

**ORIGINAL ARTICLE**

# Relationship between Arterial Stiffness as Measured by the Cardio-Ankle Vascular Index with Body Mass Index in Healthy Elderly Subjects

Kyung A Shin

Department of Clinical Laboratory Science, Shinsung University, Dangjin, Korea

## 건강한 노인에서 심장-발목 혈관지수로 측정된 동맥 경직도와 체질량 지수간의 상관관계

신경아

신성대학교 임상병리과

**ARTICLE INFO**Received August 10, 2019  
Revised August 27, 2019  
Accepted September 3, 2019**Key words**Arterial stiffness  
Body mass index  
Cardio-ankle vascular index**ABSTRACT**

An inverse correlation between obesity and arterial stiffness has been reported, but there are no consistent results in elderly subjects. This study examined the relationship between the arterial stiffness measured by the CAVI (cardio-ankle vascular index) and BMI (body mass index) in healthy elderly people. This study included 629 healthy elderly people aged 65 and over who underwent health examinations at a general hospital in Gyeonggi from July 2018 to June 2019. Metabolic syndrome was diagnosed using the criteria of the Adult Treatment Panel (ATP) III of the US National Cholesterol Education Program (NCEP). Among the criteria of NCEP-ATP III, the waist circumference and obesity criteria were based on the WHO criteria. All subjects underwent a biochemical blood test and an assessment of the CAVI. In both men and women, the CAVI was lower in the obese group than in the normal weight group. Gender ( $P=0.047$ ), age ( $P<0.001$ ), BMI ( $P<0.001$ ), and waist circumference ( $P=0.008$ ) were factors affecting the CAVI. Gender, high blood pressure, and hyperglycemia were independent positive predictors of the CAVI levels, while obesity was a negative predictor. Therefore, the CAVI and BMI showed an inverse correlation. In conclusion, there was an inverse correlation between the CAVI and BMI in the elderly, and obesity was a negative predictor of the CAVI.

Copyright © 2019 The Korean Society for Clinical Laboratory Science. All rights reserved.

**서론**

동맥경화(arteriosclerosis)는 팽창성, 순응성 및 탄성계수와 같은 혈관 특성을 포함하는 일반적인 용어이다[1]. 동맥경화는 심혈관 질환의 예후를 결정하는 지표로서, 증가된 동맥경화는

심혈관 질환의 이환율 및 사망률 증가와 관련이 있다[2, 3]. 그러므로 심혈관 질환을 예방하기 위해 동맥경화 정도를 검사하여 그 위험을 평가하는 것은 매우 중요하다[4]. 동맥경화를 평가하는 방법은 다양한데, 맥파전도속도(pulse wave velocity, PWV)는 혈관경직도 정도를 판정하는 전통적인 측정법이기는 하나 측정시 환자의 혈압에 의존하는 것으로 알려져 있다[5, 6]. 따라서 실제 동맥경화를 반영하는 PWV의 타당성은 논란의 여지가 있으며, 혈압 강하제를 복용하는 경우 동맥 경직도(arterial stiffness)가 영향을 받으므로 이를 평가하는데 부적합

\* Corresponding author: Kyung A Shin  
Department of Clinical Laboratory Science, Shinsung University, 1 Daehak-ro,  
Jeongmi-myeon, Dangjin 31801, Korea  
E-mail: mobitz2@hanmail.net  
\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5266-5627>

하다[6].

최근 심장-발목 혈관지수(cardio-ankle vascular index, CAVI)가 동맥혈관 경직도를 평가하기 위한 비침습적 방법으로 제시되며, 동맥혈관 고유의 경직도  $\beta$ 에 기초하여 측정한다[7, 8]. CAVI는 혈압을 교정하는 Bramwell-Hill 방정식에 의해 계산되므로 PWV보다 동맥경화 지표로서 더 정확하고 재현성이 좋은 것으로 보고된다[9, 10]. CAVI를 통한 동맥 경직도 측정은 평활근 수축 상태와 동맥벽의 기계적 성질을 모두 반영한다[11]. CAVI는 심혈관계 사건 및 심근경색 발병도와 관련이 있으며, 심혈관계 사건의 독립적인 예측 인자로 보고된다[12, 13]. 또한 CAVI는 당뇨병, 고혈압, 이상지질혈증 및 흡연과 같은 심혈관계 질환의 위험요소와 관련이 있으며, 대사증후군 위험요인의 증가와 양의 상관관계를 보인다[14-18].

체중 증가는 동맥경화 위험을 증가시키는데 기여할 가능성이 높다. Nagayama 등[1]은 체중 감소 후 내장지방 면적이 감소함에 따라 CAVI가 감소하였으며, CAVI의 감소는 내장지방 비율이 높은 환자에서 체중 감소 후 혈관 경직도가 개선되었다는 것을 암시하는 지표라고 하였다. 높은 CAVI는 비만과 관련이 있지만, 일부 연구에서는 체질량지수(body mass index, BMI)와 CAVI간에 역상관 관계가 있다고 보고하였다[6]. 실제로 소아와 청소년을 대상으로 비만과 혈관 경직도간에 역상관 관계가 보고되고 있으나, 고령자나 노인에서는 일관된 결과를 보이고 있지 않다[6, 19]. 또한 선행연구들은 동맥 경직도를 혈압 의존성이 있는 PWV로 측정하였으며, CAVI로 측정된 동맥 경직도와 BMI간의 병태생리학적 관계는 명확하지 않다.

이에 이 연구에서는 건강한 노인을 대상으로 CAVI로 측정된 동맥 경직도와 BMI간의 연관성 및 비만 정도가 CAVI에 미치는 영향을 조사하여, 동맥경화 위험의 예방과 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상자

이 연구는 2018년 7월부터 2019년 6월까지 경기도에 위치한 종합병원에서 건강검진을 시행한 65세 이상 건강한 노인을 대상으로 실시되었다. 이 기간 동안 건강검진을 실시한 65세 이상의 대상자 중 심혈관질환자, 뇌졸중, 신장질환자, 간질환자, 통풍의 과거력이 있는 피험자를 제외한 최종 연구 대상자는 629명이었다. 또한 이 횡단면 연구는 경기도에 위치한 종합병원에서 기관생명윤리위원회(institutional review board, IRB)의 승인 후 진행되었다(IRB No: SP-2019-07-032-001).

### 2. 연구방법

#### 1) 신체계측과 혈압측정

체성분 분석기 인바디 720 (Biospace Co., Seoul, Korea)을 통하여 신장과 체중을 측정하였고, 체중을 신장의 제곱으로 나누어 BMI를 계산하였다. 비만분류는 정상은 BMI가 18.5~22.9 kg/m<sup>2</sup>, 과체중은 BMI 23~24.9 kg/m<sup>2</sup>, BMI 25 kg/m<sup>2</sup> 이상은 비만으로 정의하였다[20]. 허리둘레 측정은 갈비뼈 가장 하단부와 골반의 가장 높은 부위의 중간 지점인 가장 폭이 좁은 부위를 직립자세에서 측정하였다. 혈압은 안정된 상태에서 보정된 아네로이드식 혈압측정기(Medisave UK Ltd., Weymouth, UK)로 상완 위치에서 측정하였다.

#### 2) 대사증후군 위험요인 및 진단기준

대사증후군 진단은 2001년 발표된 US National Cholesterol Education Program (NCEP)의 Adult Treatment Panel (ATP) III의 기준에 따라 5가지 위험요인 중 3가지 이상 해당되면 대사증후군으로 판정하였다[21]. 구체적인 대사증후군 위험요인은 ①허리둘레; 남성  $\geq 102$  cm, 여성  $\geq 88$  cm ②혈압; 수축기 혈압  $\geq 130$  mmHg 또는 이완기 혈압  $\geq 85$  mmHg ③공복혈당  $\geq 110$  mg/dL ④HDL-콜레스테롤; 남성  $< 40$  mg/dL, 여성  $< 50$  mg/dL ⑤중성지방  $\geq 150$  mg/dL이었다. NCEP-ATP III의 대사증후군 위험요인 중 허리둘레는 WHO의 아시아태평양지역의 기준에 근거하여 남성  $\geq 90$  cm, 여성  $\geq 80$  cm을 적용하였다[20].

#### 3) 혈액분석 방법

혈액검사는 8시간 이상 금식 후 아침에 주전정맥(antecubital vein)을 통해 혈액을 채취하여 분석하였다. 총콜레스테롤(total cholesterol, TC), 중성지방(triglyceride, TG), 고밀도 지단백 콜레스테롤(high density lipoprotein-cholesterol, HDL-C), 저밀도 지단백 콜레스테롤(low density lipoprotein-cholesterol, LDL-C), 공복혈당(fasting blood glucose, FBG), 요산(serum uric acid, SUA), 고감도 C-반응성단백(high sensitivity C-reactive protein, hs-CRP)의 혈중 농도측정은 TBA-200FR NEO (Toshiba, Tokyo, Japan)로 표준화된 방법에 따라 측정하였다. 면역비탁법(turbidimetric immunoassay, TIA)의 원리로 고감도 C-반응성단백을 정량 분석하였다. 당화혈색소(hemoglobin A1c, HbA1c)는 고속액체크로마토그래피법(high performance liquid chromatography)의 원리로 Variant II (Bio Rad, CA, USA) 측정장비로 검사하였다. 인슐린은 전기화학발광 면역분석

법(electrochemiluminescence immunoassay)의 원리로 Roche Modular Analytics E170 (Roche, Mannheim, Germany)로 측정하였다.

#### 4) CAVI 측정

CAVI는 누운 자세에서 안정을 취한 후 VaSera VS-1000 (Fukuda Denshi, Tokyo, Japan)을 사용하여 측정하였다. CAVI는 다음의 방정식을 통하여 얻었다. CAVI, stiffness parameter  $\beta = a [2\rho / (P_s - P_d) \times \ln(P_s / P_d) \times PWV^2] + b$  (a, b; 상수,  $\rho$ ; 혈액 밀도,  $P_s/P_d$ ; 수축기 혈압/이완기 혈압, PWV; 맥파 전도속도)의 방정식이다[9]. PWV는 맥파가 대동맥 관에서 발목까지 전파되는 시간으로 혈관 길이를 나눈 값으로, 상완과 발목에서 커패시터를 사용하여 측정하였다. 모든 측정 및 계산은 VaSera VS-1000에 의해 자동으로 수행되었다. 이와 같은 방법으로 측정된 CAVI의 평균 변동계수는 5% 미만이었다. 또한 높은 CAVI는 9 m/s 이상이면 위험범위에 해당되는 것으로 정의하였다[22]. 이 연구에서 측정된 좌측과 우측의 CAVI는 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있지 않아(8.47±1.24 vs 8.46±1.29) 우측의 CAVI를 연구에 이용하였다.

### 3. 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램 24.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 패키지로 통계 분석하였으며, 모든 데이터는 평균±표

준편차로 나타났다. 임상적 특성의 성별에 따른 차이, 대사증후군 위험요인의 존재 유무에 따른 집단간 차이를 알아보기 위해 Independent sample *t*-test를 수행하였다. 대사증후군 및 대사증후군 위험요인의 성별에 따른 빈도 차이를 알아보기 위해 Chi-squared test를 실시하였다. 또한 성별에 따라 정상체중군, 과체중군, 비만군의 대사증후군 위험요인 및 CAVI의 차이를 알아보기 위해 One-way ANOVA로 분석하였으며, 집단간 유의한 차이가 있는 경우 Scheffe 방법으로 사후검정을 실시하였다. 성별에 따른 CAVI와 대사증후군 위험요인 및 BMI간의 상호연관성을 알아보려고 상관관계 분석을 실시하였다. CAVI를 종속변수로 대사증후군 위험요인 및 BMI를 독립변수로 설정하여 두 변수 사이의 관계를 규명하기 위해 다중회귀분석을 시행하였다. 또한 성별 및 각각의 대사증후군 위험요인의 존재 유무, 비만 정도에 따른 CAVI의 위험치 발병을 예측하기 위해 로지스틱 회귀분석을 실시하였으며, 교차비(Odds ratio) 및 신뢰구간(confidence interval, CI)을 구하였다. 이 연구에서 *P*값은 0.05 미만일 경우 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

## 결 과

### 1. 임상적 특성의 성별에 따른 차이

성별에 따라 신장, 체중, BMI, 허리둘레는 집단간 차이를 보였다. 신장(*P*<0.001), 체중(*P*<0.001) 및 허리둘레(*P*=0.012)

Table 1. Characteristics of male and female participants

Variables	All (N=629)	Male (N=482)	Female (N=147)	<i>P</i> value
Age (years)	71.32±5.16	71.46±5.27	70.88±4.76	0.238
Height (cm)	161.24±7.93	164.02±6.34	152.12±5.37	<0.001
Body weight (kg)	63.59±9.77	65.01±9.90	58.96±7.70	<0.001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.45±3.18	24.13±3.19	25.50±2.92	<0.001
WC (cm)	84.47±8.20	84.92±8.38	82.98±7.41	0.012
sBP (mmHg)	119.90±15.21	119.32±14.57	121.80±17.07	0.112
dBp (mmHg)	74.80±9.21	74.53±8.85	75.68±10.29	0.224
TC (mg/dL)	187.20±33.96	183.64±32.63	198.88±35.67	<0.001
TG (mg/dL)	123.41±69.91	121.11±67.43	130.95±77.24	0.136
HDL-C (mg/dL)	53.71±13.74	53.42±13.77	54.69±13.63	0.327
LDL-C (mg/dL)	113.75±30.96	110.51±29.66	124.36±32.83	<0.001
FBG (mg/dL)	98.29±22.64	99.06±23.31	95.77±20.19	0.123
HbA1c (%)	6.04±0.89	6.06±0.94	6.03±0.78	0.714
Insulin (μU/mL)	6.16±5.14	6.11±5.95	6.20±4.46	0.944
SUA (mg/dL)	5.32±1.44	5.57±1.40	4.51±1.27	<0.001
hs-CRP (mg/dL)	0.24±0.50	0.27±0.56	0.16±0.25	0.002
CAVI	8.47±1.24	8.58±1.28	8.11±1.00	<0.001

Values are presented as means±standard deviations.

Calculated by independent *t*-test.

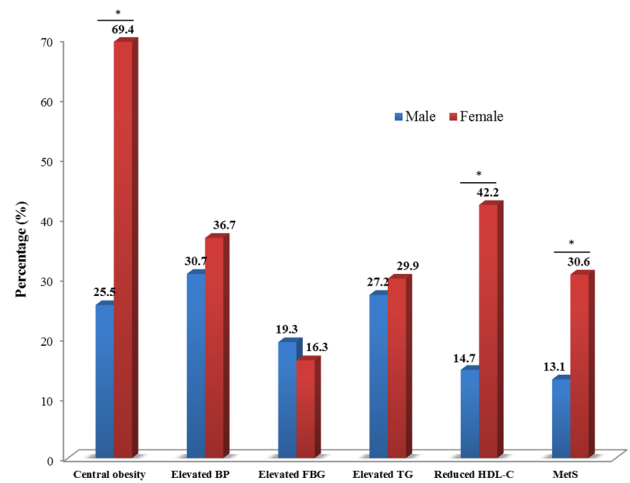
Abbreviations: BMI, body mass index; WC, waist circumference; sBP, systolic blood pressure; dBp, diastolic blood pressure; TC, total cholesterol; TG, triglyceride; HDL-C, high density lipoprotein cholesterol; LDL-C, low density lipoprotein cholesterol; FBG, fasting blood glucose; HbA1c, hemoglobin A1c; SUA, serum uric acid; hs-CRP, high sensitivity C-reactive protein; CAVI, cardio-ankle vascular index.

는 남성에서 크게 나타났으나, BMI ( $P<0.001$ )는 여성이 높게 나타났다. 혈액 변인 중 총콜레스테롤( $P<0.001$ ), LDL-콜레스테롤( $P<0.001$ )은 여성이 유의하게 높았으나, 요산( $P<0.001$ ), hs-CRP ( $P=0.002$ ), CAVI ( $P<0.001$ )는 남성이 유의하게 높은 것으로 나타났다. 그러나 성별에 따라 연령, 수축기와 이완기 혈압, 중성지방, HDL-C, 공복혈당, HbA1c, 인슐린은 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 1). 또한 성별에 따라 복부비만, HDL-C의 감소, 대사증후군 유병률은 유의하게 여성에서 높은 빈도를 보였으나(모두  $P<0.05$ ), 높은 혈압, 고혈당 및 고중성지방혈증은 성별에 따른 유의한 빈도 차이는 보이지 않았다(Figure 1).

## 2. 비만 정도에 따른 대사증후군 위험요인 및 CAVI의 차이

남성은 정상체중군보다 비만군의 연령이 유의하게 높았으며, BMI와 허리둘레는 정상체중군보다 과체중/비만군이 높았다(각각  $P<0.001$ ). 총콜레스테롤( $P=0.029$ )과 LDL-C ( $P=0.004$ )은 정상체중군보다 과체중군이 높았으며, 중성지방은 정상체중군보다 과체중/비만군이 높았다( $P<0.001$ ). 그러나 HDL-C은 정상체중군보다 과체중/비만군이 낮게 나타났다( $P<0.001$ ). 여성의 경우 BMI와 허리둘레는 정상체중군보다 과체중/비만

군이 높게 나타났으며, 비만군은 과체중군보다 높았다(각각  $P<0.001$ ). 중성지방은 정상체중군보다 과체중/비만군이 높았으며( $P=0.001$ ), HDL-C은 정상체중군보다 과체중/비만군이 낮



**Figure 1.** Prevalence of MetS and MetS components in males and females. Prevalence of central obesity (25.5 vs 69.4), reduced HDL-C (14.7 vs 42.2) and metabolic syndrome (13.1 vs 30.6) was higher women than men. Abbreviations: See Table 1; MetS, metabolic syndrome. \* $P<0.05$ .

**Table 2.** Comparison of risk factors of metabolic syndrome according to obesity degree

Variables	Normal weight	Overweight	Obesity	P value
Male (N)	133	129	220	
Age (years)	72.72±5.65	71.58±5.47	70.62±4.76 <sup>a</sup>	0.001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	20.28±1.65	23.47±0.50 <sup>a</sup>	26.86±1.95 <sup>ab</sup>	<0.001
WC (cm)	76.18±6.17	84.40±4.12 <sup>a</sup>	90.51±6.60 <sup>ab</sup>	<0.001
sBP (mmHg)	118.05±15.11	119.73±14.36	119.84±14.37	0.497
dBp (mmHg)	73.53±9.06	74.65±9.46	75.07±8.32	0.284
TC (mg/dL)	178.34±31.78	189.06±32.20 <sup>a</sup>	183.66±33.01	0.029
TG (mg/dL)	89.99±52.95	124.40±64.41 <sup>a</sup>	138.00±70.65 <sup>a</sup>	<0.001
HDL-C (mg/dL)	58.51±14.65	52.16±13.19 <sup>a</sup>	51.07±0.86 <sup>a</sup>	<0.001
LDL-C (mg/dL)	104.14±28.27	116.17±30.30 <sup>a</sup>	111.02±29.49	0.004
FBG (mg/dL)	96.27±27.28	97.91±19.98	101.41±22.39	0.108
Female (N)	21	34	92	
Age (years)	71.25±5.83	71.21±4.15	70.73±4.77	0.835
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.35±0.87	23.59±0.50 <sup>a</sup>	27.20±2.19 <sup>ab</sup>	<0.001
WC (cm)	74.05±6.06	79.68±3.72 <sup>a</sup>	86.34±6.24 <sup>ab</sup>	<0.001
sBP (mmHg)	127.25±16.81	120.15±15.78	121.03±17.50	0.283
dBp (mmHg)	76.50±6.90	73.68±8.64	75.98±11.17	0.475
TC (mg/dL)	194.00±33.73	188.53±35.73	203.70±35.66	0.087
TG (mg/dL)	85.25±38.70	112.35±55.30	147.70±85.31 <sup>a</sup>	0.001
HDL-C (mg/dL)	61.05±14.51	56.00±13.30	52.70±13.24 <sup>a</sup>	0.036
LDL-C (mg/dL)	119.40±26.64	115.00±30.60	128.97±34.40	0.082
FBG (mg/dL)	97.70±16.71	91.94±21.98	96.82±20.31	0.443

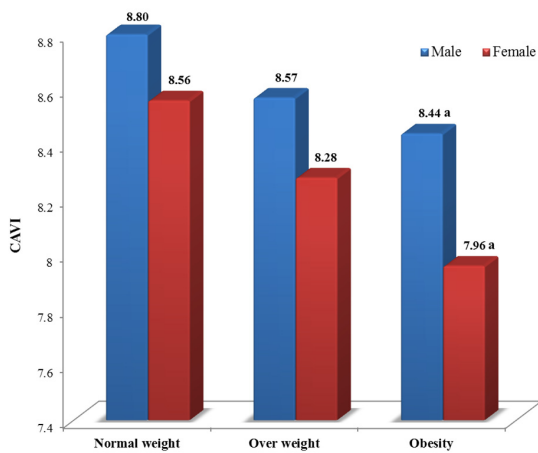
Values are presented as means±standard deviations.

Calculated by one way ANOVA and Scheffe test.

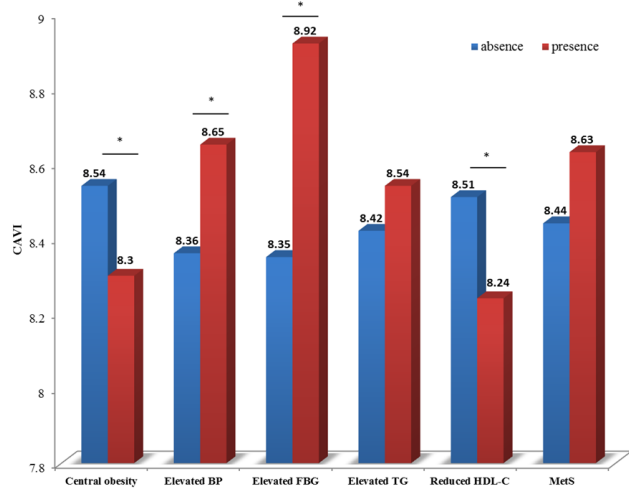
Abbreviations: See Table 1.

<sup>a</sup>Significantly different from normal weight at  $P<0.05$ , <sup>b</sup>Significantly different from overweight at  $P<0.05$ .

았다( $P=0.036$ ) (Table 2). CAVI는 남녀 모두에서 정상체중군보다 비만군에서 유의하게 낮았다(각각  $P<0.05$ ) (Figure 2). 또한 복부비만, HDL-C의 감소에 대해서는 위험요인이 존재하는 군보다 위험요인이 없는군에서 높은 CAVI치를 보였다. 그러나 높은 혈압, 고혈당에 대해서는 위험요인이 없는군보다 위험요인이 존재하는 군에서 높은 CAVI치를 나타냈다(각각  $P<0.05$ ) (Figure 3). 또한 대사증후군 진단군은 대사증후군 비진단군보다 CAVI치가 높은 경향을 보였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다.



**Figure 2.** Comparison of cardio-ankle vascular index (CAVI) values according to degree of obesity. Abbreviations: See Table 1. <sup>a</sup>Significantly different from normal weight at  $P<0.05$ .



**Figure 3.** Differences in cardio-ankle vascular index (CAVI) levels with and without metabolic syndrome risk factors. Abbreviations: See Table 1. \* $P<0.05$ .

### 3. CAVI에 영향을 미치는 요인

성별( $P=0.047$ ), 연령( $P<0.001$ ), BMI ( $P<0.001$ ), 허리둘레 ( $P=0.009$ )는 CAVI로 측정된 동맥 경직도에 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 또한 CAVI가 커지면 BMI는 작아지는 역상관 관계에 있으며, BMI는 CAVI로 측정된 동맥 경직도에 미치는 영향력이 다른 지표들 보다 큰 것으로 나타났다(Table 3).

### 4. CAVI와 대사증후군 위험요인 및 BMI과의 연관성

남성에서 연령( $r=0.232$ ,  $P<0.001$ ), BMI ( $r=-0.101$ ,  $P=0.026$ ), 수축기 혈압( $r=0.145$ ,  $P=0.001$ ), 공복혈당( $r=0.246$ ,  $P<0.001$ )은 CAVI와 상호 유의한 연관성을 나타냈으며, 여성에서도 연령( $r=0.288$ ,  $P<0.001$ ), BMI ( $r=-0.229$ ,  $P=0.005$ ), 수축기 혈압( $r=0.194$ ,  $P=0.018$ ), 공복혈당( $r=0.185$ ,  $P=0.025$ )이 CAVI와 유의한 연관성을 보였다. 또한 남녀 모두에서 CAVI는 BMI와 유의한 역상관 관계를 보였다(Table 4). 또한 CAVI  $\geq 9$  m/s 이상과 미만으로 나누어 대사증후군 위험요인 유무 및 비만 정도에 따른 CAVI 위험치 발병률을 확인한 결과, 여성보다 남성에서 CAVI의 위험치 발병률을 2.14배 높았으며, 높은 혈압군은 정상 혈압군보다 CAVI의 위험치 발병률이 1.48배 높았다. 고혈당군은 정상혈당군보다 높은 CAVI치를 보일 확률이 3.04배 높았으며, 비만군은 정상체중군보다 높은 CAVI치를 보일 확률이 0.37배 낮은 것으로 나타났다. 따라서 성별, 높은 혈압, 고혈당, 비만은 높은 CAVI치의 독립적인 예측인자로 나타났다(Table 5).

## 고찰

이 연구는 건강한 노인에서 CAVI로 측정된 동맥 경직도와

**Table 3.** Correlation of cardio-ankle vascular index (CAVI) with metabolic syndrome risk factors by multiple regression

Variables	$\beta$	SE	$P$ value
Gender	0.082	0.121	<b>0.047</b>
Age (years)	0.206	0.009	<b>&lt;0.001</b>
BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	-0.263	0.024	<b>&lt;0.001</b>
WC (cm)	0.164	0.009	<b>0.009</b>
sBP (mmHg)	0.112	0.005	<b>0.047</b>
dBP (mmHg)	-0.004	0.007	0.944
TC (mg/dL)	-0.197	0.009	0.444
TG (mg/dL)	0.100	0.001	0.158
HDL-C (mg/dL)	0.120	0.010	0.254
LDL-C (mg/dL)	0.182	0.010	0.450
GLU (mg/dL)	0.215	0.002	<b>&lt;0.001</b>

$R^2=0.172$ , adjusted  $R^2=0.157$ ,  $P<0.001$

Abbreviations: See Table 1; SE, standard error.

BMI간의 연관성을 조사하였다. 그 결과, 남녀 모두에서 CAVI치는 정상체중군보다 비만군에서 낮았으며, CAVI와 BMI는 역상관 관계를 보였다. 또한 성별, 높은 혈압, 고혈당은 CAVI치의 독립적인 정적 예측인자이지만, 비만은 부적 예측인자였다.

과체중과 비만은 비정상적으로 과도한 지방축적을 의미하며, 인슐린 저항성, 이상지질혈증 및 고혈압과 관련되어 있어 혈관 재형성 및 심혈관계 위험을 증가시킨다[6, 23, 24]. 비만에 의한 인슐린 저항성은 혈관경직(vascular stiffening) 및 당뇨병성 혈관병증(diabetic vasculopathy)에 대한 독립적인 예측 인자로 인식되며[25], 동맥경화는 수축기 혈압 및 심실 질량을 증가시킬 뿐만 아니라 이완기 관상동맥 관류(coronary perfusion)를 감소시킨다[26].

최근 심장-발목 혈관지수(cardio-ankle vascular index, CAVI)라는 새로운 동맥경화 진단 지표가 개발되어 혈압에 관계 없이 동맥 경직도를 정량화 할 수 있게 되었다[7-10]. Ohashi 등[27]은 CAVI의 증가가 CT에 의해 측정된 내장지방 면적과 더불어 연령, 혈압, HbA1c과 관련이 있음을 확인하였다. 또한 CAVI는 대사증후군 및 복부비만 대상자에서 높고, 체중 감소에

의해 감소하는 것으로 나타났다[1]. 이와 같이 체중 증가는 동맥 경직도의 위험인자인 반면, BMI와 CAVI 사이에 역상관 관계가 보고된다[6]. Park 등[28]은 내장지방과 심외막 지방은 CAVI와 유의한 상관관계를 보이는 반면, BMI는 CAVI와 음의 상관관계가 있다고 보고했다.

본 연구결과, 남녀 노인에서 CAVI치는 정상체중군보다 비만군에서 낮았으며, 비만군은 정상체중군보다 높은 CAVI치를 보일 확률이 낮게 나타났다. 따라서 BMI와 CAVI로 측정된 동맥 경직도는 역상관 관계를 보였다.

Nagayama 등[6]은 건강한 일본인을 대상으로 CAVI와 BMI 사이에 역상관 관계가 있음을 보여 주었고, 이는 대사장애가 없는 비만인에서 동맥 경직도의 감소가 나타날 수 있음을 시사하는 결과라고 하였다. 더욱이 성별로는 남성, 고혈압 및 내당능 장애는 동맥 경직도의 독립적인 정적 예측인자로 밝혀졌지만, 비만은 부적 예측인자로 확인되었다. 일본인을 대상으로 한 또 다른 연구에서도 성별, 연령, BMI 및 수축기 혈압은 CAVI와 관련된 주요 독립변수로 보고된다[29]. Prentner 등[30]은 고령의 남성 당뇨병환자를 대상으로 CAVI는 BMI와 유의한 역상관 관계

**Table 4.** Correlation coefficient of cardio-ankle vascular index with metabolic syndrome risk factors

Variables	Male		Female	
	<i>r</i>	<i>P</i> value	<i>r</i>	<i>P</i> value
Age (years)	0.232	<0.001	0.288	<0.001
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	-0.101	0.026	-0.229	0.005
WC (cm)	-0.004	0.935	-0.081	0.328
sBP (mmHg)	0.145	0.001	0.194	0.018
dBp (mmHg)	0.076	0.096	0.055	0.505
TC (mg/dL)	0.062	0.174	-0.112	0.177
TG (mg/dL)	0.026	0.564	0.091	0.273
HDL-C (mg/dL)	0.055	0.230	-0.127	0.124
LDL-C (mg/dL)	0.031	0.492	-0.086	0.301
GLU (mg/dL)	0.246	<0.001	0.185	0.025

Abbreviations: See Table 1.

**Table 5.** Odds ratio (95% CI) for high cardio-ankle vascular index (CAVI)

	Odds ratio	95% CI	<i>P</i> value
Gender (male; 1, female; 0)	2.135	1.367~3.334	0.001
Central obesity	1.155	0.745~1.789	0.520
Elevated BP	1.482	1.035~2.120	0.032
Reduced HDL-C	0.789	0.508~1.224	0.290
Elevated GLU	3.036	1.913~4.817	<0.001
Elevated TG	1.310	0.889~1.930	0.173
Normal weight (reference)			
Overweight	0.688	0.427~1.109	0.125
Obesity	0.371	0.228~0.604	<0.001

Abbreviations: See Table 1; CI, confidence interval; BP, blood pressure.

를 보였으며, 당뇨병 단계가 진행됨에 따라 BMI가 감소하고 이는 동맥경화와 관련된다고 보고하였다. 노인을 대상으로 한 본 연구에서도 남성, 높은 혈압, 고혈당은 CAVI치의 독립적인 정적 예측인자이지만, 비만은 부적 예측인자로 나타나 선행 연구결과와 유사하였다[6, 29]. 또한 성별, 연령, BMI, 허리둘레는 CAVI에 영향을 미치는 요인으로 나타났다.

BMI가 동맥경화에 미치는 영향에 대한 기전은 아직 완전히 이해되지 않고 있다. 그러나 체중 증가가 심혈관 질환 발병 위험을 증가시키에도 불구하고 심부전, 고혈압 및 만성 신장질환이 있는 비만환자가 정상체중 환자보다 사망률이 낮고 예후도 좋다고 보고되기도 한다[31-34]. 또한 비만인의 10~25%는 인슐린 감수성으로 인해 대사적으로 건강한 비만에 속한다고 보고된다[35]. 그러나 본 연구에서는 대사장애가 없는 비만인에 대한 분류가 이루어지지 않아 지방조직의 축적과 동맥의 병리생리학적 관계를 확인하기 위해 전향적인 연구를 통한 설명이 필요하다.

심혈관 위험요인이 없는 건강한 피험자에서 CAVI는 20세~79세까지 선형적으로 증가한다고 알려져 있다[7]. 또한 공복 혈당장애는 당뇨병 환자에서 CAVI 증가의 독립적인 위험인자이며, 인슐린 요법으로 혈당치를 낮추면 상대적으로 짧은 시간에 CAVI가 감소하는 것으로 나타났다 [7, 9, 36]. 본 연구에서도 고혈당군은 정상혈당군보다 높은 CAVI치를 보일 확률이 3.04배 높았으며, 이는 고혈당이 동맥경화와 유의한 관련이 있는 중요한 요인 중 하나임을 나타내는 결과이다.

남성에서 흡연은 CAVI와 BMI의 관계를 분석하는데 있어서 중요한 역할을 할 것을 추론된다. 그러나 이 연구에서는 정확한 정보를 수집하는데 어려움이 있어 분석에 포함하지 못하였으며, 흡연을 포함한 다양한 개인 정보를 반영한 추가 연구가 필요하다. 또한 BMI와 CAVI 사이의 연관성을 확인하였지만, BMI와 CAVI간의 병리생리학적 관계는 조사할 수 없었다. 결론적으로, 이 연구는 노인을 대상으로 CAVI와 BMI간에 역상관 관계를 나타내며, BMI로 측정된 비만은 CAVI의 부적 예측인자임을 확인하였다.

## 요약

비만과 혈관 경직도간에 역상관 관계가 보고되고 있으나, 고령자나 노인에서는 일관된 결과를 보이고 있지 않다. 이 연구에서는 건강한 노인을 대상으로 CAVI로 측정된 동맥 경직도와 BMI간의 연관성을 조사하였다. 이 연구는 2018년 7월부터 2019년 6월까지 경기지역 종합병원에서 건강검진을 시행한

65세 이상 건강한 노인을 629명을 대상으로 하였다. 대사증후군 진단은 US National Cholesterol Education Program (NCEP)의 Adult Treatment Panel (ATP) III의 기준에 따랐으며, NCEP-ATP III의 기준 중 허리둘레 및 비만기준은 WHO의 기준에 따랐다. 모든 연구 대상자는 생화학적 혈액검사 및 CAVI를 측정하였다. 남녀 모두에서 CAVI치는 정상체중군보다 비만군에서 낮았으며, 성별( $P=0.047$ ), 연령( $P<0.001$ ), BMI ( $P<0.001$ ), 허리둘레( $P=0.009$ )는 CAVI에 영향을 미치는 요인이었다. 또한 성별, 높은 혈압, 고혈당은 CAVI치의 독립적인 정적 예측인자이지만, 비만은 부적 예측인자로 나타나 CAVI와 BMI는 역상관 관계를 보였다. 결론적으로, 이 연구는 노인을 대상으로 CAVI와 BMI간에 역상관 관계를 나타내며, BMI로 측정된 비만은 CAVI의 부적 예측인자였다.

**Acknowledgements:** None

**Conflict of interest:** None

**Author's information (Position):** Shin KA, Professor.

## REFERENCES

1. Nagayama D, Endo K, Ohira M, Yamaguchi T, Ban N, Kawana H, et al. Effects of body weight reduction on cardio-ankle vascular index (CAVI). *Obes Res Clin Pract.* 2013;7:E139-145. <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2011.08.154>.
2. Vlachopoulos C, Aznaouridis K, O'Rourke MF, Safar ME, Baou K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with central haemodynamics: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J.* 2010;31:1865-1871. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq024>.
3. Mitchell GF, Hwang SJ, Vasan RS, Larson MG, Pencina MJ, Hamburg NM, et al. Arterial stiffness and cardiovascular events: the Framingham Heart Study. *Circulation.* 2010;121:505-511. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.109.886655>.
4. Tanaka H, Munakata M, Kawano Y, Ohishi M, Shoji T, Sugawara J, et al. Comparison between carotid-femoral and brachial-ankle pulse wave velocity as measures of arterial stiffness. *J Hypertens.* 2009;27:2022-2027. <https://doi.org/10.1097/hjh.0b013e32832e94e7>.
5. Sugawara J, Hayashi K, Yokoi T, Cortez-Cooper MY, DeVan AE, Anton MA, et al. Brachial-ankle pulse wave velocity: an index of central arterial stiffness? *J Hum Hypertens.* 2005;19:401-406. <https://doi.org/10.1038/sj.jhh.1001838>.
6. Nagayama D, Imamura H, Sato Y, Yamaguchi T, Ban N, Kawana H, et al. Inverse relationship of cardioankle vascular index with BMI in healthy Japanese subjects: a cross-sectional study. *Vasc Health Risk Manag.* 2016;13:1-9. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s119646>.
7. Shirai K, Hiruta N, Song M, Kurosu T, Suzuki J, Tomaru T, et al.

- Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives. *J Atheroscler Thromb.* 2011;18:924-938. <https://doi.org/10.5551/jat.7716>.
8. Saiki A, Sato Y, Watanabe R, Watanabe Y, Imamura H, Yamaguchi T, et al. The role of a novel arterial stiffness parameter, cardio-ankle vascular index (CAVI), as a surrogate marker for cardiovascular diseases. *J Atheroscler Thromb.* 2016;23:155-168. <https://doi.org/10.5551/jat.32797>.
  9. Shirai K, Utino J, Otsuka K, Takata M. A novel blood pressure-independent arterial wall stiffness parameter; cardio-ankle vascular index (CAVI). *J Atheroscler Thromb.* 2006;13:101-107. <https://doi.org/10.5551/jat.13.101>.
  10. Gómez-Marcos MÁ, Recio-Rodríguez JI, Patino-Alonso MC, Agudo-Conde C, Gómez-Sánchez L, Gomez-Sanchez M, et al. Cardio-ankle vascular index is associated with cardiovascular target organ damage and vascular structure and function in patients with diabetes or metabolic syndrome, LOD-DIABETES study: a case series report. *Cardiovasc Diabetol.* 2015;14:7. <https://doi.org/10.1186/s12933-014-0167-y>.
  11. Sun CK. Cardio-ankle vascular index (CAVI) as an indicator of arterial stiffness. *Integr Blood Press Control.* 2013;27-38. <https://doi.org/10.2147/ibpc.s34423>.
  12. Laucevičius A, Rylškytė L, Balsytė J, Badarienė J, Puronaitė R, Navickas R, et al. Association of cardio-ankle vascular index with cardiovascular risk factors and cardiovascular events in metabolic syndrome patients. *Medicina (Kaunas).* 2015;51:152-158. <https://doi.org/10.1016/j.medici.2015.05.001>.
  13. Sato Y, Nagayama D, Saiki A, Watanabe R, Watanabe Y, Imamura H, et al. Cardio-ankle vascular index is independently associated with future cardiovascular events in outpatients with metabolic disorders. *J Atheroscler Thromb.* 2016;23:596-605.
  14. Izuhara M, Shioji K, Kadota S, Baba O, Takeuchi Y, Uegaito T, et al. Relationship of cardio-ankle vascular index (CAVI) to carotid and coronary arteriosclerosis. *Circ J.* 2008;72:1762-1767. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-08-0152>.
  15. Kadota K, Takamura N, Aoyagi K, Yamasaki H, Usa T, Nakazato M, et al. Availability of cardio-ankle vascular index (CAVI) as a screening tool for atherosclerosis. *Circ J.* 2008;72:304-308. <https://doi.org/10.1253/circj.72.304>.
  16. Takaki A, Ogawa H, Wakeyama T, Iwami T, Kimura M, Hadano Y, et al. Cardio-ankle vascular index is superior to brachial-ankle pulse wave velocity as an index of arterial stiffness. *Hypertens Res.* 2008;31:1347-1355. <https://doi.org/10.1291/hypres.31.1347>.
  17. Kubozono T, Miyata M, Ueyama K, Hamasaki S, Kusano K, Kubozono O, et al. Acute and chronic effects of smoking on arterial stiffness. *Circ J.* 2011;75:698-702. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-10-0552>.
  18. Satoh N, Shimatsu A, Kato Y, Araki R, Koyama K, Okajima T, et al. Evaluation of the cardio-ankle vascular index, a new indicator of arterial stiffness independent of blood pressure, in obesity and metabolic syndrome. *Hypertens Res.* 2008;31:1921-1930. <https://doi.org/10.1291/hypres.31.1921>.
  19. Wildman RP, Mackey RH, Bostom A, Thompson T, Sutton-Tyrrell K. Measures of obesity are associated with vascular stiffness in young and older adults. *Hypertension.* 2003;42:468-473. <https://doi.org/10.1161/01.hyp.0000090360.78539.cd>.
  20. World Health Organization. The Asia-Pacific Perspective: Redefining obesity and its treatment. Sydney, Australia: Health Communications Australia Pty Ltd; 2000. p19-20.
  21. Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults. Executive summary of the third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA.* 2001;285:2486-2497. <https://doi.org/10.1001/jama.285.19.2486>.
  22. Nakamura K, Tomaru T, Yamamura S, Miyashita Y, Shirai K, Noike H. Cardio-ankle vascular index is a candidate predictor of coronary atherosclerosis. *Circ J.* 2008;72:598-604. <https://doi.org/10.1253/circj.72.598>.
  23. Yusuf S, Hawken S, Ounpuu S, Bautista L, Franzosi MG, Commerford P, et al. Obesity and the risk of myocardial infarction in 27,000 participants from 52 countries: a case-control study. *Lancet.* 2005;366:1640-1649. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)67663-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)67663-5).
  24. Britton KA, Massaro JM, Murabito JM, Kreger BE, Hoffmann U, Fox CS. Body fat distribution, incident cardiovascular disease, cancer, and all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol.* 2013;62:921-925. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.06.027>.
  25. Jia G, Sowers JR. Endothelial dysfunction potentially interacts with impaired glucose metabolism to increase cardiovascular risk. *Hypertension.* 2014;64:1192-1193. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.114.04348>.
  26. Westerhof N, O'Rourke MF. Haemodynamic basis for the development of left ventricular failure in systolic hypertension and for its logical therapy. *J Hypertens.* 1995;13:943-952. <https://doi.org/10.1097/00004872-199509000-00002>.
  27. Ohashi N, Ito C, Fujikawa R, Yamamoto H, Kihara Y, Kohno N. The impact of visceral adipose tissue and high-molecular weight adiponectin on cardio-ankle vascular index in asymptomatic Japanese subjects. *Metabolism.* 2009;58:1023-1029. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2009.03.005>.
  28. Park HE, Choi SY, Kim HS, Kim MK, Cho SH, Oh BH. Epicardial fat reflects arterial stiffness: assessment using 256-slice multi-detector coronary computed tomography and cardio-ankle vascular index. *J Atheroscler Thromb.* 2012;19:570-576. <https://doi.org/10.5551/jat.12484>.
  29. Nagayama D, Yamaguchi T, Saiki A, Imamura H, Sato Y, Ban N, et al. High serum uric acid is associated with increased cardio-ankle vascular index (CAVI) in healthy Japanese subjects: a cross-sectional study. *Atherosclerosis.* 2015;239:163-168. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2015.01.011>.
  30. Prentner SB, Chirinos JA. Arterial stiffness in diabetes mellitus. *Atherosclerosis.* 2015;238:370-379. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2014.12.023>.
  31. Morse SA, Gulati R, Reisin E. The obesity paradox and cardiovascular disease. *Curr Hypertens Rep.* 2010;12:120-126. <https://doi.org/10.1007/s11906-010-0099-1>.
  32. Ciccoira M, Maggioni AP, Latini R, Barlera S, Carretta E, Janosi A, et al. Body mass index, prognosis and mode of death in chronic heart failure: results from the Valsartan Heart Failure Trial. *Eur J Heart Fail.* 2007;9:397-402. <https://doi.org/10.1016/j.ejheart.2006.10.016>.



33. Fonarow GC, Srikanthan P, Costanzo MR, Cintron GB, Lopatin M; ADHERE Scientific Advisory Committee and Investigators. An obesity paradox in acute heart failure: analysis of body mass index and inhospital mortality for 108,927 patients in the Acute Decompensated Heart Failure National Registry. *Am Heart J*. 2007;153:74-81. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2006.09.007>.
34. Wu AH, Eagle KA, Montgomery DG, Kline-Rogers E, Hu YC, Aaronson KD. Relation of body mass index to mortality after development of heart failure due to acute coronary syndrome. *Am J Cardiol*. 2009;103:1736-1740. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2009.02.026>.
35. Blüher M. The distinction of metabolically 'healthy' from 'unhealthy' obese individuals. *Curr Opin Lipidol*. 2010;21:38-43. <https://doi.org/10.1097/mol.0b013e3283346ccc>.
36. Kim KJ, Lee BW, Kim HM, Shin JY, Kang ES, Cha BS, et al. Associations between cardio-ankle vascular index and microvascular complications in type 2 diabetes mellitus patients. *J Atheroscler Thromb*. 2011;18:328-336. <https://doi.org/10.5551/jat.5983>.