

**CONTENTS** 목차

**CHAPTER 01** 맥파전달속도와 발목상완지수 ..... 1  
Pulse Wave Velocity and Ankle Brachial Index

**CHAPTER 02** 중심동맥압의 평가 ..... 17  
Arterial Tonometry

**CHAPTER 03** 24시간 활동혈압 검사 ..... 35  
Ambulatory Blood Pressure Monitoring

**CHAPTER 04** 내피세포 기능 검사 ..... 47  
Endothelial Function Test

**CHAPTER 05** 자율신경검사 ..... 59  
Autonomic Function Test

**CHAPTER 06** 맥박용적기록을 이용한 하지동맥병의 평가 ..... 81  
Pulse Volume Recordings (PVR) for Peripheral Artery

**CHAPTER 07** 경동맥 초음파 ..... 105  
Carotid Ultrasound

**CHAPTER 08** 신장동맥 초음파 ..... 119  
Ultrasound for Renal Artery

**CHAPTER 09** 복부대동맥류 초음파 ..... 139  
Ultrasound for Abdominal Aortic Aneurysm

**CHAPTER 10** 정맥혈전증 초음파 ..... 151  
Ultrasound for Deep Vein Thrombosis

**CHAPTER 11** 정맥 기능 초음파 ..... 167  
Ultrasound for Chronic Vein Insufficiency

**INDEX** ..... 185

# 맥파전달속도와 발목상완지수

## Pulse Wave Velocity and Ankle Brachial Index

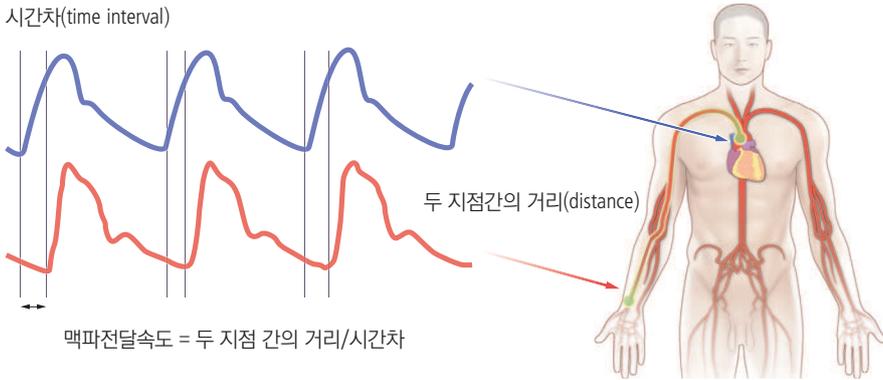
서울의대 강시혁 / 서울의대 이해영

### I. 개요

맥파전달속도(pulse wave velocity, PWV)는 혈관경직도(arterial stiffness)를 평가하는 검사 방법이다. 심장과 혈관으로 구성된 순환계(circulatory system)는 우리 몸 구석구석으로 혈액을 보내기 위한 최적의 구조를 가지고 있다. 근육세포로 이루어져 있는 심장은 수축(systole)과 이완(diastole)을 반복하며 혈액을 내보내게 되는데, 이와 같은 혈액 전달을 맥파(脈波, pulse wave)라고 부른다.

심장의 주기에 따른 맥파를 온 몸으로 전달해주는 역할은 혈관이 담당한다. 혈관은 단순히 수로처럼 혈액이 흐르는 도관(conduit)의 역할을 할 뿐만 아니라, 탄성을 가지고 있어 혈관의 내경이 커졌다 작아졌다 하면서 압력을 완충하는 쿠션역할도 한다. 이 때문에 압력의 파형(waveform)은 대동맥에서부터 말초로 가면서 모양이 변하게 된다.

이와 같은 파형의 변화를 정량화한 비침습적 검사 방법이 바로 맥파전달속도(pulse wave velocity, PWV)이다(그림 1-1). 젊고 건강한 사람의 경우 혈관의 탄성이 좋고 경직도는 낮은 반면, 노화가 진행되고 혈관이 탄성을 잃게 되면 경직도는 증가하게 된다. 혈관의 탄성이 좋고 경직도가 낮으면 맥파가 혈관을 따라 전달되는 속도는 느려지게 된다. 반면, 혈관의 탄성이 떨어지고 경직도가 증가하는 경우 맥파의 속도는 상대적으로 빨라지게 된다.



■ 그림 1-1. 맥파전달속도(pulse wave velocity, PWV)

파형증가 지수(augmentation index)도 맥파 분석을 통해 혈관경직도를 평가하는 방법 중 하나이다. 혈관의 탄성으로 인해 파동은 정방향으로 진행할 뿐 아니라, 반대방향으로도 발생한다는 데에서 착안한 측정치이다(2장 참조).

동맥경직도는 혈관 기능과 밀접한 관계를 가지고 있다. 최근 동맥경직도가 심혈관질환 발생을 예측하는 지표로 활용될 수 있다는 연구 결과가 쌓이면서 PWV 검사에 대한 관심이 높아지고 있다.

## II. 검사의 적응증과 임상적의미

PWV 검사는 고혈압 환자에서 무증상 표적 장기 손상을 평가하기 위해 널리 시행하는 검사 방법 중 하나이다. 동맥경직도 검사 결과가 진단에 쓰이거나 직접적인 치료의 대상이 되는 것은 아니다. 2017년 유럽 고혈압 진료지침에 따르면 PWV가 동맥경화에 동반된 동맥경직도를 평가하여 고혈압성 표적장기손상을 평가하는 검사 방법 중 하나로 제시되고 있다(Class of recommendation: IIb). 다만 검사자 간 재현성이 다소 낮고, 임상에서도 활용도가 높지 않아 모든 고혈압 환자에서 검사를 시행하는 것은 추천하고 있지 않다. 2018년 대한고혈압학회 진료지침에서는 고혈압 환자의 기본검사에 추가할 만한 추천 검사로 PWV를 제시하고 있다.

PWV 검사는 다음과 같은 임상적인 의미를 갖는다. 첫째, 심혈관질환의 발생 위험도를 예측할 수 있다. 동맥경직도가 증가한 환자는 향후 심혈관질환 발생의 위험이 높으므로, 심혈관질환 위험인자를 적극적으로 조절하는 것이 추천된다. 둘째, 심혈관질환 위험이 높은 환자에서 치료의 효과를 판단하는 데 도움이 된다. 고혈압 환자에서 적절한 약물 치료

를 통해 통해 PWV 값이 개선된다는 것이 연구를 통해 증명되어 있다. 하지만 PWV를 개선시켰을 때 환자의 장기 예후도 개선된다는 연구 결과는 아직 부족한 것이 사실이다.

### III. 검사 전 준비

- ① 편안한 온도로 설정된 조용한 검사실에서 시행하는 것이 좋다.
- ② 검사 전 10분 이상 편하게 누운 자세로 휴식을 취한다.
- ③ 검사 전 3시간 동안 식사, 커피, 흡연은 피한다.
- ④ 검사 중 말을 하거나, 잠이 드는 경우 검사 결과가 부정확하게 나올 수 있다.
- ⑤ 호흡에 따라 검사 결과의 변동이 있을 수 있어 적어도 5-6초 동안은 검사를 시행해야 한다.
- ⑥ 하루 중 측정 시간에 따라 검사 결과가 달라질 수 있어, 같은 시간대에 2-3차례 검사를 반복하면 더 정확한 측정값을 얻을 수 있다.
- ⑦ 두 번 측정하여 평균을 이용하면 더 정확한 값을 얻을 수 있다. 두 측정값이 0.5 m/s 이상 차이 나는 경우 한번 더 검사를 시행하여 세가지 값의 중간값(median)을 사용한다.
- ⑧ 진료실에서는 백의효과(white coat effect)가 있을 수 있으므로 해석에 주의를 요한다.
- ⑨ 다음과 같은 경우 부정확한 carotid-femoral PWV (cfPWV) 값을 얻게 될 수 있다: 부정맥, 임상적으로 불안정한 상황, 경동맥 협착, 경동맥동증후군(carotid sinus syndrome)

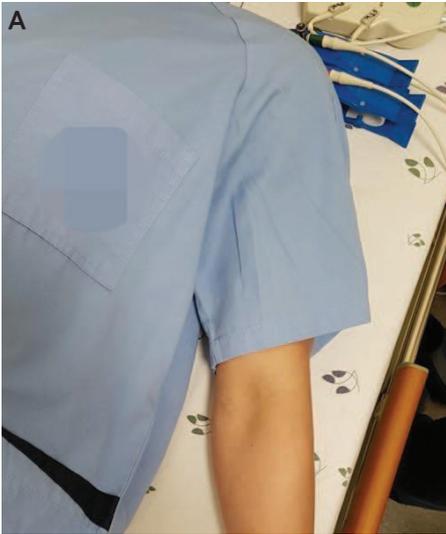
### IV. 검사 방법

널리 쓰이는 PWV 측정 방법으로는 carotid-femoral PWV (cfPWV)와 brachial-ankle PWV (baPWV)가 있다. 미국과 유럽에서는 cfPWV가 많이 쓰이고 있고 연구 결과도 많이 축적되어 있다. 하지만 우리나라와 일본에서는 현재 baPWV가 널리 쓰이고 있어 여기에서는 baPWV를 중심으로 기술하도록 하겠다. 참고로 아래에 기술된 검사 기기는 Omron사의 VP-1000 이다.

1. 적절한 크기의 cuff를 선택한다.
  - 1) Size M: 상완둘레 20-32 cm
  - 2) Size L: 상완둘레 30-38 cm
  - 3) Size S: 상완둘레 16-25 cm
2. 환자가 천장을 보도록 눕게 하고, 상완을 노출시킨다. 상완에 압력이 가해지면 검사 결과가 부정확할 수 있으므로, 상의를 벗거나 조이지 않는 얇은 옷으로 갈아입는 것이 좋

다(A).

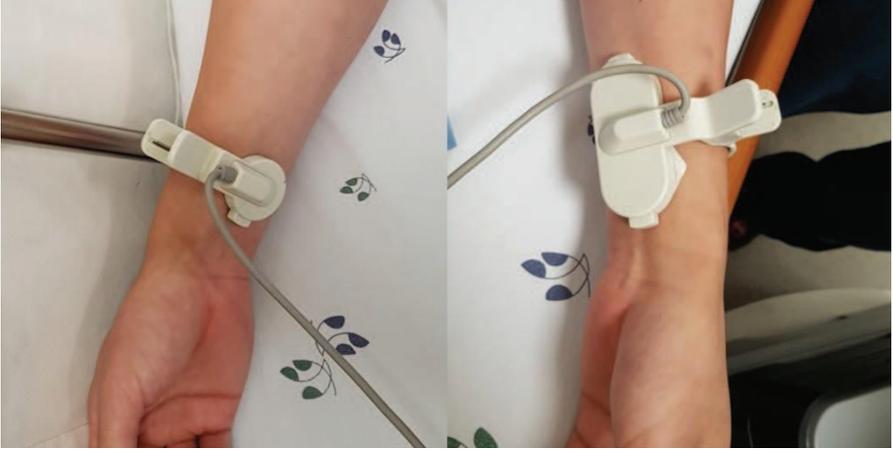
3. 상완의 cuff를 감는다. “Artery position” 표시가 상완의 안쪽에 오도록 감는다. 커프의 하단이 팔꿈치에서 1-2 cm 정도 위에 위치하도록 한다(B).



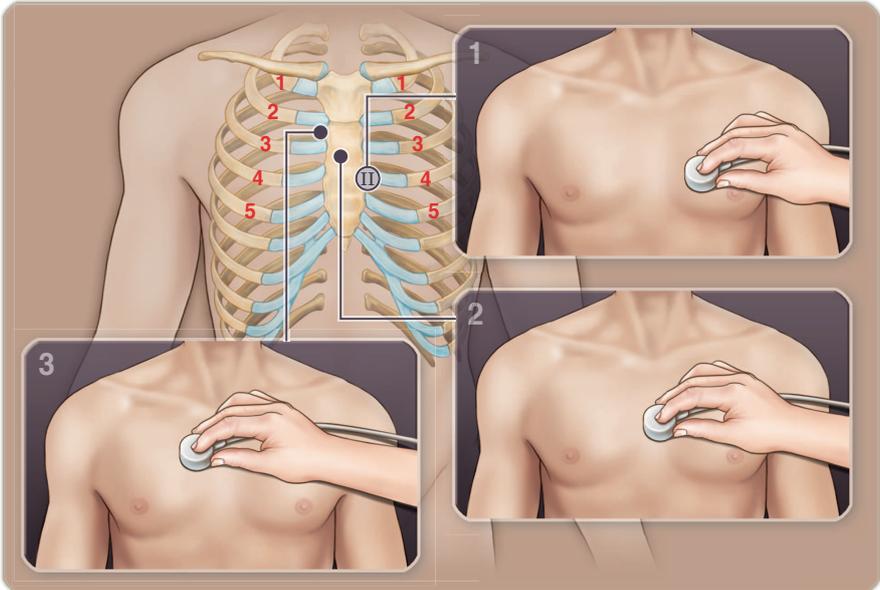
4. 발목 cuff를 감는다. Cuff의 하단이 안쪽 발목뼈 바로 위에 위치하도록 한다. 발목 쪽 cuff (ankle side)를 먼저 감고, 이어서 다리쪽 cuff (calf side)를 감는다.



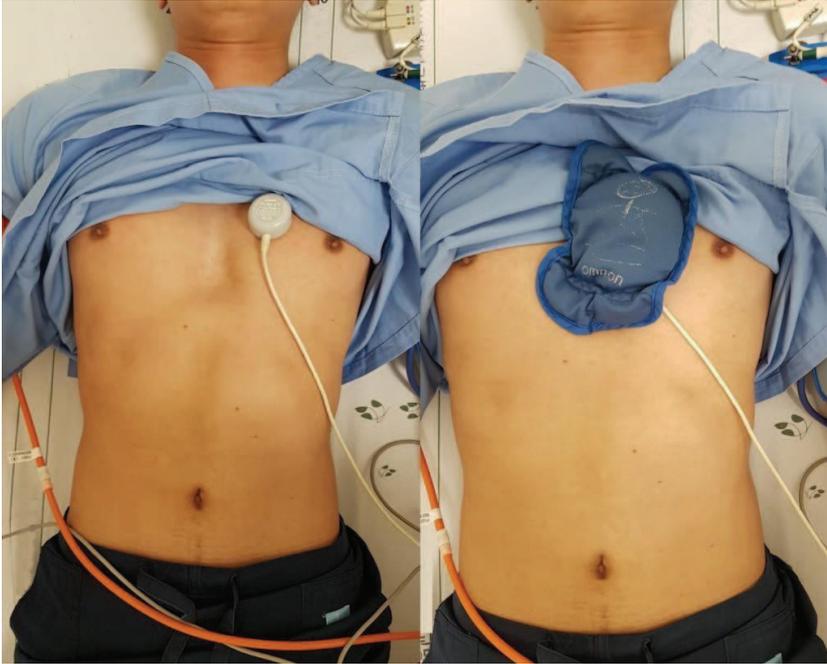
5. 심전도(electrocardiogram, ECG) 전극을 양쪽 손목에 부착한다.



6. 심음도(phonocardiogram, PCG) 센서 패드를 가슴에 위치시킨다. 소리가 가장 잘 들리는 곳을 찾는다(화면에 “PCG: OK”라는 문구가 표시된다). ① 네 번째 갈비뼈와 흉골이 만나는 위치가 측정에 유리한 위치이다. 때로는 ② 세 번째 갈비뼈 높이의 중간 위치나, ③ 두 번째 갈비뼈가 흉골과 만나는 위치가 적절한 경우도 있다.



7. PCG가 잘 측정되지 않으면 PCG sensor weight를 올리면 도움이 된다.



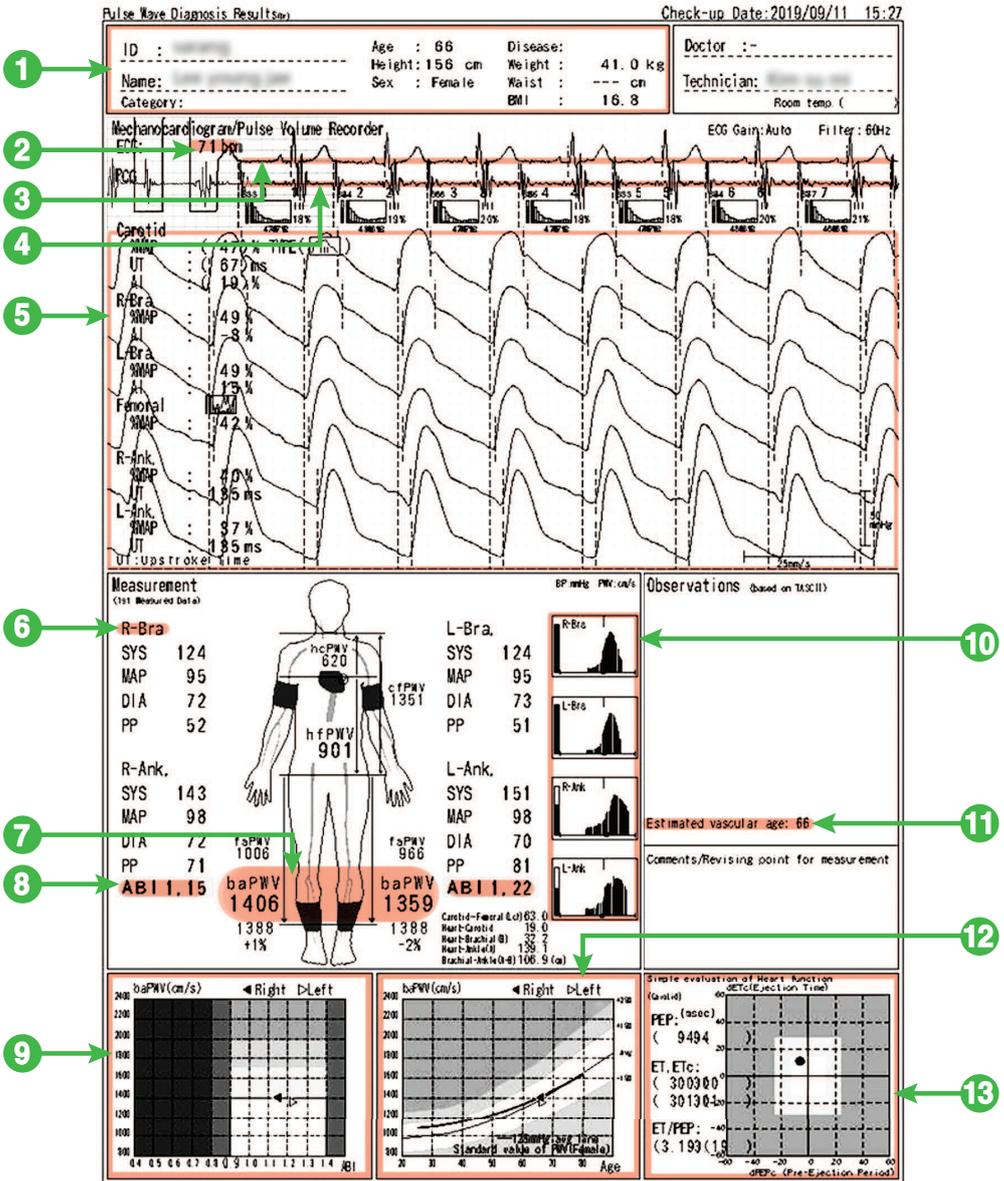
8. (병원 프로토콜에 따라) cfPWV를 측정하는 경우 경동맥(carotid artery)과 대퇴동맥(femoral artery)을 촉지하여 경동맥 파동센서(carotid arterial pulse sensor, CAP)와 대퇴동맥 파동센서(femoral arterial pulse sensor, FAP)를 적절한 위치에 놓는다.



9. 기기의 사용법에 따라 검사를 수행한다.



## V. 검사결과와 보고(실제 Report의 sample)



- ① 환자 정보: 병록번호, 이름, 연령, 성별, 키, 몸무게
- ② 맥박수(heart rate)
- ③ 심전도(electrocardiogram)
- ④ 심음도(phonocardiogram)
- ⑤ Pulse wave form 과 관련된 추가 지표들
  - % MAP: %Mean Arterial Pressure
  - Alx: augmentation index
  - UT: upstroke time
- ⑥ 혈압 측정치: 좌우 상하지 측정값이 제시된다.
- ⑦ baPWV: brachial-ankle PWV
- ⑧ ABI: ankle brachial index
- ⑨ Graph 1: ABI와 PWV 값을 정상치/비정상 분류에 따라 표시한 그림
- ⑩ PVR waveform: 측정된 pulse wave 값
- ⑪ Vascular age: 측정된 PWV 수치에 근거한 혈관 나이
- ⑫ Graph 2: 연령별 분포에 근거한 검사 수치
- ⑬ Graph 3: 좌심실 수축기 시상 분석(Systolic Time Intervals, STI)
  - ET (ejection time)
  - PEP (pre-ejection period)

## VI. 검사결과의 해석

### 1. 경동맥-대퇴동맥 맥파전달속도(carotid-femoral pulse wave velocity, cfPWV)

유럽과 미국에서는 cfPWV 값을 동맥경직도 측정의 표준(gold standard)으로 인정하고 있다. VP-1000에서도 경동맥 파형센서(carotid arterial pulse sensor, CAP)와 대퇴동맥 파형센서(femoral arterial pulse sensor, FAP)를 부착하면 cfPWV 값을 얻을 수 있다. cfPWV가 10 m/s (1000 cm/s) 이상인 경우 동맥경직도가 높은 것으로 평가한다.

The Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration 그룹에서는 2010년 유럽의 8개 국가에서 16,867명을 대상으로 PWV를 측정하여 아래와 같이 reference 값을 제시한 바 있다.

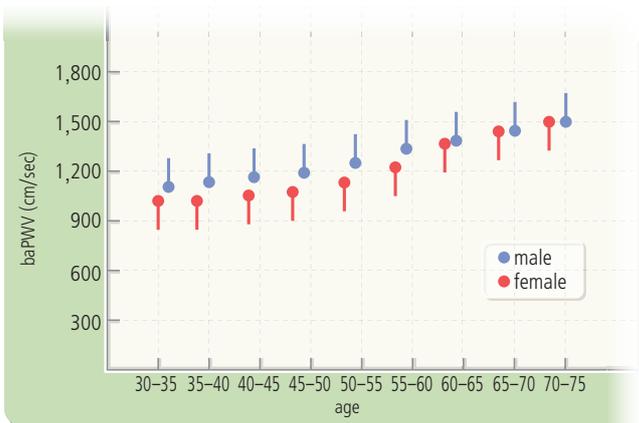
표 1-1. 유럽에서 제시한 cfPWV 의 기준값(m/s)

연령군	평균 (± 표준편차)	중간값 (10-90 percentile)
<30	6.2 (4.9-7.6)	6.1 (5.3-7.1)
30-39	6.5 (3.8-9.2)	6.4 (5.2-8.0)
40-49	7.2 (4.6-9.8)	6.9 (5.9-8.6)
50-59	8.3 (4.5-12.1)	8.1 (6.3-10.0)
60-69	10.3 (5.5-15.0)	9.7 (7.9-13.1)
≥70	10.9 (5.5-16.3)	10.6 (8.0-14.6)

## 2. 상완-발목 맥파전달속도 (brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)

VP-1000 의 보고서는 일본에서 측정된 기준값에 따라 보고된다. 2002년 Tomiyama 등은 일본인 12,517명에서 baPWV 값을 측정하여 성별과 연령에 따라 다음과 같은 분포를 보인다고 보고하였다.

남성	$baPWV=0.20 \times age^2 - 12.13 \times age + 1341.34$
여성	$baPWV=0.16 \times age^2 - 4.40 \times age + 977.52$

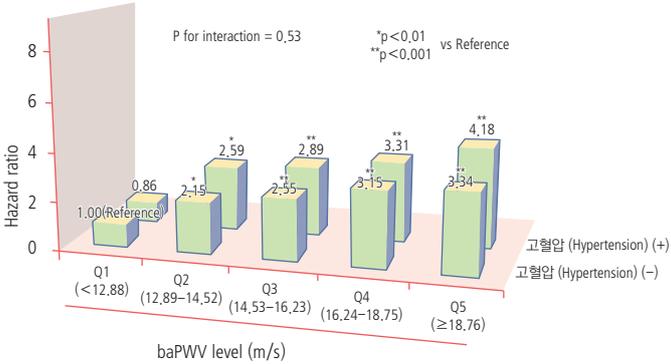


■ 그림 1-2. Tomiyama 등이 보고한 baPWV의 표준측정값

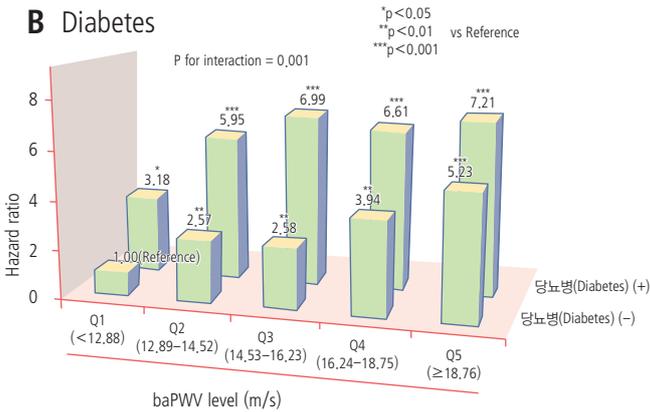
최근 Ohkuyama 등은 최근 일본인 14,673명을 6.4년간 추적한 데이터를 메타분석한 결과를 발표하였다. 연구 결과 아래 그림과 같이 고혈압, 당뇨 유무와 관계 없이 PWV가

심혈관질환 발생 예측에 도움이 되는 것으로 나타났다.

### A Hypertension



### B Diabetes



■ 그림 1-3. baPWV와 심혈관질환 발생의 위험성

## 3. 발목상완지수(ankle brachial index, ABI)

ABI는 다음과 같이 계산된다.

$$ABI = \frac{\text{발목 수축기혈압(ankle systolic pressure)}}{\text{상완 수축기혈압(brachial systolic pressure)}}$$

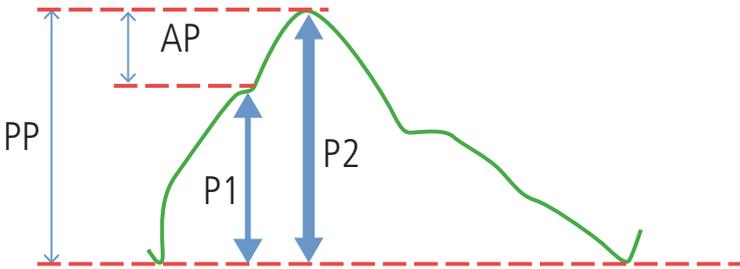
ABI는 하지동맥협착의 지표로 사용되며, 2017년 유럽심장학회 진료지침에서는 다음과 같은 기준으로 해석할 것을 권고하고 있다.

ABI 값	해석
>1.40	혈관의 석회화(calcification, noncompressible vessel)
1.00-1.40	정상(normal)
0.91-0.99	경계(borderlines)
≤0.90	비정상(abnormal) - 하지 말초 혈관 질환 시사

#### 4. 파형증가지수(augmentation index, AIx)

AIx는 pulse wave form을 이용하여 혈관경직도를 정량화한 수치 중 하나이다. 임상에서 많이 사용되고 있는 지표는 아니다. 다음과 같이 계산되며, 값이 높을 수록 혈관경직도가 심함을 시사한다.

$$AIx = \frac{\text{증강압력(augmentation pressure, AP)}}{\text{맥압(pulse pressure, PP)}} \times 100$$



이전 연구결과 한국인 522명에서 AIx 값을 측정하여 말초 AIx 100%를 기준값으로 제시한바 있다. 기타 %MAP (%Mean Arterial Pressure), UT (upstroke time) 등의 값이 제시되지만 아직 PWV만큼 임상데이터가 충분한 것은 아니다.

## VII. 요약

1. 동맥경직도는 진단방법이 아니며 치료의 목표도 아니지만, 심혈관질환의 발생과 사망을 예측하는 유용한 지표이다.
2. 동맥경직도의 측정은 여러 가지 방법이 있으며, 맥파전달속도(Pulse wave velocity,

PWV)는 적은 비용으로 간편하게 측정이 가능하고, 많은 임상연구 결과가 있어 현재 가장 추천되는 방법이다.

3. 맥파속도 측정의 오류를 줄이기 위해서는 일정하고 안정된 환경에서 측정이 이루어져야 하고, 검사자의 많은 노력이 필요하다.

## 참고문헌

1. Van Bortel LM, Laurent S, Boutouyrie P, et al. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity. *J Hypertens* 2012;30:445-8.
2. Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: 'establishing normal and reference values'. *European Heart Journal* 2010;31:2338-50.
3. 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.
4. Chung JW, Lee YS, Kim JH, et al. Reference Values for the Augmentation Index and Pulse Pressure in Apparently Healthy Korean Subjects. *Korean Circ J* 2010;40:165-71.
5. Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *European Heart Journal* 2018;39:763-821.

# 중심동맥압의 평가

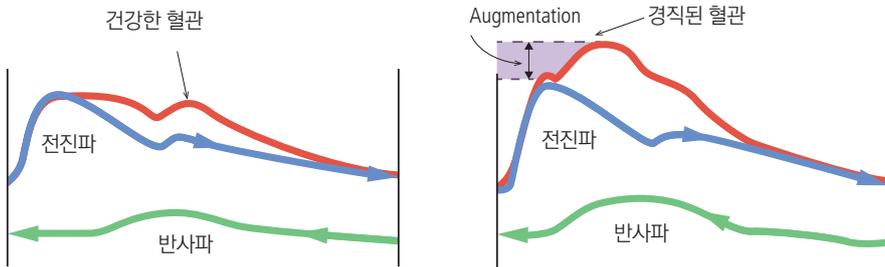
## Arterial Tonometry

한림의대 이선기 / 성균관의대 성기철

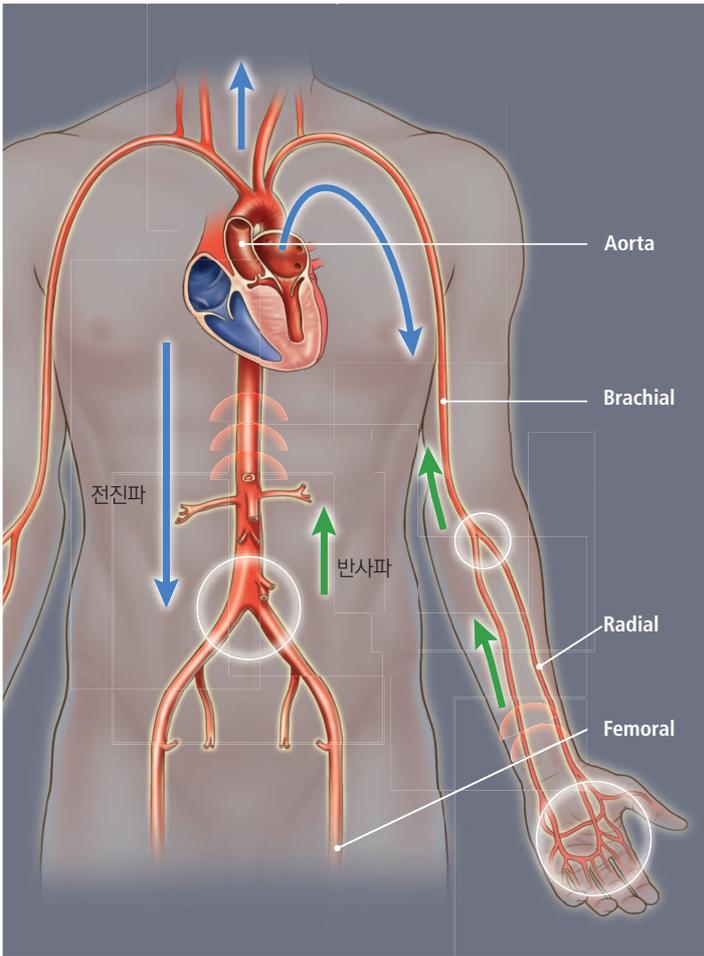
### I. 개요

파형증가 지수(augmentation index, AIx)는 동맥 혈류의 반사파에 의한 맥압 크기를 분석하여 동맥경직도(arterial stiffness)를 평가하는 혈역학적인 측정법이다. 혈관이 경직되면서 심장에서 발생한 전진파와 말초에서 심장으로 돌아오는 반사파의 속도가 빨라지게 되면, 반사파가 중심동맥에 일찍 도착하여 중심동맥의 수축기 압력이 증가하여 수축기 혈압이 상승하게 된다(그림 2-2). 높은 파형증가 지수는 좌심실 부하의 증가를 의미하고, 혈관의 경직도를 나타내는 지표이며, 심혈관질환의 위험과 밀접한 관계가 있다(그림 2-1).

Arterial tonometry법을 통한 중심압력의 측정은 맥파를 분석하여 중심동맥압, 파형증가 지수 등을 측정할 수 있는 대표적인 비침습적 측정법이다. Arterial tonometry법은 동맥을 부분적으로 평평하게 만드는 데 필요한 압력을 감지하여 심장의 박동에 따른 혈압의 변화를 측정한다. 그림 2-3과 같이 여러 개의 독립적인 압력 변화기로 구성된 압력 변환계(pressure transducers)가 피부 아래에 있는 표면 동맥에 밀착되어 측정하게 된다. 연속적

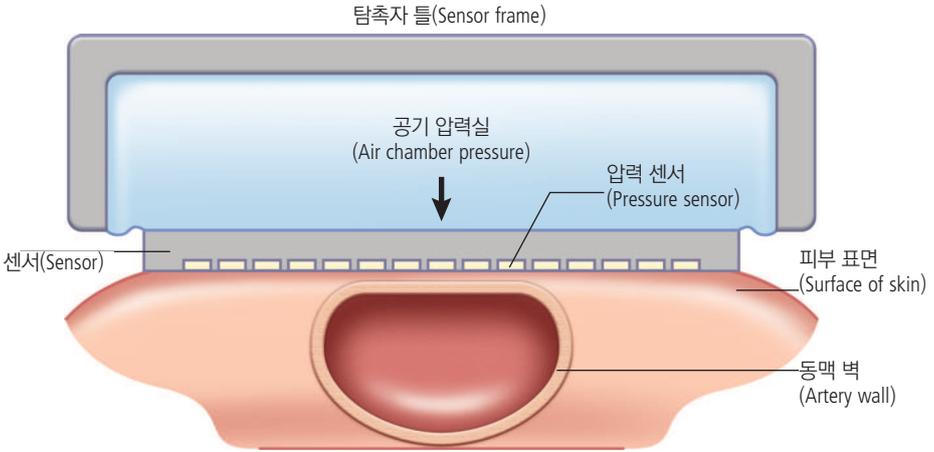


■ 그림 2-1, 2-2. 건강한 혈관과 경직된 혈관에서의 파형. 경직된 혈관에서 반사파의 조기 귀환에 의한 파형증가가 발생함.



■ 그림 2-1, 2-2. 맥파의 전달과 반사파. 심장이 수축할 때마다 동맥을 따라 전진파(forward wave, 파란색 화살표)가 진행하다가, 혈관의 분지(흰색 원)나 말초혈관에서 반사되어 반사파(reflected wave, 초록색 화살표)가 형성됨.

인 파형의 기록은 침습적인 방법으로 얻은 동맥 혈압 파형과 매우 유사한 형태를 띄게 되어 비교적 정확하게 중심동맥압을 측정할 수 있다는 장점이 있지만, 검사자의 숙련도가 필요하며 움직임에 따른 검사의 오차가 심하다는 단점이 있겠다.



■ 그림 2-3. Arterial tonometry법의 모식도. 연속적인(beat-to-beat) 동맥 파형의 획득을 통해 이루어지는 검사이며, 센서(sensor)가 동맥 위에 밀착되어야 정확한 검사가 진행된다.

우리나라도 고령화 사회로 진입함에 따라 혈관 노화와 심혈관 질환이 증가하는 추세이며, 이에 따라 최근 혈관 노화와 동맥경화의 진단과 치료효과 판정에 대한 임상인들의 관심이 증가하고 있다. 또한, 새로운 의료기기의 개발과 발전으로 이를 이용하는 여러 검사법과 임상응용에 관한 새로운 지식들이 나오고 있어 이에 관련된 정보의 올바른 이해가 필요하다.

이에 이 장에서는 현재 혈관의 동맥경직도를 평가하는 대표적인 비침습적 검사 방법으로 알려진 Arterial tonometry 검사의 실제와 검사 결과의 해석에 대해 다뤄보고자 한다.

## II. 검사전 준비

- ① 검사는 조용한 검사실에서 이루어지도록 준비한다.
- ② 측정 전 환자는 안정된 상태를 유지하기 위해 최소 5분 동안 앉거나 누운 자세로 휴식을 취한다.
- ③ 측정 전 최소 12시간 동안 음주를 피해야 하며, 4시간 전부터는 담배 또는 카페인 섭취를 삼가 한다.
- ④ 측정 시간에 따라 검사 결과가 달라질 수 있으므로, 추적 검사를 하는 경우에는 가능한 같은 시간대에 검사를 시행하도록 한다.

⑤ 혈압 측정을 한 후 최소 2분 이상을 기다렸다가 검사를 시작해야 한다.

### III. 검사 방법

말초동맥 맥파 분석을 통해 중심동맥압을 분석하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 호주 AtCor 회사의 SphygomorCor 시스템이 가장 초기부터 사용됐으며, 현재 국내의 가장 많은 병원에서 사용 중이다. 중심동맥압은 이상적으로는 침습적인 방법으로 직접 측정하는 것이 가장 정확하지만, 경동맥이나 요골동맥의 맥파로부터 중심동맥압을 구할 수 있는 여러 방법들이 소개되었고 상용화되고 있다. 여기에서는 Tonomerty형 센서(AtCor Medical)를 통해 요골동맥의 맥파를 측정하는 방법을 중심으로 기술하고자 한다.

#### 1. 시스템 구성 - 본체(Module)



■ 그림 2-4. 본체 구성

- (1) Tonometer : 혈압을 디지털 신호로 측정하여 모듈에 전송하는 부분
- (2) Tonometer 연결부 : Tonometer를 모듈과 연결하는 부분
- (3) 상태표시부 : 모듈의 활동상태를 나타내는 부분

#### 2. 시스템 시작 및 소프트웨어 사용방법

- 1) 모듈이 컴퓨터에 연결되어 있는지 확인하고 전원 램프(녹색등) 및 준비 램프(주황색 등)가 점등 되었는지 확인한다.



■ 그림 2-5. 본체 전면부

- 2) SphygmoCor 프로그램을 선택하여 소프트웨어를 시작한다.
- 3) SphygmoCor가 실행되면, 환자 스크린이 나타난다. 스크린 상 위에는 시스템 메뉴, 툴바 버튼이 있다.



■ 그림 2-6. 프로그램 화면

### 3. 중심동맥압 및 파형증가 지수 측정

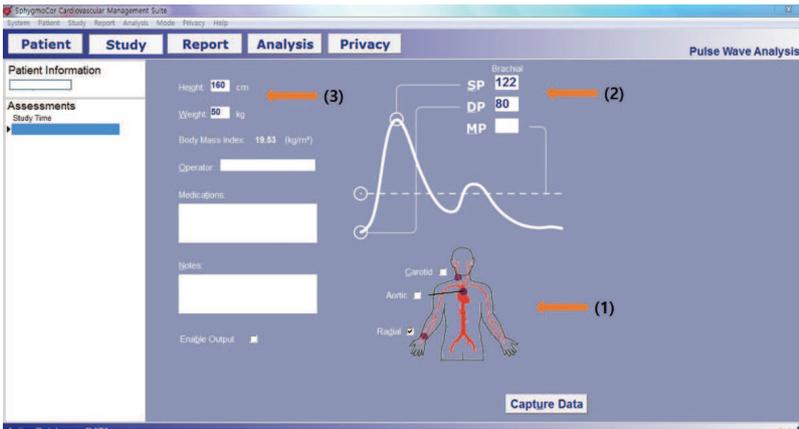
#### 1) 환자 데이터 생성 및 검색

- (1) 프로그램 화면 상의 Patient 버튼을 클릭한다.
- (2) 새로 환자 데이터를 추가 하려면 Create New 버튼을 누른다.
- (3) 환자 편집 패널에 환자의 상세 정보를 입력한다. 성명, 생년월일, 성별은 필수 입력 사항이다.

- (4) 데이터베이스에 새로운 환자의 상세정보를 입력하려면 Update 버튼을 누른다. 입력한 상세정보를 삭제하려면 Reject 버튼을 누른다.

## 2) 검사 실행

선택한 환자의 검사를 실행하려면, study 툴바 버튼을 클릭하거나, 키보드의 F3키를 눌러 study 스크린을 활성화 한다.



■ 그림 2-7. Study 스크린 화면

- (1) Radial과 Carotid 체크박스를 클릭하여 측정하려는 동맥을 선택한다.
- (2) 혈압계를 사용하여 확인한 혈압을 기입한다.
- (3) 투약, 키 및 체중 항목은 필요에 따라 선택적으로 기재한다.

## 3) Tonometer 사용법

- (1) 검사를 시행하기에 앞서, 그림 2-8과 같이 환자 손목이 뒤로 약간 젖혀진 “뒤굽힘” 상태를 유지하는 것이 좋다. 또한, 환자 손목 뒤쪽을 측정자가 손으로 잡아 흔들리지 않게 하거나, 작은 베개를 환자의 손목 아래에 받치도록 한다.