

가압에 따른 요골동맥 맥파 변동 측정을 위한 테스트 지그 개발

이전, 우영재, 전영주, 이유정, 김종열
한국한의학연구원

Development of a Test Jig for Examination of Radial Pulse Waveform Variations at Different Hold-down Pressures

Jeon Lee, Young-Jae Woo, Young-Ju Jeon, Yu-Jung Lee, Jong-Yeol Kim
Korea Institute of Oriental Medicine

Abstract - 한의학 진단의 중요 요소인 맥진을 자동화한 맥진기에서뿐만 아니라 비관혈적 심혈관 기능 평가를 위해서 요골동맥 맥파 측정이 널리 활용되고 있다. 요골동맥 맥파는 피험자의 생리적, 병리적 원인을 통제하더라도 가압력이 변함에 따라 형태가 달라지며, 어느 시점의 맥파를 피험자의 상태를 대표하는 맥파로 해야 할지에 대한 명확한 기준이 없어 맥압이 최대가 되는 시점의 맥파를 사용하고 있다. 그러나, 맥파가 측정되는 가압력 범위뿐만 아니라 맥압이 최대가 되는 시점이 피험자마다 다르기 때문에 정확한 대표 맥파를 획득하기 위해서는 보다 가압력 단계를 늘려야 하며, 결과적으로 측정시간이 보다 길어지게 될 것이다. 본 논문에서는 최소한의 가압단계로도 보다 정확히 대표 맥파를 획득할 수 있는 방법을 개발할 수 있도록, 정밀 제어가 가능한 가압 로봇 즉, 가압에 의해 늘리는 피부이동 거리 측정을 위한 레이저 센서, 가압에 따른 피부 반발력과 맥파를 측정할 수 있는 압력 센서로 구성된 테스트 지그를 개발하였다. 이를 통해 모터 이동 스텝 수에 따른 피부 이동 거리 특성, 피부 이동 거리에 따른 맥파 변화 특성 등을 관찰할 수 있었으며, 향후 효과적인 대표 맥파 획득 방법을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서 론

비관혈적 요골동맥 맥파 측정은 한의학 진단 중 하나인 맥진을 기기화한 맥진기에서뿐만 아니라 심혈관 기능을 평가하기 위해 널리 사용되고 있다. 요골동맥 맥파는 피험자의 생리적, 병리적 원인을 통제하더라도 요골동맥 상 측정 위치, 측정하기 위한 가압력의 크기 등 다양한 요인에 의해 다르게 측정된다.

맥진 부위는 해당 시대의 의학 사상이나 주로 응용되는 치료 방법과 관련지어 여러 차례 바뀌게 되었으며, 현대에 널리 활용되는 '촌구맥법'은 손목 요골동맥을 그 측정 대상으로 한다[1]. 진맥(診脈)을 위해서는 요골 경상돌기(styloid process) 근처 볼록한 부분인 고골(高骨)에서 가장 가까운 요골동맥 상에 우측 중지(中指)를 위치시키고 '관(關)'이라 칭하며, 그 좌우에 검지와 약지를 위치시키어 각각 '촌(寸)'과 '척(尺)'이라 칭한다[2]. 이러한 맥파의 차이에 대한 과학적 이해를 높이기 위해 한의학 맥진 위치인 촌(寸), 관(關), 척(尺)을 지나는 요골동맥의 깊이, 직경, 혈류속도 등의 혈류역학적 특징에 대한 연구가 수행된 바 있다[3]. 그 결과 각 위치가 약 12~15mm정도 밖에 떨어져 있지 않지만, 피부에서 혈관까지의 깊이, 혈관의 직경, 혈류속도 모두가 위치별로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 한편, 한의학적 맥진 위치에서 맥파 형태 및 혈관 노화도 진단 파라미터인 증강지수(AI, augmentation index)에 대한 차이에 대한 연구도 수행되었으며, 그 결과 측정위치에 따라 증강지수 간 유의한 차이가 있음을 확인할 수 있었다[4].

한편, 가압력 변화에 따른 맥파의 변화에 대한 연구는 미흡한 상태이며 어떤 가압력 조건 하의 맥파를 피험자를 대표하는 맥파로 해야 할지에 대한 명확한 기준이 없어 단지 맥압이 최대가 되는 시점의 맥파를 사용하고 있다. 그러나, 맥파가 측정되는 가압력 범위뿐만 아니라 맥압이 최대가 되는 시점이 피험자마다 다르기 때문에 정확한 대표 맥파를 획득하기 위해서는 맥파를 관찰하기 위한 가압력 단계를 최대로 늘려야 하나 이는 측정시간이 길어지는 문제를 야기한다.

이에 본 연구에서는 요골동맥을 측정하기 위해 가압하는 동안 맥파의 변화 양상을 정량적이면서 재현성있게 측정할 수 있는 레이저 변위센서 기반의 테스트 지그(test jig)를 개발하였다. 이를 통해 확보된 가압력 대비 맥파의 변화 양상 정보는 최단 시간 내에 대표 맥파를 측정하는 알고리즘 개발 등에 활용될 수 있을 것이다.

2. 본 론

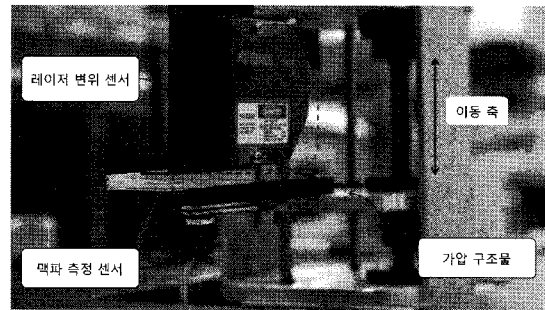
2.1 테스트 지그의 설계

요골동맥 가압에 따른 맥파 변화를 관찰하기 위한 테스트 지그는 요골에 대해 수직방향으로 가압 구조물이 이동하면서 이동거리와 맥파 변화를 측정할 수 있어야 한다. 이를 위해 테스트 지그를 1)가압 구조물 이동 제어부, 피부 접촉 후 가압 구조물의 이동거리를 측정하기 위한 레이저 변위 센서 기반 2)이동거리 측정부, 요골동맥 맥파를 측정하기 위한 3)맥파 신호 획득부로 구성하였다. 그림 1에는 개발된 테스트 지그를 나타내었다.

가압 구조물 이동 제어부는 스텝모터(TS3617N328, Tamagawa Seiki

Co.)와 이를 제어하는 컨트롤러(PCI-7344, National Instruments Co.) 및 구동 드라이버(MID-7604, National Instruments Co.)로 구성하였으며, 스텝 모터의 토크는 0.32N/m이고, 단일 스텝에 의한 이동거리는 약 0.067mm다. 이동 거리 측정을 위해 레이저 변위 센서(LK-301, Keyence Co.)를 사용하였으며, 레이저 변위 센서의 기준거리는 30mm이고, 측정범위는 ±5mm인 것을 고려하여 가압 구조물의 이동변위를 모두 측정할 수 있도록 가압 구조물 측면에 부착하였다. 가압 동안에 맥파를 측정하기 위해서는 절대압이 측정 가능하고 선형특성이 우수한 Pressure Sensor I451(Measurement Specialties Inc, USA)를 사용하였으며, 가압 구조물의 이동 축 아래면에 부착하였다.

본 연구에서는 구성의 편의성을 위해 가압 구조물 제어 시스템과 구조물 이동거리 및 맥파 신호획득 시스템은 분리하였다. 가압 구조물 제어를 위해서는 LabView가 사용되었으며, 신호획득을 위해서는 Biopac 아날로그 증폭 모듈과 AcqKnowledge 소프트웨어를 사용하였다.

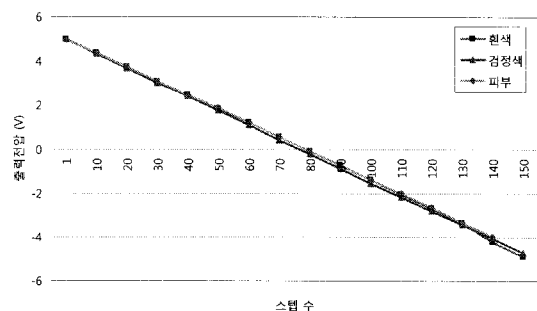


〈그림 1〉 개발된 테스트 지그

2.2 무부하 상태 테스트 지그 평가

먼저 요골동맥을 가압하지 않는 무부하 상태에서 테스트 지그의 성능을 평가해 보았으며, 반사체에 따른 출력특성의 차이여부를 확인하기 위하여 레이저 변위센서로부터 30mm 떨어진 기준위치에 흰색 물체, 검정색 물체, 피부를 두고 반복 실험을 실시하였다. 신호획득은 레이저 변위센서 출력이 포화되는 위치 즉, 물체와 변위센서 간의 거리가 35mm일 때부터 모터 스텝을 150 스텝까지 증가시키는 동안에 실시하였다. 그 결과 반사체의 색상에 의해 거의 영향을 받지 않으며, 다소 산란이 있을 것으로 예상되는 피부에 대해서도 안정된 출력 특성을 보였다. 그림 2에는 반사체가 기준위치에 있을 때 반사체별 이동거리에 대한 레이저 변위센서의 출력특성을 나타내었다. 이때 피부에 대한 모터 스텝 수와 출력 전압 간의 선형회귀 방정식을 구하면 식 (1)과 같으며, R² 값이 0.99999로 우수한 선형특성을 확인할 수 있었다. 무부하시에는 모터 스텝 수와 이동거리의 선형 비례하므로, 이동거리와 출력전압 간의 관계도 우수한 선형특성을 갖는 것을 알 수 있다.

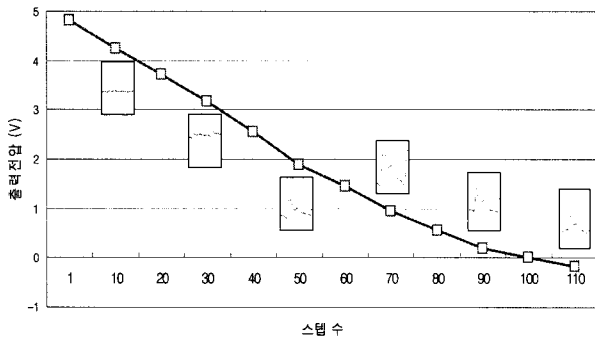
$$\text{Voltage} = -0.6416 \times \text{STEP} + 5.6735, R^2 = 0.99999 \quad (1)$$



〈그림 2〉 무부하 상태에서 반사체에 따른 거리출력 특성

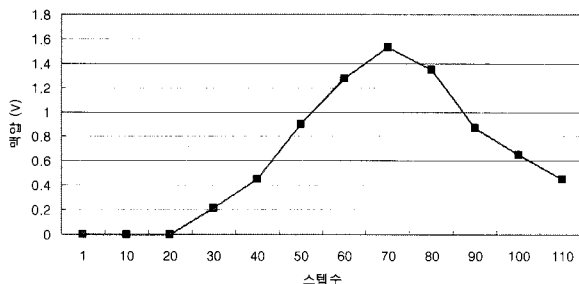
2.3 부하 상태 테스트 지그 평가

스텝모터 제어를 통해 가압 구조물이 요골동맥을 가압할 때 실제 가압 구조물의 이동거리 및 맥파를 동시에 측정하였다. 이 실험에는 혈압이 정상 범위이며 심혈관계 이상이 없는 25세 남성 1명이 참여하였으며, 실험 전 충분한 휴식을 취하고 실험 동안에는 안정된 상태를 유지하도록 하였다. 요골동맥 가압 부위로는 한의학적 맥진 위치인 관(關)부위를 선택하였으며, 동일한 위치를 반복적으로 측정하기 위하여 한의사가 진맥 후 이곳을 표시하도록 하였다. 데이터 획득은 스텝 모터를 10스텝씩 증가시키면서 수행하였고, 더 이상 맥파가 관찰되지 않을 때까지 계속하였다. 두 신호 모두 200Hz로 샘플링 하였으며, 레이저 변위센서로 측정된 이동거리는 맥파 측정구간 내 평균값을 사용하였다. 그림 3에는 모터 스텝 수 대비 가압 구조물의 이동거리 및 각 이동거리에서의 맥파 신호의 한 예를 나타내었다. 무부하 상태일 때와 달리 스텝 수 증가에 대한 레이저 변위센서 출력전압이 약간의 비선형적 특성을 갖는 것을 확인할 수 있는데, 이는 요골동맥이 거의 폐색(occlusion)된 이후부터 발생하는 요골 동 혈관지지 구조물들의 반발력에 의한 것으로 판단된다. 만약 피부의 비압축성(incompressibility)을 가정한다면, 이 가압 구조물의 이동거리는 혈관 직경의 감소량과 거의 같은 값일 것이다.



〈그림 3〉 부하 상태에서 변위센서 출력 및 맥파 신호 특성

한편, 가압 스텝 수에 따라 맥파의 형태가 변하는 것을 확인할 수 있는데 이는 혈관과 센서 간 접촉 면적 변화에 따라 맥파가 다르게 측정되는 토노메트리 측정 원리에 의한 것으로 판단된다. 맥파 신호 중 수축기압과 이완기압의 차이에 해당하는 맥압(pulse pressure) 값을 추출하여 가압 스텝 수와의 관계를 도시하면 그림 4와 같다. 이때 맥압값은 맥파 측정 센서에 측정된 맥파 신호 10개를 평균한 평균 맥파의 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 전압값이며 압력 대비 센서 출력 특성곡선이 확보되면 압력값으로도 표시 가능할 것이다. 가압 스텝 수에 대한 맥압의 그래프는 가우시안 함수와 유사한 형태를 가지며, 약간 오른쪽으로 치우친 비대칭 인 것을 알 수 있다. 또한 가압 스텝 수가 70일 때 맥압이 최대인 것을 알 수 있는데, 이로부터 해당 피험자의 경우 가압 스텝 수가 70일 때 혈관과 센서 간 접촉면적이 최대이었음을 유추할 수 있다. 더 나아가 혈관 폐색을 위해 한의사가 요골동맥을 약 500gf 내외의 힘을 인가하는데[5], 스텝 모터의 토크가 충분히 크기 때문에 가압 스텝 수는 가압력과 비례하며, 결과적으로 이 테스트 지그는 한의학적 부침(浮沈) 진단에 활용되는 가압력 대비 맥압 그래프인 P-H 커브를 추출할 수 있음을 알 수 있다[6]. 만약 그림 3에 나타난 가압 스텝 수와 가압 구조물의 이동거리 정보를 활용하면, 혈관 직경 변화에 따른 맥압의 변화 양상 정보도 추출할 수 있을 것이다.



〈그림 4〉 스텝 수 대비 맥압 변화 특성

3. 결 론

한의학 진단의 중요 요소인 맥진을 자동화한 맥진기에서뿐만 아니라 비관혈적 심혈관 기능 평가를 위해서 요골동맥 맥파 측정이 널리 활용되고 있다. 그러나 요골동맥 맥파는 피험자의 생리적, 병리적 원인을 통제하더라도 가압력이 변함에 따라 형태가 달라지며, 가압력 또는 혈관 직경 변화 정도에 따른 맥파의 변화에 대한 연구가 부족한 현실이다.

이에 본 연구에서는 요골맥파를 측정하기 위해 가압하는 동안 맥파의 변화 양상을 정량적이면서 재현성있게 측정할 수 있는 레이저 변위센서기반의 테스트 지그(test jig)를 개발하였다. 테스트 지그를 평가하기 위해 무부하 상태에서 모터 스텝 수 대비 레이저 변위센서의 출력을 관찰하였으며, 피부를 포함한 모든 반사체에 대해 레이저 변위센서가 우수한 선형특성을 가짐을 확인할 수 있었다. 또한 실제 요골동맥 부위를 가압하면서 가압 스텝 수 대비 가압 구조물의 이동거리 및 맥압 변화를 관찰하였다. 이를 통해 가압 스텝 수와 이동거리 간의 약간의 비선형 특성이 있음을 확인할 수 있었으며, 부침맥 진단에 활용할 수 있는 P-H커브도 생성 가능함을 확인할 수 있었다. 만약 피부의 비압축성을 가정한다면 가압 구조물 이동거리는 혈관의 직경변화와 비례할 것이며, 혈관직경 변화에 따른 맥파 형태 및 맥압 등의 변화 양상을 관찰할 수도 있을 것이다.

향후 개발된 테스트 지그를 통해 다수의 피험자 측정 데이터를 확보하여 최대한 시간 내에 대표 맥파를 측정하는 알고리즘 개발 등에 활용할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국한의학연구원 기관고유사업인 체질건강수준 표준개발의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

참고 문헌

- [1] Chu-Chang Yyan, et al., "How to Standardize 3 Finger Positions of Examiner for Palpating Radial Pulses at Wrist in Traditional Chinese Medicine", *Acupuncture & Electro-Therapeutics Res.*, INT. J., Vol. 32, pp. 8 7-96, 2007
- [2] 김현호, 이진, 김기왕, 김종열, "문헌고찰 및 실험에 근거한 맥진기 측정 시 손관측 정위에 대한 제안", *대한한의학회지*, Vol. 28, no. 3, pp. 13-22, 2007
- [3] 이유정, 이진, 이해정, 유현희, 최은지, 김종열, "초음파 분석을 이용한 손관측 위치별 혈관의 특성연구", *한국한의학연구원 논문집*, 제13권 3호, p. 111-118, 2007
- [4] Jeon Lee, Young-Ju Jeon, Hae-Jung Lee, and Jong-Yeol Kim, "Variations in Non-invasive Radial Artery Pulse Waveform at Different Measuring Positions", *30th IEEE EMBS*, 2008.8
- [5] 이진, 이유정, 전영주, 유현희, 우영재, 김종열, "맥진 가압 프로파일 측정 시스템 개발", *대한전기학회 하계학술대회*, 2008.7.18
- [6] 이진, 이유정, 김기왕, 유현희, 이해정, 김종열, "토노메트리 측정 관점에서 의 부침맥 고찰", *한국한의학연구원논문집*, 제14권 2호, pp. 113-120, 2008