

동맥맥파의 특징점 검출 알고리즘 개선에 관한 연구

전영주*, 이진*, 김종열*, 이낙범**, 임재중***
 *한국한의학연구원, **전주비전대학, ***전북대학교

Improvement of a characteristic point detection algorithm of arterial pulse

Youngju Jeon*, Jeon Lee*, Jongyeol Kim*, Larkbeom Lee**, Jaejong Im***

*Korea Institute of Oriental Medicine, **Vision College of Jeonju., ***Chonbuk National University

Abstract - Aortic AIx(augmentation index) has been used to measure aortic stiffness and evaluate ventricular load quantitatively. Algorithm for the detection of augmentation point gradually increases the differential order to detect inflection point rather than detects the distinctive point that appears after a specific time. Developed algorithm for AIx is proved to provide more accurate results than the ones developed by previous studies with the deviation from -11.5 ± 14.34 points to -3.75 ± 1.26 points. Results could provide the basis for the measurement of aortic stiffness using easily-measurable radial artery pulse waves, and could be extended to develop a system for early diagnosis of various vascular diseases.

1. 서 론

심혈관 질환은 우리 사회의 급속한 서구화로 인해 질병에 의한 사망률 증 상위를 차지하고 있으며, 매년 그 추이도 증가하고 있다. 일반적으로 나이가 들수록 혈관의 탄성도가 저하되며 이는 여러 심혈관 질환들과 밀접한 관련을 갖기 때문에 혈관의 탄성도는 심혈관 질환의 조기 진단에 유용한 변수로 이용되고 있다 [1-2].

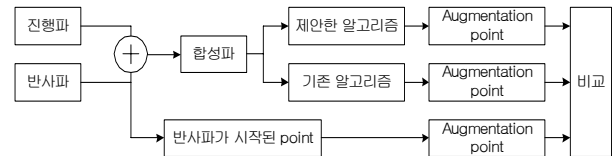
혈관의 탄성도를 비침습적으로 측정하는 대표적인 방법에는 PWV(Pulse Wave Velocity)와 AIx(Augmentation Index)가 있는데, PWV는 혈관을 따라 진행하는 두 지점사이의 맥파가 전달되는 속도를 의미하며, 대동맥 혈관의 경직성이 증가할수록 말초에서 반사되는 반사파의 속도와 크기가 증가하여 수축기 혈압과형에 더해진 만큼의 증가분과 맥압과의 비를 이용한 것이 AIx이다 [3-4]. AIx는 측정에 있어 상대적으로 용이한 요골 동맥 맥파를 이용하여 대동맥 맥파를 추정할 수 있는 전달함수를 통하여 대동맥의 탄성도와 심실부하를 판단할 수 있다. AIx 분석에 있어서 정확한 증강점(augmentation point) 검출이 절대적으로 영향을 미치는데, 기존 연구는 평균 맥파 파형을 4차 미분한 맥파 신호에서 맥파의 시작점을 기준으로 일정 시간 이후에 음의 기울기를 가지면서 기준선과 만나는 영점교차 지점을 이용하여 증강점을 검출한다. 여기서 일정 시간은 최저 55ms부터 161ms까지 연구별로 다양하게 존재하는데, 이러한 이유는 증강점이 사람별, 질환별 등 여러 측정 조건에 따라 다양하게 나타나기 때문이다 [5]. 본 연구에서는 증강점 검출을 개선할 수 있는 알고리즘을 소개하며 증강점 위치에 대한 정보를 갖고 있는 시뮬레이션한 대동맥 맥파 파형에 기존의 증강점 검출 알고리즘과 개선한 증강점 검출 알고리즘을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 연구방법

증강점을 검출하는 알고리즘의 검증을 위해 그림 1과 같이 진행파와 반사파를 시뮬레이션하여 구현한 합성파를 이용하여 본 연구에서 제시한 알고리즘과 기존 알고리즘에 의해 검출된 증강점을 비교하였다. 샘플링 주파수가 250Hz인 시뮬레이션 파형에서 반사파는 시작점으로부터 30, 45, 50, 55 포인트에서 시작하도록 하여 수축기 피크 이전과 이후에서 증강점이 검출될 수 있도록 설정하여 평가하였다.

본 연구에서 구현한 알고리즘은 맥파 파형에 나타나있는 굴곡점을 찾고 그 중 가장 큰 굴곡점을 증강점으로 정하는 것이 기본 전체이다. Murgol[6] 등에 의해 분류되었듯이 증강점은 크게 수축기 피크 이전과 이후에 나타나기 때문에 우선 수축기 피크 이전에서 증강점을 찾고 발견되지 않으면 수축기 피크 이후에서 증강점을 검출한다. 수축기 피크 이전에서 증강점 검출 구간은 1차 미분 피크부터 수축기 피크까지로 설



〈그림 1〉 증강점 검출 알고리즘에 대한 평가방법

정하고, 1차 미분 후 양의 기울기를 가지면서 영점교차 하는 지점을 증강점으로 정한다. 1차 미분 후 양의 기울기를 갖는 영점교차 지점이 존재하지 않았다면 2차 미분을 실시하여 양의 기울기를 갖는 영점교차를 찾아 증강점으로 정하고 2차 미분에서도 영점교차가 존재하지 않으면 3차 미분을 실시하여 음의 기울기를 갖는 영점교차 지점을 증강점으로 검출한다. 만약, 3차 미분에서도 증강점이 검출되지 않으면 수축기 피크 이전에 증강점이 없는 것으로 판단하여 수축기 피크 이후에 증강점을 검출한다.

수축기 피크 이후에 증강점을 검출할 때는 수축기 피크부터 절흔점까지를 검출구간으로 설정한 후, 1차 미분 후 검출 구간에서 양의 기울기를 갖는 영점교차 지점을 증강점으로 정한다. 1차 미분 후 증강점이 발견되지 않았다면 2차 미분을 시행하여 음의 기울기를 갖는 영점교차 지점을 찾고, 2차 미분에서도 증강점이 없다면 3차 미분을 시행하여 음의 기울기를 갖는 영점교차 지점을 증강점으로 정한다.

2.2 실험결과

본 연구를 통한 증강점 검출 알고리즘에 대한 검증을 위해 진행파와 반사파를 합성하여 진행파에 반사파가 더해지는 시점과 본 논문에서 제시한 알고리즘과 기존 알고리즘을 통해 검출한 증강점을 비교하였다. 기존 알고리즘에서 증강점 검출은 4차 미분을 시행하여 시작점으로부터 100msec(25point, 샘플링 주파수: 250Hz) 이후 첫 번째 음의 기울기를 갖는 영점교차 지점을 검출하도록 하였다.

그림 2 (a)는 진행파와 반사파가 더해진 합성파에서 증강점을 시각적으로 판단하기 힘든 경우에 해당되는데 반사파가 수축기 초기에 진행파와 더해져 섞여지기 때문이다. 65세 이상의 고령자나 혈관 경직도가 높은 사람이 이러한 경우에 해당되며, Murgol[6] 등에 의해 type A로 분류된 형태이다. 시뮬레이션한 반사파는 30point(120msec, 샘플링 주파수: 250Hz)에서 시작되었으며, 그림에 본 연구에서 제시한 알고리즘을 이용하여 검출한 증강점을 나타내었다.

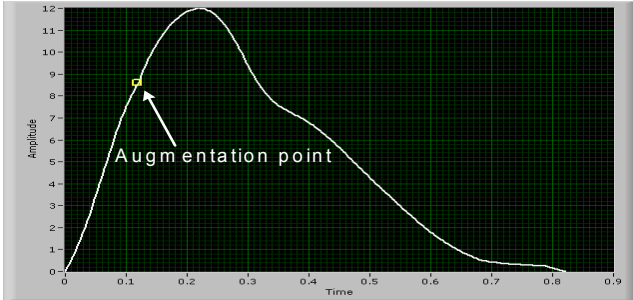
그림 2 (b)는 그림 2 (a)에서 사용했던 합성파에 추가적으로 45point(180msec, 샘플링 주파수: 250 Hz)에서 시작하고 크기가 1.5인 새로운 반사파가 시작되도록 설정하여 증강점을 검출한 예를 나타낸 것이다. 실제 대동맥 맥파는 그림 2 (a)와 같이 반사파의 영향에 의한 굴곡점만 존재하는 경우는 흔하지 않으며 일반적으로 혈관의 상태나 측정 시 발생할 수 있는 잡음 등에 의해 미세한 다른 굴곡들이 나타날 수 있다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 이러한 굴곡점들 중 반사파에 의한 굴곡이 가장 크다는 전제 하에 가장 큰 굴곡점을 증강점으로 검출하였다. 즉, 그림 2 (b)와 같은 파형을 2차 미분하면 양의 기울기를 갖는 영점교차 지점이 2개가 나타나는데 그 중 양의 기울기를 갖는 영점교차 이후에 나타나는 피크가 더 큰 경우에 해당되는 양의 기울기를 갖는 영점교차 지점을 증강점으로 검출하였다.

그림 2 (c)는 진행파가 시작된 후 50point(200msec, 샘플링 주파수: 250Hz) 지점에 반사파가 시작되는 것을 나타낸 것으로서 Murgol[6] 등에 의해 type B로 분류된 형태이며 30, 40대에 일반적으로 관찰되는 맥파이다.

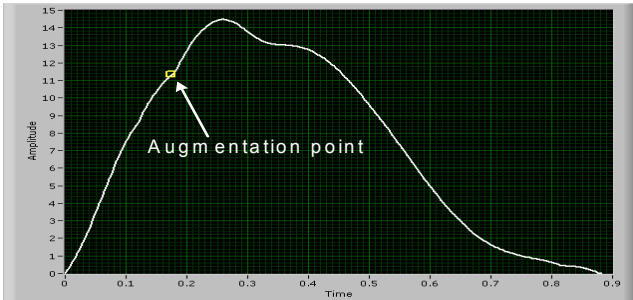
그림 2 (d)는 증강점이 수축기 피크 이후에 발생하는 경우를

나타낸 것으로서 반사파가 55point(220msec, 샘플링 주파수: 250 Hz)에서 시작되도록 설정되었다. Murgo[6] 등이 type C로 분류한 형태이며, 일반적으로 30대 중반 이전의 젊은 연령대에서 흔히 관찰할 수 있는 맥파 형태이다.

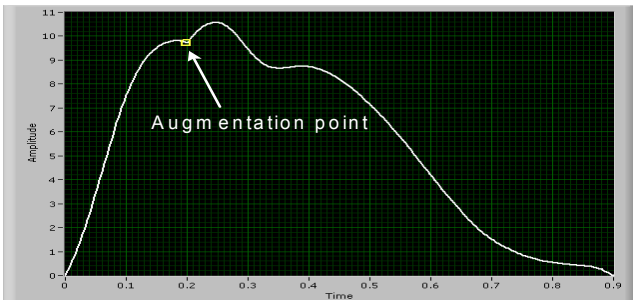
표 1은 진행파와 반사파를 시뮬레이션한 합성파에서 증강점 검출을 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘에 의해 검출한 결과를 비교한 것이다. 기존 알고리즘은 4차 미분에서 100msec 이후에 첫 번째 음의 기울기를 갖는 영점교차를 검출하도록 설정한 것이며, 표에서 볼 수 있듯이 기존 알고리즘에 의한 방법보다 제안한 알고리즘에 의한 방법이 증강점과 증강지수의 편차가 적은 것을 확인할 수 있다.



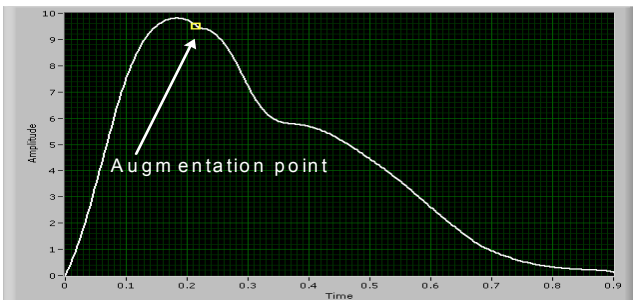
(a) 30th point, 120msec



(b) 45th point, 180msec



(c) 50th point, 200msec



(d) 55th point, 220msec

〈그림 2〉 다양한 반사파를 이용한 합성파에서 증강점 검출

〈표 1〉 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘에 대한 증강점 검출 비교

Parameters		시뮬레이션 반사파	기존 알고리즘	제안한 알고리즘
Case 1	point	50	31	46
	Δ	-	-19	-4
	AIx(%)	8.065	15.92	7.968
	Δ	-	7.855	-0.097
Case 2	point	30	40	28
	Δ	-	10	-2
	AIx(%)	28.06	8.521	32.01
	Δ	-	-19.539	3.95
Case 3	point	45	26	40
	Δ	-	-19	-5
	AIx(%)	21.5	45.58	24.82
	Δ	-	24.08	3.32
Case 4	point	55	37	51
	Δ	-	-18	-4
	AIx(%)	-3.141	2.627	-2.236
	Δ	-	5.768	0.905

3. 결 론

증강점이 나타날 수 있는 지점을 수축기 피크 이전과 이후로 구분하고 각각에서 증강점이 발생할 수 있는 구간을 설정하여 그 구간 내에서 최저 차수인 1차 미분부터 단계적으로 원 파형에 나타나는 골곡점을 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 증강점 검출 알고리즘 검증을 위해 진행파와 반사파를 이용한 합성파에서 반사파가 시작된 지점을 기존 논문에서 제시한 방법과 본 논문에서 제시한 알고리즘을 통해 검출된 증강점을 비교하였으며 본 논문에서 제시한 방법이 기존 알고리즘에 의한 방법보다 평균적으로 편차가 -11.5 ± 14.34 point에서 -3.75 ± 1.26 point로 현저하게 감소하여 증강점을 보다 정확히 검출할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 임상에서 비침습적으로 간편히 요골동맥에서 측정된 맥파를 전달함수를 이용하여 대동맥 압력파를 추정하고 추정된 대동맥 압력파에서 증강점 검출을 통해 계산된 증강지수를 이용하여 혈관의 경직도를 조기에 평가하고자 하는 연구에서 증강점 검출의 정확성을 향상시키기 위한 목적으로 수행되었으며, 본 연구의 결과를 통하여 다양한 측정 조건과 환자군을 대상으로 임상 데이터베이스가 구축된다면 임상에서 요골동맥 맥파와 상완동맥 혈압만을 이용하여 간편하게 혈관의 경직도를 평가하고 혈관질환을 조기에 판단하는데 기여할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] JM. Arnold, "Large artery function in patients with chronic heart failure", *Circulation*, Vol.84, pp.2418-2425, 1991
- [2] AC. Dortimer, PN. Shenoy, et al, "Diffuse coronary artery disease in diabetic patients: fact or fiction?", *Circulation*, Vol.57, pp.133-136, 1978
- [3] R. Asmar, *Arterial stiffness and pulse wave velocity clinical applications*, Elsevier, 1999
- [4] MF. O'Rourke and DE. Gallagher "Pulse wave analysis", *Journal of Hypertension*, Vol.14, pp.S147-S157, 1996
- [5] WW. Nichols and MF. O'Rourke, *McDonald's blood flow in arteries: theoretical, experimental and clinical principles*, Hodder Arnold, 2005
- [6] JP. Murgo, N. Westerhof, JP. Giolma and SA. Altobelli, "Aortic input impedance in normal man: relationship to pressure wave forms", *Circulation*, Vol.62, pp.105-116, 1980