討した報告は、我々の知る限りなされていない。したがって、通常の日常生活における身体活動が加齢にともなう動脈伸展性の低下を抑制する効果を持つか否かについては、なお検討の余地がある。

本研究は、仕事やレクリエーションとしての運動などを含む日常の身体活動を増加させることは、加齢に伴う動脈伸展性の低下を抑制することを通じて、収縮期高血圧症の発症に抑制的な影響を及ぼすという仮説のもとに、とくに高度の運動トレーニングを行っていない一般の中高齢者を対象にして、客観的に評価した身体活動量と動脈伸展性および収縮期血圧との関連を横断的に検討することを目的にした。なお、先行研究では対象者を男性に限ったものが多いが、女性では閉経後に循環器系疾患の罹患率が急増することから、女性に関する検討は意義深い。そこで、本研究では閉経後の女性を対象として検討を行った。

II 方 法

1. 対象者

研究1：本研究では、動脈伸展性を評価するために、従来の方法とは異なり、指先で記録した血圧波形を用いて動脈系コンプライアンス (systemic arterial complians : SAC) を算出する方法を用いた。したがって、まずSACの動脈伸展性の評価指標としての妥当性を検討するために、25—97歳 (61 ± 23 歳：平均値 $\pm$ 標準偏差) にわたる37名 (男性：17名、女性：20名) を対象者

として、従来から用いられている動脈伸展性の指標である大動脈脈波速度とSACとの比較を行った。対象者のうち5名は動脈硬化危険因子 (高脂血症、耐糖能異常、高血圧) を有していた。高度の運動トレーニングを継続している者、降圧剤ないし血管作動性の薬物、および煙草は動脈伸展性に影響する可能性があるため (Kool et al., 1993)、服薬および喫煙者は本対象から除外した。

研究2：次に、SACと年齢、身体活動量および収縮期血圧 (Systolic Blood Pressure : SBP) との関連性を検討した。対象者は、収縮期高血圧症 ($SBP \geq 140\text{mmHg}$) 以外に心及び脳血管疾患の危険因子 (以下、危険因子と記述) を持たない46—81歳 (64.8 ± 8.4 歳) にわたる中高齢女性90名 (健常者：77名、収縮期高血圧症者：13名) で、動脈伸展性が女性ホルモンの影響を受けるため (Stefanadis et al., 1999)、閉経者のみを対象とした。月経の有無はアンケートにより確認した。危険因子の異常値は、総コレステロール (Total cholesterol : TC) $\geq 220\text{mg/dl}$, HDL-コレステロール (high density lipoprotein-cholesterol : HDL-C) $< 40\text{mg/dl}$, トリグリセリド (triglycerid : TG) $\geq 150\text{mg/dl}$, 空腹時血糖 (fasting blood sugar : FBS) $\geq 110\text{mg/dl}$, 拡張期血圧 (diastolic blood pressure) $\geq 90\text{mmHg}$ として、後述する血圧測定と血液検査において異常値を示さなかったものを対象者とした。13名の収縮期高血圧症者 (収縮期血圧：140—170mmHg) を含め、この研究の対象者にも、習慣的な服薬をしている者、および喫煙習慣のある者は含まれていない。本研究の対象者全員に研究の目的および測定内容を説明し、書面にて参加の同意を得た。また、本研究はヘルシンキ宣言に則って遂行された。

2. 測定項目

- 1) 収縮期及び拡張期血圧 (Systolic and diastolic blood pressure : SBP, DBP)

本研究では血圧の測定装置として非侵襲的血圧波形測定装置であるPortapres (TNO-TPD : Biomedical Instrumentation 社製) および解析プログラム (Beatscope) を用いた。Portapresお

Fig. 1 Area method for measuring systemic arterial compliance

Q_{in} : Rate of flow into central arterial system from ventricle. Q_{out} : Rate of flow from central arterial system into peripheral system. SAC: Systemic arterial compliance. V: Volume of central arterial system. P: Pressure of central arterial system. SV: Stroke volume. A_s : Area of systolic pressure waveform. A_d : Area of diastolic pressure waveform

よびBeatscopeは、血圧と心一回拍出量を経時的にモニタリングするために新しく開発されたシステムで、血流の変動により指先に生じる微小体積変化をvolume-clamp法により血圧波形に変換し、さらに得られた血圧波形は年齢別の伝達関数を用いて上腕動脈における血圧波形と血圧値に補正される(Bos et al., 1996; Gizdulich et al., 1996; Stergiopoulos et al., 1998)。

血圧波形の記録は30分の十分な座位安静の後、そのままの姿勢で指先に装着したPORTAPRESのカフより1分間の血圧波形を連続的に測定した。指先の位置(高さ)の補正は、付属するheight correction systemにより自動的に行われる。収縮期及び拡張期血圧は波形が安定している5拍の平均値とした。測定時の室温は25度に調節した。

2) 動脈系コンプライアンス(Systemic Arterial Compliance : SAC)

上記のシステムでは、補正された血圧波形からpulse-contour法を基礎にしたmodelflowにて一

回拍出量も推定される(Wesseling et al., 1993; Houtman et al., 1998)。得られた心拍出量の値とそれに対応する血圧波形を用いて、Liu et al. (1986)の示したarea-method法によりSACを算出し、動脈伸展性の指標とした。この方法では、血圧波形をdicotic knochにより心臓収縮期と心臓拡張期に分離し、心臓拡張期における血圧変化量と推定される血液流出量からSACを算出する(Fig. 1)。算出に用いた血圧波形は収縮期血圧の測定に用いた連続5拍の波形を用い、5拍の平均値を測定値とした。

3) 大動脈脈波速度(Aortic Pulse Wave Velocity : APWV)

本研究で測定したSACの妥当性を評価するために、従来から一般的に動脈伸展性の評価法として用いられている大動脈脈波速度法(長谷川, 1987a)と比較した。APWVの測定は、大動脈脈波速度計(フクダ電子社製PWV-200)を用い、安静仰臥位にて軽度の呼吸停止下にて行った。SACの測定を同時に行った。APWVは心電図、

Fig. 2 Model of path diagram for SBP

SBP; systolic blood pressure, SAC; systemic arterial compliance, TC; total cholesterol, HDL-C; high density lipoprotein cholesterol, TG; triglycerid, FBS; fasting blood sugar, DPA; dairy physical activity, F1; Life-style related diseases factor

心音図，頸動脈波，股動脈波の同時記録から求まる大動脈弁口部から股動脈までの脈波伝播時間と，あらかじめ入力した第2肋間胸骨右縁と股動脈波記録部位までの距離（D）から自動的に算出される．心音図は胸骨左縁第2肋間に心音マイクロフォン（フクダ電子社製 MA-240）を置き，頸動脈波は左頸動脈に頸動脈波トランスデューサー（フクダ電子社製 TY-307）を軽く圧着して，股動脈波は左股動脈の拍動部にアモルファス脈波トランスデューサー（フクダ電子社製 TY-501A）を付着させて記録した．大動脈弁口部から股動脈までの脈波伝播時間（T）は，頸動脈波と股動脈波の急峻な立ち上がりの時間差（t）と心音の第2音の開始から頸動脈切痕までの時間差（tc）から， $T = (t + tc)$ とした．動脈波の伝播距離は実測できないので，近似的に $1.3 \times D$ とした伝播距離（吉村ほか，1976）を求め，伝播時間で除した値を APWV として算出した．記録は連続した5拍のうち3心拍分の安定した脈波波形および近似した APWV の値が得られるまで繰り返し，その3心拍分の平均値を測定値とした．4心拍分以上の値が近似した場合は，最大値と最小値を除く3心拍分の平均値を求めた．

4) 身体活動量

身体活動量は，多メモリー加速度センサー付歩数計（Lifecorde：スズケン社製）を用いて評価した．この装置では，検出された加速度と身長，体重，年齢のデータから4秒毎の身体活動量を推定式により算出する．この歩数計では微小な運動から比較的強度の高い運動の消費カロリーまで分別して評価することが可能であり，推定される消費カロリーの妥当性は二重標識水法や呼気ガス分析法等の他の測定法との比較により検証されている（田中ほか，2000；Bassett et al., 2000）．また，原田ほか（2001）は，二重標識水法と妥当性が得られている Flex HR 法（Spurr et al., 1988）を用いて，24時間記録した値の妥当性を検証している．

Lifecorder の装着は，連続した2週間とした．その間，被験者は睡眠中および Lifecorder が浸水する可能性のある活動（水泳，入浴）中以外の全ての時間帯に装着した．同時期に，主な身体活動については日記に記載するように依頼した．装着の開始時には通常とは異なる身体活動を行う可能性もありうると考え，身体活動量の評価は着用4日目以降の連続した1週間分について行い，1日当たりの平均値を平均活動量とした．活動日記に

Lifecorderの装着忘れの記載があった場合、あるいは記録上に明らかな異常値（活動量が0など）が認められた場合には、前後の記録から曜日が同一になる日を選んで算定した値を用いた。

5) 血液分析

血圧波形の記録後に、肘静脈より採血を行った。前日夜から12時間以上の絶食条件下での採血とした。採取した血液よりTC（DAOS法）、TG（GPO-DAOS消去法）、HDL-C（直接・酵素法）およびFBS（GOD（電極）法）を測定した。

3. 統計学的解析方法

測定値は（平均値）±（標準偏差）で示した。

2変数間の関連については単相関分析を行い、ピアソンの相関係数を求めた。相関係数の有意性については、Fisherの r の z 変換を用いて検定を行った。

変数相互の関連性を検討するために、本研究では共分散構造分析を用いた。本研究の対象は健康者であったが、動脈伸展性に影響を及ぼし得る心及び脳血管疾患の正及び負の危険因子（Resnick et al., 2000；Toikka et al., 1999；Lehmann et al., 1992）であるTC、TG、HDL-C、FBSは正常値の範囲内でも、AGEおよびDPAとともに、SBPとSACに独立した影響を及ぼす可能性があるという仮説のもとに、これらをAGE、DPAに加えた6要因から構成される潜在変数を設定し、生活習慣病質（F1）とした。次に、SACおよびSBPに向けたパスを設定した。さらに、SACからSBPへのパスも設定し、Fig. 2に示す仮説モデルを構築して因果関係を検討した。モデルの当てはまりを示す指標として、Goodness of fit index（GFI）およびAdjusted goodness of fit index（AGFI）を算出した。これらの数値は1に近いほど有効なモデルであることを示す。

以上の統計学的解析には、統計処理ソフトウェアStat View 4.0 for Macintosh（ヒューリンクス社製）、SPSS 10.0J for windowsおよびAmos 4.0 for windows（SPSS社製）を用い、統計学的有意水準はいずれも5%未満とした。

Fig. 3 Correlation between systemic arterial compliance and aortic pulse wave velocity
SAC: systemic arterial compliance, APWV: aortic pulse wave velocity

III 結 果

研究1：SACとAPWVの間には、 $r = -0.68$ の有意な負の相関関係が認められた（Fig. 3）。

研究2：中高齢女性90名において、測定項目間の単相関係数を求めた結果をTable 1に示す。SBPは年齢が高いほど高値を示したが、両者の関係は統計学的に有意ではなかった。一方、SBPとSACとの間には有意の負の相関関係が認められた。DPAが多いほどSBPが低い傾向があったが、統計学的に有意ではなかった。また、SACと年齢との間には有意の負の相関関係が、SACと身体活動量との間には有意の正の相関関係が認められた。身体活動量は年齢とともに減少したが、統計学的に有意の関連ではなかった。危険因子については、因子間にいくつかの有意の相関関係が認められたが、SBP、SACおよびDPAと各因子との間には、有意な関連は認められなかった（Table 1）。

本研究で仮定した共分散構造分析モデルにおいて、TC、HDL-C、TG、FBSから生活習慣病質F1への標準化推定値（パス係数）はTC： -0.12 （ $p = 0.07$ ）、HDL-C： 0.09 （ $p = 0.16$ ）、TG： -0.03 （ $p = 0.60$ ）、FBS： -0.10 （ $p = 0.11$ ）で

Table 1 Simple correlation coefficients matrix between variables

mean $\pm$ SD	SBP 121.4 $\pm$ 17.4 mmHg	SAC 1.26 $\pm$ 0.37 ml/mmHg	TC 194.1 $\pm$ 22.8 mg/dl	HDL-C 62.2 $\pm$ 13.1 mg/dl	TG 83.7 $\pm$ 28.7 mg/dl	FBS 95.5 $\pm$ 6.5 mg/dl	DPA 150.0 $\pm$ 55.0 kcal/day	AGE 64.8 $\pm$ 8.4 yrs
SBP	1.000							
SAC	-0.406***	1.000						
TC	0.164	-0.126	1.000					
HDL-C	-0.080	0.094	0.197	1.000				
TG	0.177	0.033	0.210*	-0.283**	1.000			
FBS	0.115	-0.047	0.220*	0.032	-0.005	1.000		
DPA	-0.183	0.233*	0.007	-0.013	0.056	-0.016	1.000	
AGE	0.203	-0.380***	0.170	-0.115	0.034	0.239*	-0.425***	1.000

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

SBP; systolic blood pressure, SAC; systemic arterial compliance, TC; total cholesterol, HDL-C; High density lipoprotein cholesterol, TG; triglycerid, FBS; fasting blood sugar, DPA; dairy physical activity

Fig. 4 Path diagram for SBP

SBP; systolic blood pressure, SAC; systemic arterial compliance, DPA; dairy physical activity, F1; Life-style related diseases factor
GDI; goodness of fit index, AGDI; adjusted goodness of fit index

あり、いずれも有意ではなかった。したがって、これらの変数はモデルに大きな影響を与えるものではないと判断して、変数から除外した (Fig. 4)。Fig. 4に示すモデルの当てはまりを示す指標は、GFI = 0.998, AGFI = 0.977となり、いずれの値も高値であったことから、構築した仮説モデルは適切であると判断した。各変数の影響度を見ると、AGEのパス係数は-0.81 ($p < 0.05$)と最も大きく、ついでDPAのパス係数は0.52 ($p < 0.05$)であった。一方、生活習慣病質F1によるSACへの影響はパス係数が0.47 ($p < 0.05$)で有意であったが、SBPに対する影響はパス係数が-0.10 ($p = 0.49$)で有意なものではなかった。SACからSBPへのパス係数は-0.36 ($p < 0.05$)であり、年齢が高いほどSACは低く、SBPに促進的に働くが、

DPAはAGEと独立してSACに対して促進的に作用し、SACを介してSBPに抑制的に作用することが示された (Fig. 4)。

IV 考 察

本研究では、日常の身体活動が動脈伸展性に及ぼす影響を通じて収縮期高血圧症の発症に抑制的に働くという仮説の検証を行った。そのために、共分散構造分析を用いて、動脈伸展性と収縮期血圧に影響を及ぼしうる外的因子により構成される仮説モデルを構築して検討を行なった結果、本研究の仮説は検証された。

動脈伸展性の指標には、従来からAPWVが用いられることが多いが、本研究では、動脈伸展性

の評価に指先で記録した血圧波形から算出するSACを用いた。測定された値が動脈伸展性を評価する指数として妥当であるか否かを検討するために、同時記録したSACとAPWVとを比較したところ、SACとAPWVの間には $r = -0.68$ の有意な負の相関関係が認められた。関連性はそれほど大きくはなく、いわば中等度であった。関連性が大きくなかった理由として考えられるのは、おそらくSACとAPWVとの物理量としての差である。SACは、本来動脈系コンプライアンスの指標であり、物理学的には動脈系の内圧の変化に対する動脈の容積変化の比として定義されるので、動脈の伸展性ばかりではなく容積にも影響される。一方、APWVは動脈壁のヤング率（伸展性の逆数に相当する）に大きく影響されるが、容積には大きな影響を受けない（長谷川ほか, 1987b）。また、APWVは当然のことながら大動脈壁の平均的な伸展性（正確には硬さ）の指標であるが、SACは動脈系全体のコンプライアンスとして計測される物理量である。ただし、Stergiopoulos et al. (1998) は、イヌの生体で動脈系コンプライアンスを測定し、大動脈を大腿動脈分岐部で閉塞しても、その値は閉塞を行わないで測定した値と差がないことを示した。おそらく、ヒトにおいても全動脈系のコンプライアンスとして測定されるSACの値は中心動脈ないし大動脈のコンプライアンスの値との間に大きな差は示さないと思われる。いずれにせよ、物理量としての差にもかかわらず、本研究ではSACとAPWVとの間に $r = -0.68$ の中等度ではあるが有意な負の相関関係が認められた。したがって、我々は、末梢動脈で記録した血圧波形を用いて算出したSACを動脈系コンプライアンスないし動脈伸展性の指数として用いることは妥当であると考えた。

本研究では、SBPを規定し得る主要な因子としてSAC, DPA, 年齢を取り上げ、また、心及び脳血管疾患の正及び負の危険因子がSBPとSACに及ぼす影響も検討した。共分散構造分析を行なった結果、DPAはSACに対して促進的な影響を及ぼしていた。単相関分析および共分散構造分析の結果から、SACとSBPの間には有意の

関連が認められたので、DPAはSACを介してSBPに抑制的な効果を持つことが示唆された。一方、AGEはSACに対しては抑制的な効果があり、SACの低下を介してSBPの上昇へつながる可能性が示唆された。身体活動の影響は必ずしも大きなものではないが、以上の結果から、日常の身体活動は加齢に伴う動脈伸展性の低下に対して予防的に作用することにより収縮期高血圧の発症を抑制する効果を持つという本研究の仮説が検証された。本研究で取り上げた危険因子であるTC, TG, HDL-CおよびFBSは、単相関分析では、いずれもSBPとSACおよびDPAとの間に有意の関連を示さなかった。また、共分散構造分析による結果からも、これらの危険因子はSACおよびSBPに対して大きな寄与は与えていないことが考えられた。ただし、危険因子の値はいずれも正常域にあり、しかも変動幅は小さいので、結果の解釈には慎重を期すべきであろう。危険因子との関連性の検討には、今後は異常値を示す対象者を含めた大規模な検討を進めていく必要があると考えられる。

対象者の1日当たりのDPAは100kcalから300kcalの間に分布しており、とくに高度の身体活動は行っていないかった。本研究の成績は、高度の運動トレーニングは行っていない一般の健常者でも、日常の身体活動量が多ければ、加齢に伴う動脈伸展性の低下が抑制されるというKakiyama et al. (1998a) の先行研究を支持する結果であった。Kakiyama et al. (1998a) の報告は男性が対象者であるが、本研究では、中高齢女性においても、身体活動が加齢に伴う動脈伸展性の低下を抑制する効果を持つ可能性を示した。また、身体活動が動脈伸展性に及ぼす影響を横断的に検討した従来の報告（柿山ほか, 1998b；Tanaka et al., 2000）では、身体活動量の評価は質問調査により評価されているが、本研究では、加速度センサー付歩数計により身体活動量を客観的に評価した。先行研究（Bassett et al., 2000；田中ほか, 2000；原田ほか, 2001）から、Lifecorderによる推定は一日の活動状況を少なくとも相対的に把握して相互に比較する方法としては客観性を持つと

考えられ、本研究で得られた成績は、従来の報告を裏付けるより信頼性が大きい成績であると考えられる。

本研究では横断的検討を行った。したがって、身体活動量が多いほど動脈伸展性が大きいという成績は、ただちに中高齢女性で身体活動量を増大させれば動脈伸展性を改善することができるということを意味するわけではない。一方で、ヒトでは比較的短期間の運動トレーニングにより動脈伸展性は増大するという成績も報告されている（池上ほか, 1983; Cameron et al., 1994; Tanaka et al., 2000; 柿山ほか, 2001）。若齢ラットにおいて運動トレーニングをした場合、摘出した大動脈の伸展性が大きく、中膜の弾性線維の構成蛋白であるエラスチンの変性とカルシウム沈着が抑制され、またカルシウム沈着が小さいほど大動脈伸展性の低下が抑制されていることが示されている（Matsuda et al., 1989, 1993）が、ヒトとくに中高齢者において、数ヶ月という期間のトレーニングにより、動脈壁の組織学的変化が改善する可能性は少ないと考えられる。したがって、これらの研究で認められた動脈伸展性の増大には、おそらく血管壁の伸展性に影響する何らかの機能的因子の変化が主に関与している可能性が大きいと推察される。

生体では、動脈の伸展性は中膜における平滑筋の緊張度にも規定されるが、平滑筋の緊張度は自律神経活動水準や血管内皮細胞が産生する血管作動性物質などにより変化する。動物実験では、若齢ラット（Delp et al., 1993）および高齢ラット（Tanabe et al., 2003）において運動トレーニングを負荷すると、平滑筋緊張度を低下させる働きを持つ一酸化窒素（NO）の合成が血管内皮細胞において促進されることが示されている。ヒトにおいても、比較的短期間の運動トレーニングによりNOの酸化物や血管内皮細胞が産生し血管平滑筋の緊張度を高める働きを持つエンドセリン1の血中濃度が高まることが示されている（Maeda et al., 2001, 2003）。また、運動トレーニングを続けると、安静時の迷走神経活動が亢進（Scheuer et al., 1977）し、交感神経活動が低下

する（Ekblom et al., 1973; Goldsmith et al., 1992）。これらの効果は、一般に血管平滑筋を弛緩させる効果を持つであろう。したがって、短期間であっても、運動トレーニングは血管内皮機能や自律神経活動を介して動脈の伸展性を増大する効果を持つことになる。また、日常身体活動の多い人では心理的健康状態が良好であること（Dishman, 1985）が知られているので、運動にはリラクゼーション効果などの心理的效果も期待できる。本研究では心理学的指標を測定していないが、身体活動量が多い人では心理的リラクゼーション効果が自律神経系活動などを通して血管の緊張度に影響を及ぼす可能性もあると考えられる。すなわち、高齢期になってからの身体活動量の増大でも、機能的因子への影響を介して動脈伸展性を増大させる効果を持つ可能性があり、高齢者における収縮期高血圧症の罹患率を減少させる方策の1つになり得るかもしれない。

一般の中高齢者を対象にした健康運動では、安全性を考慮すれば、運動強度が低いほうが望ましいが、目標とする効果が得られなければ意味がない。トレーニングが動脈伸展性に及ぼす効果について、池上と佐竹ほかは若年男性（1983）および中年男性（1987）で、Cameron et al.（1994）は若年男性で、Tanaka et al.（2000）は中年男性で検討しているが、いずれの報告においても、比較的高強度のトレーニングが行われている。一方、我々の中高齢女性における検討（柿山ほか, 2001）では、比較的に低強度のトレーニングでも動脈伸展性が改善されたことが示されたが、対象者数は、健常者が10名、動脈硬化危険因子などを有する者が11名であり、多くの中高齢者に適用するための明確な結論を得るには対象者数が不足している。しかし、トレーニング効果を検討する研究では対象者数を増やすことに限界があるので、多数例を対象にした横断的検討においても、低強度運動の効果を検討する必要があると思われる。本研究で用いた加速度センサー付歩数計は身体活動量を強度別に評価できるが、本研究では1日当たりの総活動量の評価しか行わなかった。対象者の数が十分に大きくはなかったことに加え、生活様式

にも大きな差は無かったためである。したがって、対象者の数と幅を広げて、運動強度による効果の差を検討ことは今後に残された課題である。本研究により、日常の身体活動量を増やすことが動脈伸展性を増大させる効果を持つ可能性があり、高齢者における収縮期高血圧症の罹患率を減少させる方策の1つになり得る可能性が示された。ただし、本研究で示された効果は必ずしも大きなものではなかった。また、本研究は横断的研究であり、しかも対象者を健常者に限定した研究であることから、本研究の成績から、ただちに一般の中高齢女性で身体活動量を増大させれば動脈伸展性を改善することが期待できるわけではない。しかし、対象者の幅を広げ、また縦断的検討を加えることにより、多くの人ができる低強度の運動や日常生活活動での運動量を増やすことにより動脈の伸展性が増すことが明らかになれば、超高齢社会を迎えつつある日本にとってより大きな意義があると考えられる。

謝 辞

本研究は、平成11—13年度科学技術庁・文部科学省科学技術振興調整費（生活・社会基盤研究「高齢者における生活機能の維持・増進と社会参加を促進するための地域システムに関する研究」）による研究の一部である。

本研究の実施に際し、積極的なご協力を頂いた大洋村村民の方々、つくば市民の方々、また測定遂行上、様々な便宜をお図り頂いた大洋村健康づくり財団、本プロジェクトの関係者各位に深く感謝いたします。

文 献

- Bassett, D.R. Jr., Ainsworth, B.E., Swartz, A.M., Strath, S.J., O'Brien, W.L., and King, G.A. (2000) Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: S471-S480.
- Bos, W.J., Goudoever, J., Montfrans, G.A., Meiracker, A.H., and Wesseling, K.H. (1996) Reconstruction of brachial artery pressure from noninvasive finger pressure measurements. *Circulation*, 94: 1870-1875.
- Cameron, J.D. and Dart, A.M. (1994) Exercise training increases total systemic arterial compliance in humans. *Am. J. Physiol.*, 266: H693-H701.
- Delp, M.D., McAllister, R.M., and Laughlin, M.H. (1993) Exercise training alters endothelium-dependent vasoreactivity of rat abdominal aorta. *J. Appl. Physiol.*, 75: 1354-1363.
- Dishman, R.K. (1985) Medical psychology in exercise and sport. *Med. Clin. North. Am.*, 69: 123-143.
- Eklom, B., Kilbom, A., Soltysiak, J. (1973) Physical training, bradycardia, and autonomic nervous system. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 32: 251-256.
- Gizdulich, P., Imholz, B., van den Meiracker, A.H., Parati, G., and Wesseling, K.H. (1995) Finapres tracking of systolic pressure and baroreflex sensitivity Improved by waveform filtering. *J. Hypertens.*, 14: 243-250.
- Goldsmith, R.L., Bigger, J.T., Steinman, R.C., and Fleiss, J.L. (1992) Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 20: 552-558.
- 原田亜紀子・川久保清・李 廷秀・岩垂 信・池田千恵子・茂住和代・南 伸子（2001）24時間活動記録，加速度計による1日消費エネルギー量の妥当性—Flex HR法を用いた検討—。体力科学，50：229-236。
- 長谷川元治（1987a）大動脈脈波速度検査法（PWV法）。八杉忠男・中村治雄編 動脈硬化症診療ニューガイド。金原書店：東京，pp. 146-156。
- 長谷川元治・荒井親雄・竹内光吉・安部信行・斉藤光代・鈴木賢二・川下治仁（1987b）生物物理学的動脈硬化診断法—大動脈脈波速度検査法—基礎編。エレクトロニクスの臨床，11：47-53。
- Houtman, S., Oeseburg, B., and Hopman, M.T.E. (1998) Non-Invasive cardiac output assessment during moderate exercise: pulse contour compared with CO₂ rebreathing. *Clin. Physiol.*, 19: 230-237.
- 池上晴夫・佐竹昌之・黒川隆志・丹信介・杉浦崇夫・山崎由久（1983）身体トレーニングが体組成，呼吸，循環系，血液，体力などに及ぼす効果—30

- 歳前後の男子の場合一. 体力科学, 32 : 302-309.
- Kakiyama, T., Matsuda, M., and Koseki, S. (1998a) Effect of physical activity on the distensibility of the aortic wall in healthy males. *Angiology*, 49: 749-757.
- 柿山哲治・時松陽介・大澤清二・小関 迪・松田光生. (1998b) 成人男性における運動習慣および大動脈伸展性が収縮期血圧に及ぼす影響—大動脈脈波速度による検討—. 体力科学, 47 : 313-326.
- 柿山哲治・横山典子・前田清司・久野譜也・高石昌弘・松田光生 (2001) 6ヵ月間の低強度運動トレーニングが中高年女性の大動脈伸展性に及ぼす影響. 日本臨床スポーツ医学会誌, 9 : 226-233.
- Kannel, W.B., Wolf, P.A., McGee, D.L., Dawber, T.R., McNamara, P., and Castelli, W.P. (1981) Systolic blood pressure, arterial rigidity, and risk of stroke. The Framingham study. *JAMA*, 245: 1225-1229.
- Kool, M.J.F., Hoeks, A.P.G., Struijker, Boudier, H.A.J., Reneman, R.S., and Van Bortel, L.A.B. (1993) Short- and long-term effects of smoking on arterial wall properties in habitual smokers. *J. A. Coll. Cardiol.*, 22: 1881-1886.
- Lehmann, E.D., Watts, G.F., Fatemi-Langroudi, B., and Gosling, R.G. (1992) Aortic compliance in young patients with heterozygous familial hypercholesterolaemia. *Clin. Sci.*, 83: 717-721.
- Liu, Z., Brin, K.P., and Yin, F.C.P. (1986) Estimation of total arterial compliance: an improved method and evaluation of current methods. *Am. J. Physiol.*, 251: H588-H600.
- Maeda, S., Miyauchi, T., Kakiyama, T., Sugawara, J., Iemitsu, M., Irukayama-Tomobe, Y., Murakami, H., Kumagai, Y., Kuno, S., and Matsuda, M. (2001) Effects of exercise training of 8 weeks and detraining on plasma levels of endothelium-derived factors, endothelin-1 and nitric oxide, in healthy young humans. *Life Sci.*, 69: 1005-1016.
- Maeda, S., Tanabe, T., Miyauchi, T., Otsuki, T., Sugawara, J., Iemitsu, M., Kuno, S., Ajisaka, R., Yamaguchi, I., and Matsuda, M. (2003) Aerobic exercise training reduces plasma endothelin-1 concentration in older women. *J. Appl. Physiol.*, 95: 336-341.
- Matsuda, M., Nosaka, T., Sato, M., Iijima, J., Ohshima, N., and Fukushima, H. (1989) Effects of exercise training on biochemical and biomechanical properties of rat aorta. *Angiology*, 40 : 51-58.
- Matsuda, M., Nosaka, T., Sato, M., and Ohshima, N. (1993) Effects of physical exercise on the elasticity and elastic components of the rat aorta. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66: 122-126.
- Resnick, L.M., Militianu, D., Cunnings, A.J., Pipe, J.G., Evelhoch, J.L., Soulen, R.L., and Lester, M.A. (2000) Pulse waveform analysis of arterial compliance: relation to other techniques, age, and metabolic variables. *Am. J. Hypertens.*, 13: 1243-1249.
- Sagie, A., Larson, M.G., and Levy, D. (1993) The natural history of borderline isolated systolic hypertension. *N. Engl. J. Med.*, 32: 1912-1917.
- 佐竹昌之・カン スン ヒ・後藤真二・池上晴夫 (1987) 身体トレーニングが体組成, 循環機能, 血液性状及び体力に及ぼす効果—40歳前後の男子の場合—. いばらき体育・スポーツ科学, 2 : 17-23.
- Scheuer, J. and Tipton, C.M. (1977) Cardiovascular adaptation to physical training. *Annu. Rev. Physiol.*, 39: 221-251.
- Spurr, G.B., Murgatroyd, P.R., Goldberg, G.R., Reina, J.C., and Christman, B.S. (1988) Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with Indirect calorimetry. *Am. J. Clin. Nutr.*, 48: 552-559.
- Stefanadis, C., Tsiamis, E., Dernellis, J., and Toutouzas, P. (1999) Effect of estrogen on aortic function In postmenopausal women. *Am. J. Physiol.*, 276: H658-H662.
- Stergiopulos, N., Westerhof, B.E., and Westerhof, N. (1998) Physical basis of pressure transfer from periphery to aorta: a model-based study. *Am. J. Physiol.*, 274: H1386-H1392.
- Tanabe, T., Maeda, S., Miyauchi, T., Iemitsu, M., Takanashi, M., Irukayama-Tomobe, Y., Yokota, T., Ohmori, H., and Matsuda, M. (2003) Exercise training improves ageing-induced decrease in eNOS expression of the aorta. *Acta Physiol. Scand.*, 178: 3-10.
- 田中宏暁・進藤宗洋・吉岡真由美・結城直哉・熊原秀晃・国武和弘. (2000) 簡易なエネルギー消費量推定法の開発—歩行動作および微小運動時の簡易エネルギー推定法の検討—. 厚生科学研究補助金

分担研究報告書, pp. 28-32.

Tanaka, H., Dinunno, F.A., Monahan, K.D., Clevenger, C.M., DeSouza, C.A., and Seals, D.R. (2000) Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102: 1270-1275.

Toikka, J.O., Niemi, P., Ahotupa, M., Niinikoski, H., Viikari, J.S., Ronnema, T., Hartiala, J.J., and Raitakari, O.T. (1999) Large-artery elastic properties in young men: relationships to serum lipoproteins and oxidized low-density lipoproteins. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 19: 436-441.

Wesseling, K.H., Jansen, J.R.C., Settels, J.J., and Schreuder, J.J. (1993) Computation of aortic flow from pressure in humans using a nonlinear, three-

element model. *J. Appl. Physiol.*, 74: 2566-2573.

吉村正蔵・長谷川元治・矢部喜正・荒井親雄・柏倉義弘・田中穂積・川崎 健・相沢義則・阿部正威・林知己夫・駒沢 勉・中山 淑・八木晋一・木下重博 (1976) 脈波と血管弾性—脈波速度法の原理と本質—. *呼吸と循環*, 24: 376-387.

吉村正蔵・長谷川元治・中山 淑・八木晋一・林知己夫・駒沢 勉・矢部喜正・荒井親雄・柏倉義弘・相沢義則・川崎 健・阿部正威・木下重博 (1978) 動脈硬化に関する研究—脈波速度法による大動脈効果度の定量的評価と病態について—. *脈管学*, 18: 863-870.

(平成13年12月19日受付)
(平成15年 9月 6日受理)