

인체에서 체위변화와 말초맥파도달시간의 관계

허재택 · 허기영* · 정동근**

동아대학교 의과대학 신경외과학교실, 병리학교실*, 생리학교실 및 의과학연구소**

(2000년 11월 28일 접수, 2001년 2월 26일 채택)

Relationship Between Body Position and Peripheral Pulse Arrival Time In Man

J.T. Huh, G.Y. Huh*, D.K. Jung**

Department of Neurosurgery, Pathology*, Physiology and Institute of Medical Science**,

College of Medicine, Dong-A University

(Received November 28, 2001. Accepted February 26, 2001)

요약 : 동맥계에서 맥파의 전달속도는 혈관의 긴장도에 따라 결정된다. 동맥혈관의 긴장도는 혈압에 의존적이며 순간적인 혈압의 증가에 따른 혈관 긴장도의 변화는 순환기계의 질병을 야기할 수 있다. 본 연구에서는 말초맥파를 이용한 동맥 긴장도 평가 방법의 유용성을 밝히기 위하여 말초맥파도달시간을 체위에 따라 측정하고, 체위 변화에 따른 정수압 변화와 말초맥파도달시간의 관계를 관찰하였다. 말초맥파도달시간의 측정은 심전도의 QRS와 피크로부터 말초에서 나타나는 광전용적맥파의 최대기울기점까지 시간을 측정하였다. 생체 신호를 아날로그-디지털 변환하여 PC에서 매번 심장주기마다 맥파도달시간을 분석하였으며 결과는 스플라인 보간법을 사용하여 그래프로 결과를 제시하였다. 소프트웨어는 C++을 사용하여 windows 환경에서 운용하였다. 앙와위에서 말초맥파도달시간은 233.38 ± 1.84 ms이었으며 서있는 자세에서는 226.77 ± 2.16 ms로 유의하게 감소하였다. 앙와위의 자세에서 손을 수직으로 들어올림에 따라 말초맥파도달시간은 각도에 비례하여 증가하는 특성을 보였다. 이러한 실험결과는 말초맥파도달시간이 동맥계의 일시적인 압력 변화에 매우 민감하게 반응하는 것을 제시하였으며, 고혈압 및 동맥경화가 있는 환자에서 예후를 판단하는 방법으로 유용하게 사용될 것이라 사료된다.

Abstract : Pulse wave velocity in arterial system is determined by vascular tone. arterial tension is dependent on blood pressure. the change of vascular tension by instantaneous increase of blood pressure could induce cardiovascular diseases. In this study, as a monitoring method of vascular tension in vivo, peripheral pulse arrival time(PPAT) measuring system was used. PPAT was measured with the change of body position, and the relationship between the change of hydrostatic pressure in arm and PPAT was analyzed. PPAT is the time interval between the peak of QRS complex in ECG and the maximal slope point of peripheral pulse. ECG and peripheral photoplethysmogram were converted to digital data, and PPAT was evaluated in personal computer with every heart beat. Results were presented as a graph using spline interpolation. The software was implemented in C++ as a window-based application program. PPAT at the finger tip of left arm was 233.38 ± 1.84 ms in supine position, and 226.77 ± 2.16 ms in standing position. In supine position, PPAT was increased by elevation of the arm from horizontal position to vertical position by degree dependent manner. These results suggest that PPAT is very sensitive to transient change of arterial pressure and is very useful method for the evaluation of prognosis of hypertension and atherosclerosis.

Key words : Peripheral pulse arrival time (PPAT). Body position. Hydrostatic pressure

서론

이 논문은 1998학년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음

통신저자 : 허재택, (602-714) 부산시 서구 동대신동 3가 1

동아대학교 의과대학 신경외과학교실

Tel. 051-240-5242. Fax. 242-6714

E-mail. jthur@daunet.donga.ac.kr

혈압은 혈관의 측압(lateral pressure)을 나타내며 인체의 부위에 따라 다르다. 일반적으로 심장으로부터 말초로 이동하면서 혈관저항에 의하여 혈압은 낮아지지만 인체부위에 따른 혈압분포는 중력의 영향인 정수압에 의해 결정된다. 정수압이

혈압에 미치는 효과는 심장을 기준으로 혈압이 위로는 낮아지고 아래로는 높아지는 특성이 있다[1]. 유효 순환기계 용적 내에 혈액량의 증가는 혈압을 올리게 되며 혈관의 긴장도가 증가한다. 혈관의 긴장도는 혈압뿐만 아니라 혈관 평활근의 수축 상태 및 구조물의 물리적 특성에 의해서도 영향을 받는다. 인체는 나이가 증가할수록 긴장도는 증가하며 유순도가 감소하는 것으로 알려져 있다[2-4]. 동맥혈관의 긴장도는 혈압에 의존적이며 순간적인 또는 만성적인 혈압의 증가에 따른 혈관 긴장도의 변화는 순환기계 질병을 야기할 수 있다.

동맥계에서 맥파의 전달속도는 혈관의 긴장도에 따라 결정된다. 본 연구에서는 동맥의 긴장도를 평가하기 위해서 말초맥파도달시간(Peripheral Pulse Arrival Time, PPAT)의 변화를 관찰하였다. 혈관의 긴장도를 변화시키기 위하여 중심혈압을 변화시키는 방법 대신에 체위를 변화시킴에 따라 정수압에 의한 신체 부위의 혈관 내압을 변화시키면서 말초맥파도달시간의 변화를 관찰하였다. 이러한 방법은 비교적 순환기계의 특성을 일정하게 유지하면서 측정부위의 혈관에만 긴장도를 변화시킬 수 있는 장점이 있다.

심장에서 발생하는 맥파는 동맥계를 따라 전달되면서 혈관의 기계적 특성에 따라 파형의 특성이 달라진다. 혈관에서 맥파전달속도는 인체 및 실험동물에서 혈관의 경화 정도를 평가하는 인자로 널리 사용되고 있다[5-7]. 동맥에서 맥파의 전달속도는 혈관의 Young의 탄성계수 및 혈관의 두께에 비례하고 혈관의 직경에 반비례하는 관계를 갖는다[8]. 일반적으로 맥파의 전달속도는 혈관의 긴장도에 비례하여 증가하므로 혈관이 긴장되는 조건이라면 맥파전달속도가 증가하는 특성이 있다[9]. 본 연구에서는 맥파전달속도를 반영할 수 있는 맥파도달시간을 말초에서 광전용적맥파를 검출하여 말초맥파도달시간을 측정하여 동맥의 긴장도 변화를 관찰하였다. 맥파전달속도는 동맥경로에서 거리를 알고 있는 두 지점의 맥파발생시간 차이를 측정하는 방법이나, 본 연구에서 사용한 말초맥파도달시간은 심전도 R파의 발생으로부터 인체의 손가락 끝에서 광전용적맥파를 측정하여 말초부위에 도달하는 맥파의 전달시간을 측정하는 것이다. 말초맥파도달시간의 증가 또는 감소는 맥파전달속도의 감소 또는 증가를 반영하고 있으며 심장에서 말초 소동맥에 이르는 전 구간의 특성을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 정수압이 가해질 때 압력분포는 연속적으로 높이에 따라 분포하게 된다.

맥파전달속도를 이용한 비관혈적 혈관 긴장도 및 경화 정도에 대한 평가는 동맥경화를 진단하는 방법으로 각광을 받고 있으나, 아직 임상적으로 보편화되어 있지 않다[10-12]. 인체에서 맥파 검출을 위하여 동맥내 카테터를 삽입하여 혈압을 직접적으로 측정하는 방법은 침습성으로 인하여 보편화되어 있지 않으며, 초음파 도플러를 이용한 방법이 맥파검출로 이용되고 있다. 이들 방법은 구멍이 큰 동맥에서만 측정이 가능하며 말초부위에서 야기되는 혈관계의 특성 변화는 검출할 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 심장에서 말초에 이르는 동맥계의 전체적인 긴장도를 평가하기 위하여 심전도와 말초광전용적맥

파를 이용한 혈관 긴장도를 평가하는 방법을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

말초맥파도달시간 측정은 심전도와 말초광전용적맥파를 이용하여 맥파의 전달시간을 구하는 방법이다. 정상 성인에서 맥파 측정은 손가락 끝에서 광전용적맥파를 검출하여 말초 맥파의 최대기울기점을 측정 시간으로 하고, 맥파발생의 기준시점은 심전도 R파의 피크를 이용하였다. 따라서 본 연구에서 말초맥파도달시간은 심장의 구출전 수축기와 동맥내 맥파전달시간을 합한 값이며 심장의 구출전 수축기는 비교적 고정된 값이며 맥파전달시간은 조건에 따라 변하는 값이다. 생체 신호를 체위에 따라 심전도 Lead I과 적외선 영역에서 측정하는 광전용적맥파를 인지의 끝에서 30초간 기록한 후, 샘플링 주파수를 1KHz, 12bit의 분해능으로 아날로그-디지털 변환하여 PC에서 매 심장주기마다 맥파도달시간을 분석하여 중앙부 20초간의 데이터를 결과로 제시하였다. 소프트웨어는 C++을 사용하여 windows 환경에서 운용하였다. 말초맥파도달시간 결과를 제시하기 위하여 심전도와 비분맥파의 피크를 표시하고 심장의 각 주기에서 두 신호의 차이 시간을 그래프로 제시하였다.

실험은 정상 성인남자(20-30세) 10명을 대상으로 실시하였다. 심전도는 Lead I을 이용하여 양팔에서 기록하였으며 증폭기는 BioAmp(Sarotech, Seoul)을 이용하였다. 손가락에서 말초광전용적맥파를 측정하였으며 증폭기는 PulseAmp(Sarotech, Seoul)을 이용하였다. 최근 컴퓨터 맥진시스템에 대한 관심으로 맥파를 이용한 질병의 진단시스템이 연구되고 있다[13]. 본 연구에서는 광전용적맥파를 이용하여 맥파를 검출하였으며 광전용적맥파는 고정된 자세에서 안정적인 신호를 제공하며 응답속도가 매우 빠른 특징이 있다.

말초맥파도달시간은 매 심박동으로부터 검출되므로 이산적인 값이므로 스플라인 보간을 하여 결과를 제시하였다. 본 연구에서는 혈관내의 압력을 변화시키는 방법으로 앙와위와 서있는 자세 그리고 팔의 위치를 변화시키면서 말초맥파도달시간을 왼손의 인지끝에서 측정하였으며, 측정치의 통계적 비교는 Student's t-test를 이용하여 p값이 0.05 미만인 것을 통계적으로 유의한 것으로 해석하였다.

결과 및 토의

인체는 체위에 따라 순환기계의 상태가 변하는 것으로 알려져 있다. 누워있는 자세 및 서있는 자세에서 말초맥파도달시간을 비교하기 위하여 두 가지 자세에서 말초맥파도달시간을 측정하고 비교하였다. 피검자에게 심전도 전극과 광전용적맥파용 검출기를 왼손 인지 끝에 부착시킨 후, 부드러운 테이블 위에서 10분간 안정시킨 후 측정을 시작하였다. 그림 1의 (A)는 앙와위를 취한 안정상태에서 심전도, 미분맥파, 말초맥파도달시간을 측정한 결과이다. 심전도의 피크를 검출하고 그 결과를

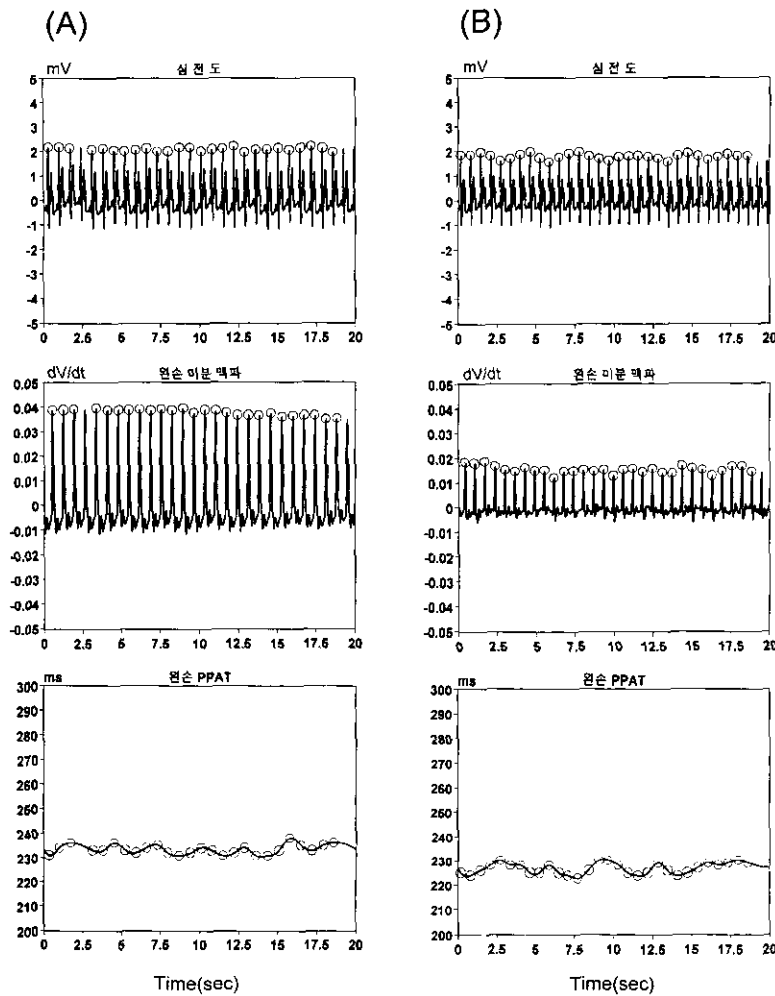


그림 1. 양와위(A)와 서있는 자세(B)에서 기록한 심전도, 미분맥파, 말초맥파도달시간. 광전용적맥파는 왼손의 인지끝에서 측정하였다
 Fig. 1. ECG, differentiated pulse and PPAT in supine(A) and standing position(B). Photoplethysmogram was recorded in left second finger tip

심전도 그래프상에 기호로 표시하였다. 맥파는 미분맥파에서 위쪽 피크를 검출하여 표시한 결과를 제시하였다. 매번 심장주기마다 심전도와 미분맥파피크 간의 시간차를 소프트웨어로 분석하여 말초맥파도달시간 그래프로 제시하였다. 그림 1의 (B)는 서있는 자세에서 기록한 결과이며 양와위에 비하여 미분맥파의 크기가 작아졌으며 말초맥파도달시간이 감소되어 있는 결과를 보였다. 양와위와 서있는 자세에서 말초맥파도달시간은 약 3초의 주기로 변하는 특성을 보이는데 이는 호흡의 주기와 일치하며 호흡에 따른 순환기계의 변화가 동반되어 나타나는 특성이다. 측정조건에 따라 움직임으로 인한 잡음이 섞이는 경우에는 피검자를 안정시키고 반복 측정하여 심전도 및 맥파신호에서 피크 검출이 가능하도록 하였다.

그림 2는 그림1의 결과에서 말초맥파도달시간의 측정 결과를 이용하여 평균과 표준편차로 나타내고 서있는 자세에서 측정된 것과 비교한 것이다. 양와위에서 말초맥파도달시간은 233.38 ± 1.84 ms이었으며 서있는 자세에서는 226.77 ± 2.16 ms

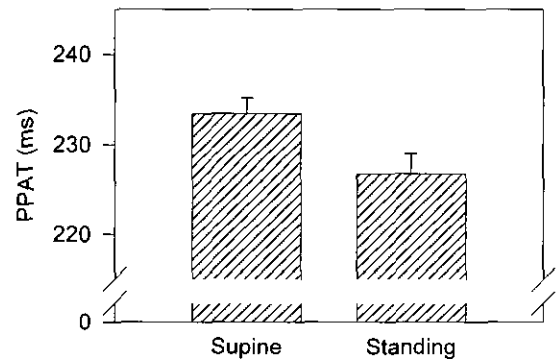


그림 2. 양와위와 서있는 자세에서 그림 1의 말초맥파도달시간 (PPAT) 비교. 측정 결과는 평균 \pm 표준편차로 나타내었다
 Fig. 2. Comparison of PPATs presented in Figure 1 between supine and standing position. Data are presented as mean \pm standard deviation

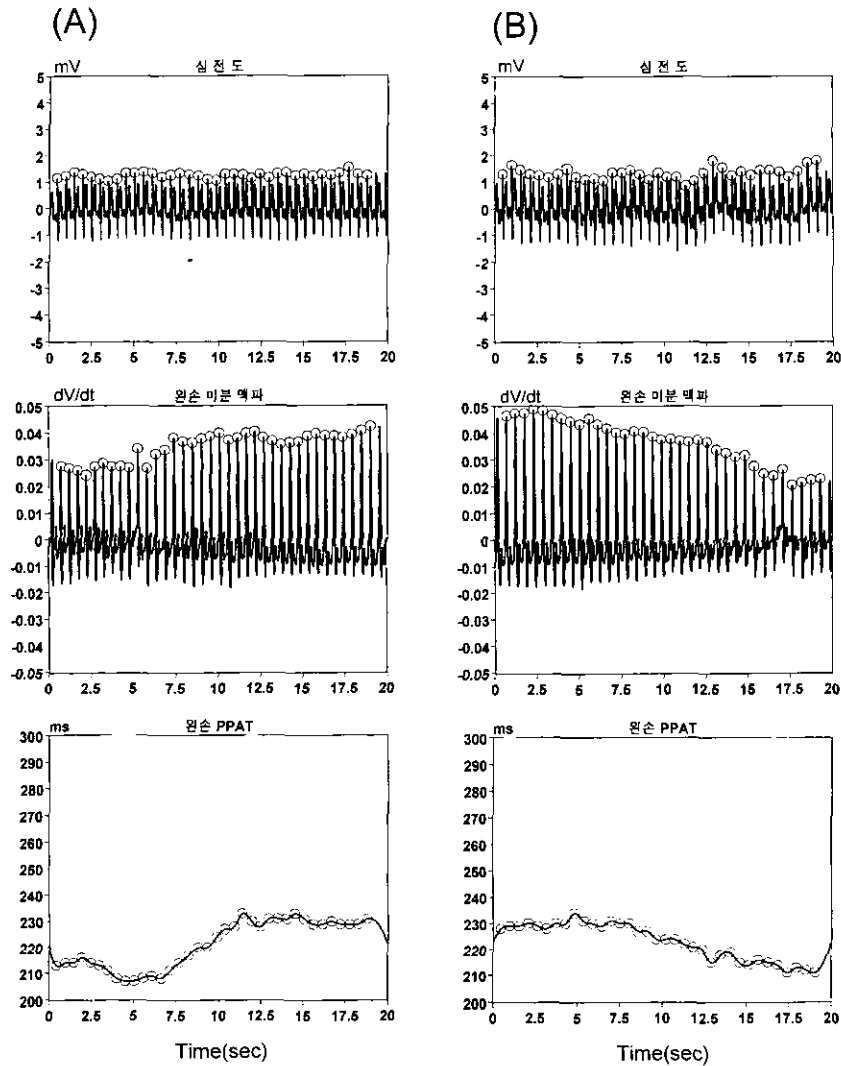


그림 3. 연속적인 팔의 위치 변화에 따른 말초맥파도달시간의 변화. 팔의 위치를 시간축에서 5초부터 15초까지 연속적으로 변화시키며 말초맥파도달시간을 측정하였다. 그림 (A)는 팔의 위치를 내린상태에서 10초동안 수평위치까지 서서히 연속적으로 들어올린 경우이며, 그림(B)는 수평위치로부터 10초동안 아래로 서서히 연속적으로 내린 경우이다

Fig. 3. Changes of PPAT according to the change of arm position. Arm position was changed from 5 sec to 15 sec in X axis. In (A) left arm was continuously moved for 10 seconds from downward position to horizontal position. In (B) left arm was continuously moved for 10 seconds from horizontal position to downward position

이었다. 서있는 자세에서 말초맥파도달시간이 통계적으로 유의하게 감소하였다. 이러한 결과는 서있는 자세에서 팔의 위치가 심장보다 아래로 내려오기 때문이며 정수압의 영향으로 왼손에 분포하는 혈관내의 압력 즉 긴장도가 증가하여 나타난 결과이다.

서있는 자세에서 연속적인 팔의 위치 변화에 따른 말초맥파도달시간의 변화를 그림 3에 제시하였다. 그림 3의 (A)는 X축상의 시간에서 5초부터 15초까지 팔을 아래로 내린 상태에서 수평에 도달하는 위치까지 연속적으로 움직이며 기록한 결과이다. 팔을 들어올림에 따라 말초맥파도달시간이 점차적으로 증가하는 결과를 보였다. 그림 3의 (B)는 팔의 위치를 다시 아래

로 내리면서 말초맥파도달시간을 기록한 것으로 팔의 위치 변화에 따라 말초맥파도달시간이 감소하는 양상을 보였다. 본 실험 결과는 10초 동안 팔의 위치를 90도 변화시켰을 때 나타나는 말초맥파도달시간의 변화로서 말초맥파도달시간이 팔의 위치에 따라 매우 민감하게 변하는 것을 보여주고 있다.

그림 4는 양와위로 누워있는 상태에서 단계적으로 팔의 위치를 변화시키며 측정된 말초맥파도달시간의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 3의 경우는 연속적인 변화이지만 그림 4의 결과는 매 각도마다 30초간 기록하여 측정값을 통계적으로 평균한 값이다. 따라서 정적인 상태의 변화를 보여준다. 양와위에서 수평 상태의 팔을 수직방향으로 들어올림에 따라 말초

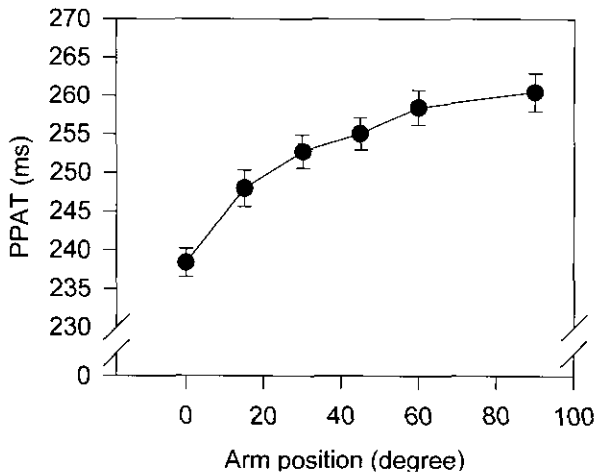


그림 4. 앙와위에서 팔의 자세변화에 따른 말초맥파도달시간의 변화. 팔의 수평상태는 0도, 수직으로 들어올린 경우는 90도이다
 Fig. 4. Changes of PPAT according to the change of arm position in supine position. Horizontal position of the arm is 0 degree and upward vertical position of the arm is 90 degree

맥파도달시간이 증가하는 특성을 보였으며 그림 4의 결과는 말초맥파도달시간의 변화가 초기 각도 변화에는 급격하고 수직 방향근처에서는 완만함을 보여주고 있다. 따라서 말초맥파도달 시간이 팔에 작용하는 정수압과 직접적인 관계가 있음을 나타 내며 말초에서 말초맥파도달시간의 변화는 그 부위에서 정적인 상태의 동맥의 긴장도를 나타낼 수 있음을 의미한다.

동맥에서 펄스 파형 자체는 혈관 및 심실의 기능에 관한 유용한 정보를 가지고 있으므로 여러 연구자들이 맥파의 모양으로부터 진단적 정보를 얻고자 하였다[14,15]. 본 연구에서는 맥 파의 파형보다는 맥파의 도달시간 차이를 이용하여 동맥의 긴장도를 평가하는 방법이며 정수압에 의한 혈관의 기계적 변화를 민감하게 나타내고 있음을 제시하였다.

심전도의 R파와 맥파 또는 심음의 시간 간격을 이용하는 방법은 현재 비관혈적 혈압 측정에 사용되고 있다[16,17]. 최근에는 초음파 도플러를 이용한 방법으로 심전도의 R파와 펄스의 도달시점 간의 시간차를 이용한 혈압측정법이 있다[18]. 본 연구 결과도 비관혈적 혈압 측정과 방법상에 많은 유사점이 있지만 본 연구는 인체의 특정 부위에서 혈관의 특성 변화를 말초맥파도달시간을 이용하여 분석하였다.

혈관의 긴장도는 맥동성의 압력파형에 따라 연속적으로 변하고 있다. 본 연구에서 측정된 말초맥파도달시간은 측정지점 까지 동맥 경로 전체의 특성을 반영한 맥파전달속도의 결과이므로 수축기 또는 이완기의 특성을 분리할 수는 없다. 그러나 전체 혈관 경로의 특성을 나타내고 있으므로 인체에서 심장으로부터 말초에 이르는 경로의 상태 변화를 검출하는 데는 용이한 특징이 있다. 경로상의 구간별 특성을 관찰하기 위해서는 본 연구에서 사용한 시스템과 도플러를 이용하는 방법이 병행되어야 구간별 혈관의 긴장도 변화 특성을 분석할 수 있다.

동맥경화증이 있는 환자에서는 건강한 사람과 비교하여 중심동맥압이 동일하더라도 맥파전달속도는 증가되어 있다. 이는 혈관이 경화되어 있으므로 맥파의 전달이 빨라진 결과이다. 본 연구에서 사용한 방법을 이용하여 말초맥파도달시간을 측정하면 맥파전달속도의 경향을 파악할 수 있으므로 동맥경화가 있는 환자에서 스크리닝 방법으로 사용한다면 간편하게 혈관의 경화 정도를 평가할 수 있다. 또한 고혈압이 있으면서 혈관의 유순도가 감소해 있는 경우, 뇌혈관 장애 및 심장 혈관 장애가 발생할 확률이 높으므로 환자 관리에 있어 말초맥파도달시간을 측정하여 환자관리에 참고자료로 활용할 수 있다.

결 론

본 연구에서 말초광전용적맥파, 심전도 등을 이용하여 체위 변화에 따른 맥파도달시간을 분석하였다. 실험결과 말초맥파도달시간이 체위변화에 따른 동맥계의 압력 변화에 매우 민감하게 반응하는 것을 관찰하였다. 앙와위의 자세와 서있는 자세에서 왼손가락에서 측정된 말초맥파도달시간은 각각 233.38 ± 1.84 ms와 226.77 ± 2.16 ms로 유의한 차이를 보였다. 앙와위의 자세에서 팔의 위치에 따라 관찰한 결과 팔의 위치를 수평 자세에서 수직자세로 들어올림에 따라 각도에 비례하여 말초맥파도달시간이 증가하였다. 이러한 결과는 체위변화에 따른 혈관 긴장도 변화를 말초광전용적맥파와 심전도를 이용하여 비침습적인 방법으로 측정가능하며, 이러한 방법을 통하여 고혈압 및 동맥경화가 있는 환자의 예후를 판단하는 방법으로 유용하게 사용될 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

1. A.C. Burton, Physiology and Biophysics of the Circulation, Year book Medical Publishers, Chicago, 1971
2. R.D. Latham, N. Westerhof, P. Sipkema et al, "Regional wave travel and reflections along the human aorta: A study with six simultaneous micromanometric pressures", Circulation, Vol. 72, pp. 1257-1269, 1985
3. R.D. Latham, B.J. Rubal, N. Westerhof et al, "Non-human primate model for regional wave travel and reflections along aortas", Am J Physiol, Vol. 253, pp. H299-H306, 1987
4. R.N. Isnard, B.M. Pannier, S. Laurent et al, "Pulsatile diameter and elastic modules of the aortic arch in essential hypertension: A noninvasive study", J Am Coll Cardiol, Vol. 13, pp. 399-405, 1989
5. M. Anliker, M.B. Histan, E. Ogden, "Dispersion and attenuation of small artificial pressure waves in the canine aorta", Circ Res. Vol. 23, pp. 539-551, 1968
6. J. Chillon, C. Capdeville-Atkinton, I. Lartaud et al, "Chronic antihypertensive treatment with captopril

- plus hydrochlorothiazide improves aortic distensibility in the spontaneous hypertensive rat*", Br J Pharmacol, Vol. 107, pp. 710-714, 1992
7. R. Asmar, A. Benetos, J. Topouchian et al, "Assessment of arterial distensibility by automatic pulse-wave velocity measurement validation and clinical studies", Hypertension, Vol. 26, pp. 485-490, 1995
 8. A. Noordergraaf, "Circulatory system dynamics". Academic press, New York, 1978
 9. D.J. Hughes, S.F. Babbs, L.A. Geddes et al, "Measurements of Young's modulus of elasticity of the canine aorta with ultrasound", Ultrason Imaging, Vol. 1, pp. 356-347, 1979
 10. P.V. Vaitkevicius, J.L. Fleg, J.H. Engel et al, "Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults", Circulation, Vol. 88, pp.1456-1462, 1993
 11. R.B. Hickler, "Aortic and large artery stiffness: Current methodology and clinical correlations", Clin Cardiol, Vol. 13, pp. 317-322, 1990
 12. M. Okada, "Possible determinants of pulse-wave velocity in vivo", IEEE Trans Biomed, Vol. 35, pp. 357-361, 1998
 13. 이호재, 허웅, "컴퓨터 맥진시스템", 전자공학회논문집, Vol. 33, pp. 81-90, 1996
 14. J.P. Murgo, N. Westerhof, J.P. Giolma and S.A. Altabelli, "Aortic input-impedance in normal man: Relationship to pressure waveforms", Circulation, Vol. 62, pp. 105-116, 1980
 15. R. Kelly, C. Hayward, A. Avolio and M. O'Rourke, "Non-invasive determination of age-related changes in the human arterial pulse", Circulation, Vol. 80, pp. 1652-1659, 1989
 16. R.C. Arzbaecher and R.L. Novotney, "Noninvasive measurement of the arterial pressure contour in man" Bibl. Cardiol, Vol. 31, pp. 63-69, 1973
 17. G.M. Drzewiecki, J. Melbin and A. Noordergraaf, "The Korotkoff sound", Ann. Biomed. Eng. Vol. 17, pp. 325-359, 1989
 18. T. Sharir, A. Marmor, C-T. Ting, J-W. Chen, C-P. Liu, M-S Chang, F.C.P. Yin, and D.A. Kass, "Validation of a method for noninvasive measurement of central arterial pressure", Hypertension, Vol. 21, pp. 74-82, 1993