

심혈관계 시뮬레이터의 연구동향

신상훈¹ · 이주연

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

Abstract

Review of Simulators for Cardiovascular System

Sang-Hoon Shin¹ · Ju-Yeon Lee

Depart. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University

Objectives

The purpose of this study is to review the simulator for cardiovascular system.

Methods & Results

Simulators were classified according to the structure and function of cardiovascular system. Heart and blood vessel were selected as the represent of structure. Blood pressure and blood flow were chose as the functional index. With the view points of four keywords, four kinds of simulators were selected: artificial heart, pressure simulator, flow simulator, and pulse simulator.

Conclusions

This paper discussed the state of the art of research and development of the selected four kinds of simulators

Key Words

Cardiovascular system, simulator, artificial heart, blood pressure, blood flow

* 교신저자 : 신상훈 / 소속 : 상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

TEL : 033-738-7611 / E-mail: shshin@sangji.ac.kr

투고일 : 2011년3월20일; 수정일 : 2011년4월5일; 게재확정일 : 2011년4월11일

I. 서론

맥진은 손가락 감각을 이용하여 경맥의 박동상태를 관찰함으로써 장부와 경락의 상태를 판단하는, 변증시치의 중요한 수단이다. 맥진은 역대 醫家들의 수천 년 임상경험이 축적되고 체계화된 귀중한 유산으로서, 현대의학의 관점에서 본다면 혈관계 모니터링을 통한 기능진단이라는 새로운 진료영역에 속한다. 맥진이 임상적인 효과에도 불구하고 세계화되지 못하는 이유는, 맥진의 결과가 의사의 주관적인 감각에 의존하므로 측정의 객관성을 보장하지 못하며, 진단의 근거를 과학적으로 설명하지 못하기 때문이다.

맥과 측정의 객관성을 보장하기 위하여 많은 연구가 진행되었다. 맥진기 연구의 성과를 바탕으로, 과거 자연현상이나 詩로 묘사되었던 각 맥상의 특성에 대하여 정량적인 정의를 제안하게 되었으며, 나아가 맥진 시뮬레이터를 통하여 의사의 주관적인 감각을 규격화하려는 시도로 발전하기에 이르렀다.

맥진은 수천 년의 임상을 통한 경험적 데이터베이스의 산물이므로, 진단의 타당성을 논하는 것은 무의미하다. 그러나 진단의 결과를 설명하는 과정이 과거의 방식을 고수하고 있으므로 진단의 타당성까지도 인정받지 못하는 경우가 있다. 맥진이 세계화되기 위해서는 의사의 주관적인 감각을 맥진기로 대신하는 것 이외에도 진단의 근거를 현대화된 방식으로 설명하는 것이 무엇보다 중요하다.

맥진의 근거를 현대적으로 해석하기 위해서는 대규모 임상실험이 반드시 필요하다. 임상실험을 통한 맥진연구의 문제점은, 관심 있는 부분의 영향만을 분리하기 힘들고, 인체의 항상성으로 인하여 맥파의 특성이 변하며, 대규모 임상시험에는 막대한 비용이 든다는 것이다. 그러므로 관심 있는 부분의 특성만을 간편하고 신뢰성 있게 연구할 수 있는 시뮬레이터가 필요하게 되었다.

맥상은 오장육부의 영향을 모두 반영하고 있으며

로, 임상을 대체할 수 있는 시뮬레이터는 인체의 일부가 아니라 심장과 동맥계 그리고 장기까지를 포함하는 전신모델이 되어야 한다. 그러나 심혈관계와 장부를 포함하는 전신모델은 지금까지 개발된 적이 없으므로, 본 연구에서는 심혈관계 특성에 대한 부분적 연구성 과들을 먼저 조사해 보고자 한다. 이를 바탕으로 맥진의 특성에 맞는 심혈관계 시뮬레이터를 개발할 예정이다.

II. 본론

시뮬레이터(simulator)란 실제의 특성과 유사한 현상을 재현하도록 만들어진 장치를 뜻한다. 동일한 개념으로 모의 실험장치라는 용어도 있으나, 시뮬레이터라는 표현을 많이 사용하므로 본 논문에서는 시뮬레이터로 표기하기로 한다. 심혈관계의 구조적 특징은 심장, 혈관, 그리고 혈액으로 구분되며, 기능적인 특징은 혈압과 혈류로 평가될 수 있다. 심장은 높은 압력의 혈류를 생성하고, 혈관은 혈압을 이용하여 인체의 각 부분에 혈류를 공급한다. 혈액은 혈압과 혈류에 영향을 미치는 주요한 요소이나, 혈액의 연구는 생화학적인 특성이 강하므로 본 연구의 범위에서 제외하기로 한다.

Table 1. Classification of Cardiovascular Simulator

| | 혈압 | 혈류 | 혈압+혈류 |
|----|----------------------|----------|-------|
| 심장 | ✓ | ✓ | 인공심장 |
| 혈관 | 혈압 시뮬레이터 맥진 시뮬레이터 | 혈류 시뮬레이터 | ✓ |

심혈관계의 구조적 특성과 기능적 특성을 고려하여 조사한 결과 심혈관계의 시뮬레이터 연구는 Table 1과 같이 정리될 수 있었다. 심장 시뮬레이터로는 인공심장이 있으며, 혈압과 혈류특성을 모두 재현하고 있다. 혈관 시뮬레이터로는 혈압 특성만을 재현하는 혈압 시뮬레이터와 맥진 시뮬레이터가 있으며, 혈류

의 특성만을 재현하는 혈류 시뮬레이터가 있었다.

1. 인공심장

심장은 인체의 모든 부분에 혈액을 공급하는 혈액 펌프의 기능을 담당하고 있다. 혈액은 인체에 산소와 영양분을 공급해주고 노폐물을 제거하는 중요한 기능을 담당하므로 심장의 기능은 인체의 항상성을 유지하는데 매우 중요하다. 인공심장이란 질병이나 사고로 인하여 심장의 기능에 문제가 발생할 때, 심장을 전적으로 대체하거나 심장기능의 일부를 보조하는 역할을 한다.

1) 필요성

말기 심부전 환자의 경우 최선의 치료는 다른 사람의 심장을 이식하는 것이다. 그러나 수요에 비하여 공급이 절대적으로 부족하므로, 심장을 제공받을 수 있는 기회도 적을 뿐만 아니라 심장을 제공받기까지 오랜 시간을 기다려야한다.¹⁾ 그러므로 이식할 심장이 구해질 때까지 심장의 기능을 대신함으로써 환자의 생명을 연장해주는 인공심장의 필요성이 커지고 있다.

2) 역사

1950년대 초 Gibbon은 인공심폐기를 이용한 개심 수술에 성공한 이후로 많은 연구자들이 인공심장을 개발하기 시작하였다. 1957년 Kolff는 인공심장을 동물에 이식하였으며, 1969년 Cooley는 심장이식을 기다리던 심부전 환자에게 인공심장을 68시간동안 이식하였다. 1982년 Devries는 인공심장을 이식하여 환자의 수명을 112일 연장하여 주목을 받았다.²⁾

3) 분류

인공심장은 기능, 이식위치, 동력원, 그리고 혈액의 박동유무에 따라 다양하게 분류할 수 있다.³⁾ 기능에 따라 분류하면, 심장을 전적으로 대체하는 완전히

식형 인공심장(TAH: Totally implantable Artificial Heart)과 심장기능의 일부를 보조하는 심실보조장치(VAD: Ventricular Assist Device)로 나뉜다. 완전 이식형 인공심장은 기존의 자연심장을 완전히 제거한 다음 이식하므로 환자의 생명은 전적으로 인공심장에 의존하게 되는데, 이는 인공심장의 사소한 기계적 고장에 의해서도 환자가 사망하는 원인이 되었다. 심실보조장치는 기존심장과 병렬로 연결시켜 기존심장의 기능을 보조하는 역할을 하므로, 심장의 기능이 호전되면 인공심장을 제거할 수도 있고, 인공심장의 고장이 환자의 생명에 미치는 영향이 덜 치명적이다. 그러므로 사망사고가 많은 완전이식형 인공심장보다는 심실보조장치가 상품화에 일찍 성공하게 되었으며, 기대수명이 2년 이하인 환자를 대상으로 임상연구를 실시한 결과 심실보조장치를 적용한 환자의 생존율이 약물치료 방법의 결과보다 우수하였다.⁴⁾

인공심장의 설치위치에 따라, 인체의 내부에 이식하는 체내삽입형(implantable type)과 인체의 외부에 설치하는 체외형(extracorporeal type)으로 나뉜다. 혈액분출을 위하여 혈액주머니를 수축시키는 동력원에 따라 체외에서 제공되는 압축공기를 사용하는 공기압식과 체내삽입형인 전기식으로 나뉜다. 전기식은 다시 유압펌프를 이용하는 전기유압식 그리고 전기모터를 이용하는 전기기계식으로 나뉜다.

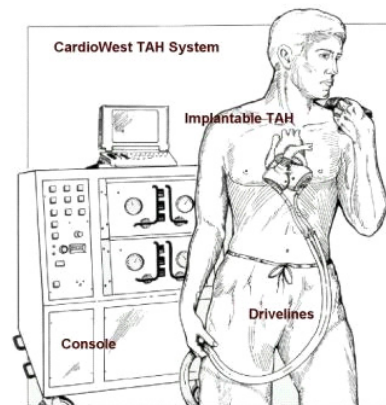


Figure 1. Pneumatic type TAH.⁵⁾

Figure 1과 같이 초창기의 인공심장은 체외의 대형의 구동장치에서 발생한 압축공기를 이용하여 체내의 혈액주머니를 교대로 수축하였다. 이는 환자의 이동을 제한할 뿐만 아니라 체내와 연결된 공기튜브로 인하여 감염이 발생하였다. 전기방식은 피부접촉을 통하여 무선으로 전기를 공급하므로 완전한 환자의 활동성을 개선시킬 뿐 만 아니라 외부감염의 원인을 모두 제거하였다. Figure 2는 완전이식형 전기모델이다. Figure 3은 우리나라에서 개발된 완전이식형 인공심장 KorTAH 이다. 1984년부터 서울대학교 의공학과 민병구 교수팀이 개발을 시작하였으며, 시계추 방식의 구동부를 개발하여 인공심장의 크기를 소형화하였다. KorTAH를 개선하여 한국형 심실보조장치인 AnyHeart로 발전시켰다.

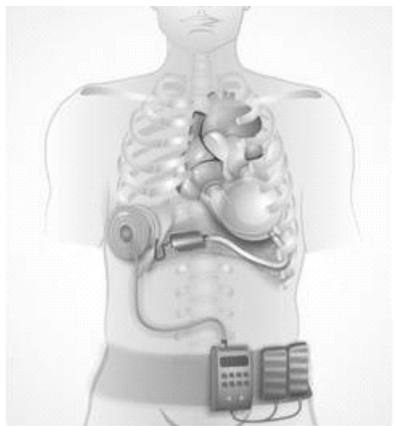


Figure 2. Fully implantable TAH.⁶⁾

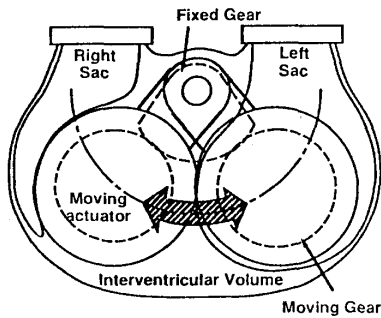


Figure 3. Mechanism of KorTAH.⁷⁾

인공심장이 생성하는 혈류의 박동유무에 따라 자연심장과 같은 맥동성 혈류를 생성하는 박동형(pulsatile type)과 맥동이 없는 비박동형(continuous flow type)으로 나뉜다. 심장과 같은 맥동성 혈류를 생성하기 위해서는 혈액을 저장하는 혈액주머니와 혈액주머니를 수축과 이완시켜 박동혈류를 생성하는 밀판(push plate)장치가 필요하다. 복잡한 기계장치는 고장의 원인이 되었으며, 박동으로 인한 기계적 진동은 환자를 불편하게 만들었다. 무엇보다도 혈액주머니와 밀판장치로 인한 부피의 증가는 일정한 체격(60kg) 이상의 어른에게만 이식이 가능한 제한조건을 만들게 되었다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 소형화가 가능하고 소음과 진동이 거의 없으며 내구성이 뛰어난 축류펌프를 사용하게 되었다. Figure 4는 축류펌프를 나타낸다. 개발초기에는 혈액이 펌프의 회전날개를 통과하게 되면 적혈구가 파괴될 것이라는 논쟁이 오랫동안 지속되었으나, 적혈구의 파괴가 미미한 것으로 밝혀져 최근에는 심실보조장치용으로 널리 개발되고 있다.

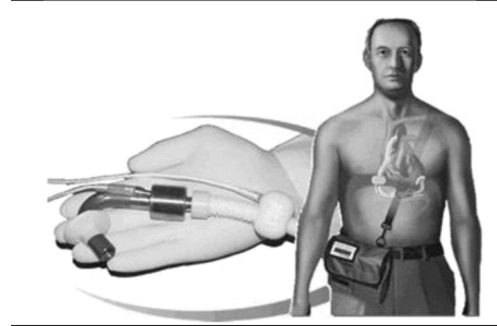
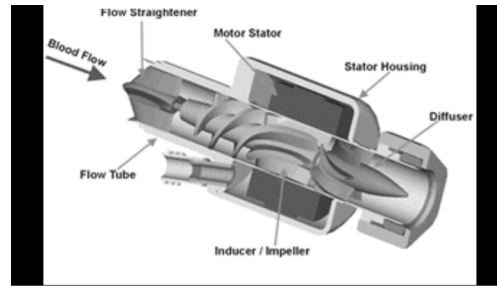


Figure 4. Axial flow pump.⁸⁾

2. 혈관 시뮬레이터

혈관 시뮬레이터에는 혈압특성을 재현하는 혈압 시뮬레이터와 혈류특성을 재현하는 혈류 시뮬레이터가 있다. 사용목적에 따라 혈압계와 혈류계의 측정 정확도를 평가하는 것과 측정자의 감각을 표준화하는 것으로 나눌 수 있다.

1) 혈압 시뮬레이터

혈압을 측정하는 방식은 카테터를 혈관 내부에 삽입하여 측정하는 침습적 측정방식과 혈관 외부에서 혈압을 측정하는 비침습적(NIBP: non-invasive blood pressure) 측정방식이 있다. 동맥에 카테터를 삽입해야하는 부담으로 인하여 침습적인 방법은 특수한 상황에서만 사용되며, 대부분 비침습적인 방식을 사용한다. 비침습적인 방식은 측정자를 필요로 하는 수동방식과 전자장치가 측정자를 대신하는 자동방식이 있는데, 그 편리함 덕분에 가정용 혈압계는 거의 모든 제품이 자동식이며 병원용 혈압계도 자동식의 사용이 증가하는 실정이다. 혈압 시뮬레이터의 연구는 비침습식 자동혈압계(automatic NIBP)의 측정정확도를 평가하는 용도로 개발되고 있다.

A. 필요성

상용화된 비침습식 자동혈압계의 측정정확도는 임상시험을 통하여 평가되고 있다. 사용되는 국제기준으로는 미국의 ANSI/AAMI 표준⁹⁾과 영국의 BHS 가이드라인¹⁰⁾이 있다. 자동혈압계로 측정된 혈압은 측정자가 청진법으로 측정하거나 또는 피험자의 동맥 내에서 직접 측정된 혈압과 비교한다. 측정결과는 감독자와의 합의를 거쳐 최종 승인된다. 임상시험의 절차가 매우 엄격하고 복잡한 이유는, 평가의 근거가 되는 기준방법의 결과가 측정자의 실수와 측정기기의 잘못으로 인한 측정오차를 포함할 수 있으며, 혈압의 특성이 시간과 장소에 따라 달라질 수 있기 때문이

다. 정상의 호흡상태에서 혈압은 일반적으로 10 mmHg 이상 변동될 수 있다고 한다.¹¹⁾ 개인의 생리적 변동에 따른 오차를 줄이기 위하여 임상시험에서는 다수의 피험자와 다양한 통계처리 기법을 사용한다. 이는 필연적으로 많은 시간과 높은 비용을 요구한다. 더 큰 문제는 임상시험의 결과는 시험절차와 임상표본의 특성에 따라 달라지므로, 시험조건에 따라 결과가 서로 다르다는 것이다. 그러므로 측정절차가 간편하면서도 신뢰성이 있는 새로운 평가시스템이 필요하게 되었으며, 혈압 시뮬레이터는 이러한 목적으로 개발되게 되었다.

B. 분류

혈압 시뮬레이터의 종류는 물리현상을 재현하는 방식과 발현특성을 재현하는 방식으로 나뉘어진다.¹²⁾ 물리현상을 재현하는 시뮬레이터는 인체의 팔을 모방한 혈액순환 장치를 만들고, 커프를 이용하여 혈관을 압박하여 혈류에 의해서 발생하는 코로트코프음(Korotkoff sound)과 혈관진동을 발생시킨다. 발현특성을 재현하는 시뮬레이터는 혈압 측정과정에서 발생하는 코로트코프음이나 혈관의 진동 특성만을 생성한다. 현재 시판되는 시뮬레이터는 모두 발현특성을 재현하고 있다.

물리현상을 재현하는 방식으로는 surrogate arm¹³⁾이 있으며, 구조는 Figure 5와 같다. Surrogate arm은 인체의 상완을 모방하여 만들었다. 길이 25cm 팔둘레 30cm인 원통내부에 인공혈관을 만들고 물과 공기를 채웠다. 남녀 각각 15명씩을 대상으로 상완의 피부 탄성도를 측정하여 측정부위의 탄성도를 설계하였다. 혈압을 측정하기 위하여 인공팔에는 커프와 소형 마이크를 설치하였다. Surrogate arm은 물리현상을 재현하도록 만들어진 최초의 시뮬레이터로서 역사적 의의가 깊다. 그러나 구동장치부의 제한성으로 인하여 심박수를 90 bpm 이상으로 높일 수 없었으며, 장치가 너무 커서 상업용으로 발전되지는 못하였다.

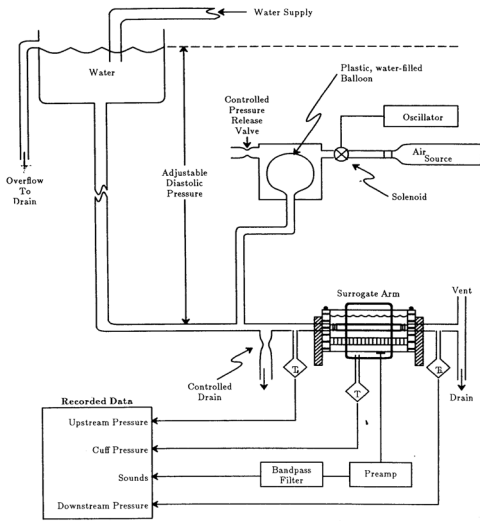


Figure 5. Surrogate arm simulator.¹³⁾

비침습식 자동혈압계에 가장 많이 적용되는 방법은 진동법(oscillometric method)과 청진법(auscultatory method)이며, 청진법보다는 진동법을 많이 채택하고 있다. 진동법은 커프의 압력변화에 따른 혈관의 진동이 피부를 통해 커프로 전달되어 발생하는 커프 내부의 압력진동을 측정하는 방식으로서, 현재 상용화된 혈압 시뮬레이터는 모두 진동법 방식의 혈압계를 평가한다. 청진법은 커프의 압력변화에 따라 혈관 내부에서 발생하는 코르토크프음의 변화를 검출한다. 청진법을 방식의 혈압계를 평가하기 위한 시뮬레이터에 관한 연구¹⁴⁾는 매우 미미한 편이다.

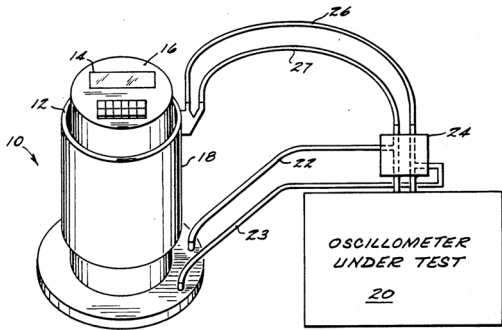


Figure 6. Blood pressure simulator.¹⁵⁾

Figure 6은 혈압 시뮬레이터의 구조를 나타내고 있다. 시뮬레이터의 구조는 입력부(14), 압력발생부(16), 그리고 압력전달부(22,23,24)로 나누어진다. 입력부에서 평균압력, 수축기 압력, 이완기압력, 맥박수를 입력하면, 압력발생부에서는 해당되는 압력진동파를 발생시키며, 압력전달부에서는 시뮬레이터에서 생성된 진동파를 평가가 이루어지는 자동압력계(20)의 커프(18)로 전달한다. 진동 압력파는 파형과 혈압사이의 관계식을 이용하거나 임상시험을 통해 직접 측정된 파형을 사용한다.

2) 혈류 시뮬레이터

혈류측정은 측정하는 물리량에 따라 혈류속도와 혈류량의 측정으로, 측정하는 위치에 따라 단일혈관 측정과 단위조직의 측정으로 나눌 수 있다. 단일혈관 내의 혈류계측은 혈류속도 측정이 중요하며, 단위조직의 혈류측정은 혈류량 측정이 중요하다. 본 연구에서는 혈관에 초점을 맞춘 관계로, 단일혈관에서의 혈류속도 측정에 대하여 조사하고자 한다. 임상적으로 혈류속도의 측정이 필요한 혈관은 동맥과 모세혈관이 있다. 동맥의 혈류속도 측정에는 초음파 혈류계가 사용되며, 모세혈관의 경우는 레이저 도플러 혈류계가 사용된다. 혈압 시뮬레이터와 마찬가지로 혈류 시뮬레이터도 혈류계의 측정 정확도를 평가하기 위하여 사용된다.

A. 필요성

임상시험을 통한 혈류계의 정확도 평가는 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째는 혈압의 변동에 따라 혈류도 변하므로, 측정신호는 시간과 장소에 따라 변한다. 둘째는 정확한 결과를 얻기 위해서는 대규모 임상시험이 이루어져야 하므로, 시간과 비용이 많이 든다. 셋째는 임상시험의 절차와 표본집단의 특성에 따라 결과가 달라지므로 평가결과의 범용성이 떨어진다. 그러므로 인체의 생리적 범위 내에서 간편하고 신뢰성 있게 혈류계를 평가할 수 있는 혈류 시뮬레이터의

개발이 필요하였다.

B. 분류

단일혈관 내의 혈류측정은 혈관에서 직접적으로 측정하는 침습적인 방법과 피부에서 간접적으로 측정하는 비침습적인 방법이 있다. 침습적인 방법은 혈관을 노출시켜야 하는 위험부담이 있으므로 특수한 경우를 제외하고는 사용되지 않는다. 초음파 혈류계는 측정의 정확도에는 문제가 있으나 비침습적 방법으로 간편하게 혈류속도를 측정할 수 있어 임상에 널리 사용되고 있다. 혈류는 맥동특성이 있으므로 혈류계의 정확도를 평가하기 위해서는 유량특성과 맥동특성을 모두 평가해야 한다. 즉, 생리적 유량의 범위 내에서 정확도와 맥동의 정도에 따른 정확도를 평가해야 한다. 전¹⁶⁾은 혈액펌프와 정량펌프를 이용하여 혈류계 시뮬레이터를 구성하였다. 실험에 사용된 장치는 Figure 7과 같으며, 세부분으로 구성되어 있다. 즉, 일정한 혈압을 발생시키는 압력탱크, 혈류의 흐름을 조절하는 펌프부, 그리고 혈류를 측정하는 측정부로 구성되어 있다. 펌프부는 혈류맥동이 없는 정량펌프와 맥동을 발생시키는 혈액펌프가 병렬로 연결되어 있으며, 필요에 따라 독립적으로 사용하고 있다. 측정부는 측정의 기준이 되는 유량계와 평가의 대상이 되는 초음파 혈류계를 직렬로 연결하였다. 정량펌

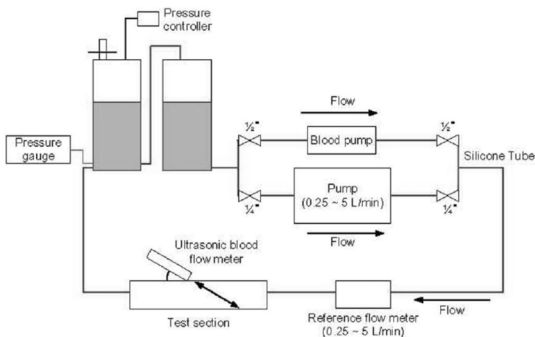


Figure 7. Blood flow simulator for large vessel.¹⁶⁾

프를 이용하여 맥동이 존재하지 않는 상태에서 생리적 혈류범위인 0-5 L/min 범위에서 초음파 혈류계를 교정한 다음, 맥동이 있는 혈액펌프를 이용하여 맥동에 따른 초음파 혈류계와 기준 유량계와의 차이를 분석하였다.

순환계 질환의 연구에 있어서 동맥과 같은 큰 혈관에 비하여 모세혈관 연구는 상대적으로 비중이 작았다. 그러나 모세혈관은 순환계의 끝부분이며 또한 세포조직과 연결되어 있으므로 순환계와 내장기관의 영향을 동시에 받는 중요한 기관이다. 모세혈관에 대한 대부분의 연구는 비침습적으로 피부의 일정부위의 미세순환 기능을 평가하고 있다. 상업적인 예로서는 특정한 화장품에 대한 피부의 반응을 검사하는데 사용되기도 한다. 레이저 도플러 혈류계는 모세혈관의 혈류량 측정에 가장 널리 사용되는 도구이다. 모세혈관의 혈류량 측정장치를 평가하기 위하여 다양한 시뮬레이터가 개발되었는데, 단순 튜브모델, 회전원판모델, 그리고 모세관 모델이 있다.¹⁷⁾ Figure 8은 모세관 모델을 나타낸다. 모세혈관을 모델링하기 위하여 다량의 미세튜브를 큰 튜브 속에 삽입하였다. 기존의 모델들이 모세혈관의 흐름에 초점을 둔 반면, 고¹⁸⁾는 피부의 특성까지 고려한 새로운 방식의 시뮬레이터를 개발하였다. 레이저는 일종의 광선이므로

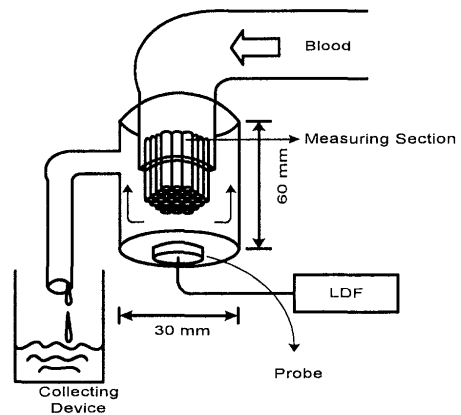


Figure 8. Blood flow simulator for small vessel.

광선이 통과하는 매질의 특성에 따라 반사되는 빛의 세기가 달라지므로, 고는 피부의 특성과 유사한 매질을 사용하여 피부의 특성을 모델링하였다.

3) 맥진 시뮬레이터

A. 필요성

맥진을 객관화하기 위한 연구는 맥 측정을 객관화하는 맥파 측정기의 개발로 이어졌다. 1970년대부터 시작된 맥파 측정기의 개발은 성숙단계에 접어들어 로봇팔을 이용하여 전통적인 맥진방식을 구현하는 상용화된 맥진기의 개발로 이어졌다. 또한 맥진기의 성과를 바탕으로, 과거 자연현상이나 시(詩)로 묘사되었던 각 맥상의 특성에 대하여 정량적인 정의¹⁹⁾를 제안하게 되었으며, 맥진을 이용한 자동진단의 연구로 이어지고 있다. 그러나 맥진기의 눈부신 발전과는 달리, 실제 임상에서는 맥진기 사용은 보편화되어 있지 않으며, 대부분의 의사들이 전통적인 방식으로 맥진을 하고 있는 형편이다. 전통적인 방식에서의 가장 큰 문제점은 맥진의 결과는 의사의 주관적인 감각으로 결정되며, 환자의 맥상도 시간과 장소에 따라 변한다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 의사의 주관적인 감각을 표준화할 수 있는 맥진 시뮬레이터의 개발이 절실하게 필요하게 되었다.

B. 분류

맥진 시뮬레이터는 요골동맥의 맥진부위에서 의사가 손끝으로 느끼는 맥압의 3차원적인 분포를 재현한다. 맥압을 구현하는 방식에 따라 유체의 압력을 이용하는 압력파형을 생성하는 유압제어방식과, 전자기 코일을 이용하여 압력파형을 생성하는 전자기제어방식으로 나뉜다. 초기에는 유압제어 방식으로 개발되었다가, 최근에 전자기제어방식으로 개발되고 있다.

상해 중의학대학의 탕위창 교수²⁰⁾는 유압제어방식을 이용하여 Figure 9와 같은 맥진 시뮬레이터를 만들었다. 유압밸브의 개방시간과 유압세기를 조절하

여 맥파의 특성변수를 조절하였다. 구현할 수 있는 맥상의 종류는 16종류(平脈, 滑脈, 遲脈, 濡脈, 洪脈, 革脈, 澹脈, 浮脈, 弦脈, 結脈, 代脈, 促脈, 沈脈, 細脈, 澀脈, 弱脈)이다. 국내에서는 부산대의 김기왕 교수가 물과 단일밸브를 이용하여 개발하였다.

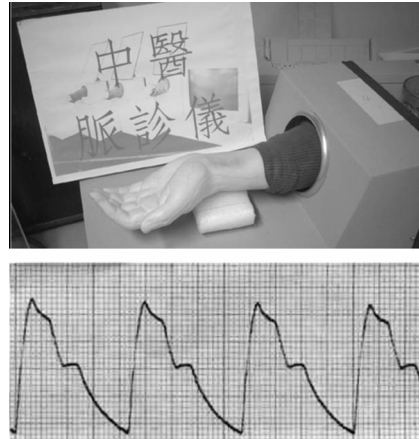


Figure 9. Oil pressure type pulse simulator.²⁰⁾

한국전기연구원은 Figure 10과 같은 자기제어방식을 이용하여 맥파를 재현하였다.²¹⁾ 맥파의 재현은 보이즈 코일을 사용하여 했는데, 가해지는 전류량의 세기에 따라 영구자석과 전자석 사이의 반발력의 차이가 기계적인 진동을 발생시키는 스피커의 원리를 적용하고 있다. 즉, 원하는 압력파형을 전자기 제어를 이용하여 기계적인 압력파형으로 재현하고 있다.

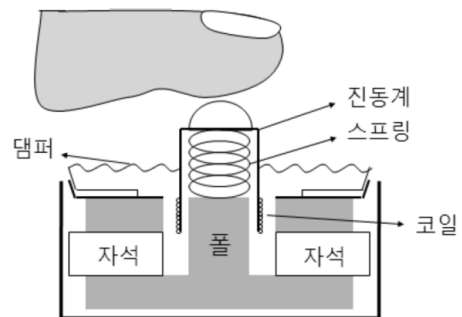


Figure 10. Electromagnetic type pulse simulator.²¹⁾

Ⅲ. 고찰

심혈관계의 구조를 대표하는 심장과 혈관, 기능을 평가하는 혈압과 혈류라는 네 가지 요인에 따라 시뮬레이터를 분류하였다. 최종적으로 선정된 시뮬레이터는 인공심장, 혈관 시뮬레이터, 혈류시뮬레이터, 맥진 시뮬레이터였다.

인공심장은 심장의 혈압과 혈류 기능을 재현하는 시뮬레이터이다. 1950년부터 개발되어온 짧은 역사를 비해서는 제품화의 정도가 늦다. 인공심장 개발초기의 목표는 심장을 완전히 대체할 수 있는 완전 이식형 인공심장(TAH)에 대한 환상이 있었으나 임상시험에서 생명을 잃는 경우가 많이 발생하자 상품화에 실패하게 되었으며, 현재에는 기존의 심장과 함께 사용하는 심실보조장치(VAD)가 주류를 이루게 되었다. 심장의 박동흐름을 재현하기 위해 필요한 혈액주머니와 필관장치는 인공심장의 부피가 커지는 주요원인이 되었으며, 이는 동양인이나 어린이가 인공심장의 혜택에서 제외되는 부작용을 낳았다. VAD는 맥동흐름이 아니라 연속흐름을 공급하는 일종의 축류펌프이다. VAD는 기존 심장과 함께 사용하므로, 무맥동의 인체유해성에 대한 부담을 덜게 되었다. 또한 맥동을 발생시키는 장치가 필요없으므로 소형화 목적까지 실현하게 되었다. 그러므로 인공심장의 최신연구는 맥동형 TAH에서 무맥동형 VAD 개발이 진행중이며, 차세대 연구는 모터를 기계적 구속없이 구동하는 자기부상형 무맥동 VAD가 준비중이다.

혈압 시뮬레이터와 혈류 시뮬레이터는 혈압계와 혈류계의 정밀도를 측정하는 장치이다. 임상시험을 통한 생체측정에는 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째는 인체의 항상성으로 인하여 측정신호의 재현성이 매우 나쁘다. 둘째는 정확한 결과를 얻기 위해서는 대규모 임상시험이 이루어져야 하므로, 시간과 비용이 많이 든다. 셋째는 임상시험의 절차와 표본집단의 특성에 따라 결과가 달라진다. 그러므로 임상시험을

대체할 시뮬레이터를 개발하게 되었다. 인공심장과 아울러 혈압 시뮬레이터의 상품화가 눈이 띄는데, 이는 혈압계의 대중적인 사용으로 인한 듯하다. 시뮬레이터가 개발된 이후로, 혈압 시뮬레이터를 이용한 새로운 평가절차에 관한 연구들이 보고되고 있다.²²⁾ 혈류 시뮬레이터에 관한 연구는 혈압 시뮬레이터에 비하여 매우 부족하였다. 가장 큰 원인으로는 의료시장에서의 요구가 부족한 때문이라고 생각된다. 혈류가 일반적인 유동과 다른 점은 맥동이 존재한다는 것이다. 그러므로 공학에서 사용되는 유량측정기와 관련된 검사시스템은 동일하게 적용하는 것은 무리일 것 같다. 맥동특성에 따른 정확도의 평가기준을 마련하는 것이 혈류 시뮬레이터의 관건이 될 것으로 생각된다.

맥진 객관화의 시대적 요청은 측정을 객관화하는 맥파측정기의 개발로 이어졌다. 맥파측정기를 사용하여, 과거 시(詩)로 묘사되었던 맥상특성을 정량화함에 따라 맥상 객관화에 대한 기틀이 마련되었다. 맥상 객관화의 결과로 의사의 주관적인 감각을 표준화하려는 맥진 시뮬레이터가 등장하게 되었다. 그러므로 맥진 시뮬레이터는 맥진 객관화의 꽃이라 할 수 있다. 중국에서 시작된 유압식 맥진 시뮬레이터는 한국에서 전자기식으로 발전하고 있다. 압력제어에 있어서는 전자기방식이 유압방식보다는 정교하므로 더 완성도 있는 3차원 맥압분포가 재현되리라 기대된다. 그러나 맥상 객관화에 대한 공감대가 형성되어 있지 않으며 결과에 대한 다른 의견이 많은 지금의 현실에서는, 맥진 시뮬레이터 기술의 개발과 아울러 맥상 표준화에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 생각된다.

Ⅳ. 결론

본 연구는 심혈관계 시뮬레이터에 관한 연구 및 기술동향에 대하여 조사하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 심장 시뮬레이터는 심장의 혈압과 혈류기능을 대신하는 일종의 치료장비로 사용되고 있었다.
2. 혈관 시뮬레이터는 심혈관계 기능을 평가하는 진단장비의 평가시스템으로 사용되고 있었다.
3. 맥진 시뮬레이터는 혈압의 파형을 재현하는 반면, 혈압 시뮬레이터는 혈압의 수치를 재현하고 있었다.
4. 가장 연구가 활발하고 상품화가 잘되어 있는 부분은 인공심장 이었으며, 그 다음으로는 진동식 혈압 시뮬레이터였다. 혈류 시뮬레이터와 맥진 시뮬레이터는 연구실 수준이었다.
5. 기존의 연구들은 일부의 기능만을 재현하고 있었다. 심혈관계의 혈압과 혈류를 동시에 재현할 수 있는 연구가 필요하다.

V. 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호: 2010-0022259).

參 考 文 獻

1. 선경, 최재순. 인공심장 연구의 최신동향. 보건산업기술동향. 2007; 30: 23-30.
2. 김형목. 인공심장. 대한의학협회지. 1984; 299: 1087-1090.
3. 박찬영, 민병구. 인공심장의 연구개발 현황. 한국정밀공학회지. 2000; 17: 5-16.
4. Lietz K, Miller LW. Will left-ventricular assist device therapy replace heart transplantation in the foreseeable future?. *Curr Opin Cardiol.* 2005; 20: 132-137.
5. http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/04/briefing/4029b1_FINAL.htm
6. <http://www.ame.hia.rwth-aachen.de/index.php?id=170&L=1>
7. 최원우, 김희찬, 민병구. 전류파형분석에 의한 완전이식 인공심장의 심박출량 자동제어 알고리즘. 한국자동제어학술회의논문집. 1993; 383-391.
8. <http://www.kingyoup.com/e-5-2.htm>
9. AAMI. ANSI/AAMI SP10-1987: American national standard for electronic or automated sphygmomanometers. Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Arlington, VA. 1987.
10. O'Brien E, Petrie J, Littler W, de Swiet M, Padfield PL, O'Malley K, Jamieson M, Altman D, Bland M, Atkins N. The British Hypertension Society protocol for the evaluation of automated and semi-automated blood pressure measuring devices with special reference to ambulatory systems. *J Hypertens.* 1990; 8: 607-619.
11. Hochberg HM. Automatic blood pressure measurement in multi-testing. International Health Evaluation Association. 1971.
12. Ng KG, Small CF. Review of methods & simulators for evaluation of noninvasive blood pressure monitors. *J Clin Eng.* 1992; 17: 469-479.
13. Yong P, Geddes LA. A surrogate arm for evaluating the accuracy of instruments for indirect measurement of blood pressure. *Biomed Instrum Technol.* 1990; 24: 130-135.
14. Wang M. Development of K-sound and oscillometric pulse generating system for NIBP

- monitor tester. M.Sc. thesis, Queen's University, Ontario, Canada. 1990.
15. Costello LF. Oscillometric non-invasive blood pressure simulator. US Patent 5027641, 1991.
 16. 전세중, 윤병로, 이광복. 혈류 시뮬레이터를 이용한 초음파 혈류계 교정에 대한 연구. 한국정밀공학회 추계학술대회논문집. 2009; 637-638.
 17. Liebert A, Leahy M, Maniewski R. A calibration standard for laser-Doppler perfusion measurements. Rev Sci Instrum. 1995; 66: 5169-5173.
 18. 고한우, 김종원. 자기혼합형 LDF 프로브와 혈류 시뮬레이터의 구현. 센서학회지. 1999; 8: 39-44.
 19. 陆小左, 付娟, 邢淑丽, 赵松雪. 脉图的简单判别, 天津中医学院学报. 2003; 22: 4-5.
 20. 汤伟昌, 孙汉钧, 徐建国, 李斌芳. 中医脉象模拟系统的研究, 中国中医基础医学杂志. 2000; 6: 62-65.
 21. 김은근, 남기창, 허현, 허영. 모의 맥파 재현 장치를 이용한 부침맥 구현. 대한전자공학회 하계종합학술대회. 2009; 1170-1171.
 22. Amore JN, Geake WB. Evaluation of the Critikon 8100 and Spacelabs 90207 non-invasive blood pressure monitors using a test simulator. J Hum Hypertens. 1997; 11: 163-169.

