

A Study on Blood-Mimicking Fluid (BMF) for Developing Educational Doppler Ultrasound Phantoms

Se-Yon Yoon, Na-Yeon Kim, Jin-Seon Lee, Dong-Hee Hong*

Department of Radiological Science, Shinhan University

Received: December 06, 2024. Revised: December 27, 2024. Accepted: December 31, 2024.

ABSTRACT

This study aimed to improve the educational environment for ultrasound examination by developing a cost-effective carotid artery Doppler phantom for educators and evaluating its utility by comparing its blood flow measurements to those of the human body. A Doppler ultrasound phantom and blood-mimicking fluid (BMF) were fabricated, and a stenosis model with an outer diameter of 8.3 mm was created using 3D printing. The BMF, a mixture of glycerol and starch powder, was designed to replicate the viscosity and scattering properties of human blood. Experiments were conducted by circulating the BMF through normal and stenotic vascular models with varying concentrations. Doppler images were analyzed using Image J to assess signal areas and distribution, confirming the BMF's effectiveness and identifying blood flow patterns to validate the Doppler phantom's potential. At a 2% starch concentration, a mean Doppler signal value of 91.37 was observed, while at 3%, an area ratio (%Area) of 98.82 was achieved, demonstrating that a starch concentration of 2 - 3% closely resembles the flow characteristics of actual carotid arteries. These findings suggest that the developed phantom can serve as a foundational tool for educational phantom development, improving accessibility to ultrasound diagnostic training and contributing significantly to advancements in medical education.

Keywords: Doppler Phantom, Ultrasound, 3D Printing, Blood-Mimicking Fluid, Stenosis

I. INTRODUCTION

초음파는 과거에 비해 나날이 큰 발전을 이뤄 더욱 소형화, 첨단화되고 있으며, 3차원뿐만 아니라 4차원 영상 재구성 방법 등으로 검사가 신속, 정확, 편리해지면서 그와 함께 각종 질환의 감별 진단에 유용한 정보를 제공하고 있다. 각 장기의 영상 진단은 물론, 심뇌혈관 분야에서도 큰 성과를 보이고 있다^[1]. 게다가 전산화 단층 혈관조영술, 투시조영술, X-ray 등 다른 영상의학 검사는 피폭에 의한 부작용이 따르는 반면^[2], 혈관 초음파 검사는 그에 따른 부작용 초래가 적다는 장점이 있다. 최근 KOSIS 국가통계포털 2021의 통계에 따르면, 뇌혈관 질환은 1년간 총 발생 건 수가 108,950건에 이르며, 그

중 80세 이상의 여성이 18,997명으로 제일 많았으며, 재발생건 수는 총 발생건 수 중 20,948건을 차지함으로써 적지 않게 재발되는 질환이다^[3]. 이처럼 현대 사회에서는 인구 고령화와 서구화된 식습관으로 인해 뇌혈관 관련 질환은 중요한 문제로 대두되고 있는 실정으로 뇌혈관 질환 검사는 보편화되어야 하며, 치료 이후에도 재발생되는 점을 고려하여 지속적인 추적 검사도 필요하다^[4]. 그러므로 검사 방법이 비교적 간단하고 비용이 저렴하며 반복적인 검사가 가능한 초음파 검사는 뇌혈관 질환의 조기 진단 및 지속적인 추적 검사에 적합하다^[5].

뇌혈관 질환 검사에 있어, 초음파 음속으로 인체의 혈관 내 혈류 상태를 나타내는 도플러 스펙트럼 분석은 매우 중요하다. 혈류 상태로는 blunt flow(둔

* Corresponding Author: Dong-Hee Hong

E-mail: hansound2@hanmail.net

Tel: +82-31-870-3415

한 흐름), Lamina flow(층류), jet flow(빠른 혈류), turbulent flow(난류)의 4가지 양상을 나타낸다. blunt flow(둔한 흐름)는 혈류가 혈관벽 부위와 혈관 중심 부위에서 속도 차이가 크지 않는 패턴의 혈류이다. Lamina flow(층류)란 혈관벽 부위의 속도가 혈관 중심 부위에 비해 상대적으로 느리게 흐르는 패턴의 혈류이다. jet flow(빠른 혈류)는 좁아진 혈관을 주행할시 혈류 속도가 빨라지는 현상이다. turbulent flow(난류)는 좁은 혈관에서 넓은 혈관으로 주행하게 되면서 혈관 주행에 급격한 변화가 있을 시 발생하는 와류 현상을 나타내는 혈류다¹¹. 도플러 초음파는 이 중에서 정상 경동맥 혈관에서 나타나는 blunt flow(둔한 흐름)패턴의 혈류와 협착 부위 직하 부에서 나타나는 turbulent flow(난류)패턴의 혈류를 확인한다.

혈관 팬텀 제작에는 혈류 측정이 가능하도록 도플러 시프트 효과가 인체와 유사하게 구현되는 유체의 개발이 꼭 선행되어야 한다. 본 실험에서는 글리세롤 농도 33%와 증류수의 비율이 인체 혈액의 점도와 유사하다는 선행 논문을 바탕으로 시행하였고 혈액의 적혈구를 구현하기 위하여 지름 16 μm 의 녹말가루를 희석하여 제작하였다⁶.

초음파 검사는 검사자의 경험과 기술로 혈류 속도를 측정하는 데 있어 여러 요인으로 발생하는 오차를 줄여야 한다¹⁷. 그러므로 검사자는 지속적인 교육과 경험이 필요하며, 이를 위한 교육용 팬텀이 필요하다. 하지만 경동맥 초음파 팬텀은 비용적 부담이 큰 문제로 대부분의 병원 및 교육기관에서 구비하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 정상 경동맥 혈관에서 나타나는 blunt flow(둔한 흐름)패턴의 혈류와 협착부위 직하 부에서 나타나는 turbulent flow(난류)패턴의 혈류를 확인할 수 있는 저비용 팬텀을 제작하고자 했으며, 모조 혈액의 재료와 그에 적합한 비율을 찾는 데 목적을 두었다. 본 연구를 통해 교육자를 위한 저비용의 협착 경동맥 도플러 팬텀이 실제 제공되어 초음파 검사 교육 환경 발전에 기여되는 자료가 되었으면 한다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 팬텀 제작 (Phantom production)

1.1. 수조 제작

본 연구에서는 교육용 도플러 초음파 팬텀을 제작하였다. 도플러 팬텀의 크기는 가로 152 × 세로 110 × 높이 55 mm로 설정하였다. 소재는 플라스틱 수조로 벽에 구멍을 낸 뒤 이를 관통하는 실리콘 튜브를 연결하였다. 각각 다른 모조 혈액을 담기 위해 하나의 팬텀 아래 순환 통 두 개를 위치시키고 순환하였다. 팬텀 수조 내부는 인체 내 연부조직과 유사한 효과를 낼 젤라틴을 부어 모사하였다. 젤라틴이란 동물의 피부, 뼈, 인대나 건(힘줄) 등을 구성하는 콜라겐을 산이나 알칼리로 처리하여 얻어지는 유도 단백질의 일종이다. 이를 물과 점도증가제인 카보폴과 함께 녹여 인체의 지방 및 피부를 표현하였다. 젤라틴 용액의 비율은 9 : 1로 물 720 ml에 젤라틴 80 g을 녹인 뒤 점도 조절을 위해 카보폴 1 g을 넣어 제작하였다. 두 개의 순환 수조에는 인체의 경동맥 혈류 순환을 표현하기 위하여 배수량 300 L/h의 펌프(유체펌프 3W, HJ-311, Amazon, China)를 설치하였으며 내부에 모조 혈액을 담았다. 유체펌프는 한 방향으로만 흐르도록 설계했으며, 모조 혈액이 혈관을 통과한 뒤 모조 혈액이 담긴 수조로 재수집 되어 순환하도록 하였다. 이때 경동맥 혈관을 모사한 튜브는 구경 8 mm, 두께 1 mm의 실리콘을 사용하였으며, 정상 혈관은 직경 8 mm, 협착 혈관은 직경 2.4 mm가 되도록 팬텀 양쪽에 설치하였다.

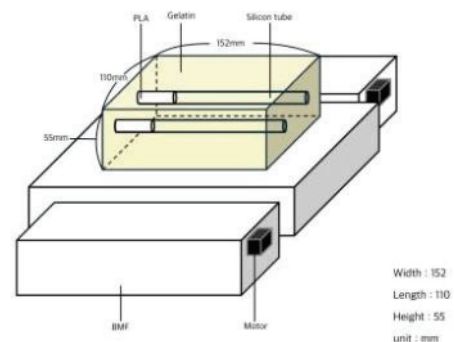


Fig. 1. Phantom design.

교육용 도플러 팬텀의 스캔을 위한 실험 환경은 초음파 스캔이 진행되는 초음파실 내에서 진행된다. 인체 내 혈류 속도와 유사한 속도로 순환하는 두 개의 모조 혈액을 담은 순환 수조와 팬텀이 고정되어야 한다. Fig. 1과 같이 두 개의 모조 혈액이 같은 거리를 이동하고 순환이 되도록 실리콘 튜브의 길이를 각각 25 cm 설정하였다.

1.2. Using 3D Printing Technology to Create Stenosed Blood Vessels

3D 프린팅 중 적층식으로 PLA재질을 쌓아가는 FDM방식을 이용하여 혈관의 협착을 구현하였다. Fusion 360 프로그램으로 디자인 설계 후(Fig. 2), 3D 프린터(e_S150, LUGO labs, South Korea)를 이용하여 설계 물을 출력하였다. 외경을 7.9, 8.0, 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 mm로 설계한 후, 구경과 높이의 크기는 동일하게 구경 2.4 mm, 높이 20 mm의 협착 모형으로 설계하였다. Fig. 2와 같이 튜브 내부에서 협착 모형의 이동하는 것을 방지하고자 외경 8.3 mm, 구경 2.4 mm, 높이 20 mm의 협착 모형을 삽입하여 협착 혈관을 표현하였다.



Fig. 2 Stenosis Blood Vessel Desig.

1.3. 모조 혈액 제작방법과 비율

실제 혈액을 모사하는 것은 도플러 팬텀 제작에서 중요한 요소이다. 인체의 경동맥 실제 혈액의 유사성과 쉽게 구비가 가능하며 비용 절감이 가능한 재료로 모사 혈액을 제작하였다. 증류수를 용매로 혈액과 유사한 점도를 표현하기 위하여 글리세롤을 사용하였다^[8]. 글리세롤의 비율은 800 ml 기준으로, 10%로 고정하였다^[6]. 도플러 초음파는 적혈구 산란의 정도로 신호를 얻기에 적혈구 구현물이자 산란체로 지름 16 μm 의 녹말을 사용하였다. Fig. 3과 같이 인체 혈액과 유사성 비교를 위하여 녹말가루를 2%, 3%, 5%, 10%의 비율로 4종류의 모조

혈액을 제작하였다. 녹말가루를 첨가한 후에는 몇 시간 이상 모조 혈액을 방치하지 않고, 침전되는 것을 주의하였다.



Fig. 3. Starch Powder-Based Fake Blood at Different Percentages.

(A) 16 μm starch powder 2%, (B) 16 μm starch powder 2%, (C) 16 μm starch powder 3%, (D) 16 μm starch powder 3%, (E) 16 μm starch powder 10%

2. 제작 팬텀의 스캔 설정과 결과값 도출

Fig. 4와 같이 연구에 사용된 초음파 기계는 ALPINION Ecube 8이며 프로브(Probe)는 주파수 6MHz로 설정한 선형 탐촉자 L3-12H Linear를 이용하였다. 유체펌프는 모조 혈액을 가득 채운 수조 내부에 설치하여 모조 혈액이 한 방향으로 흐르도록 하였고, 실험의 편리성을 위해 두 개의 혈관을 설치하였다. 컬러 도플러의 이득 (Gain) 은 수신된 신호를 증폭시켜 나타나기 때문에 민감도에 따른 변수를 감안하여 고정변수 47dB로 지정하였고, 모조 혈액의 녹말가루 비율별 도플러효과의 분포도를 실험하였다. 녹말가루의 비율 2%, 3%, 5%, 10%의 정상 혈관 부위와 협착 혈관 부위 영상을 획득하였고, 인체 경동맥 혈액과의 유사성을 확인하기 위해 실험자 세 명의 경동맥의 영상도 획득하여 의료영상 저장 전송장치(picture archiving and communication system, PACS)로 전송 후, 영상들을 JPEG 형식의 파일로 추출하였다. 해당 추출된 JPEG 영상들은 image J 프로그램에서 각 한 영상씩 8-bit type으로 설정하여 컬러영상을 흑백으로 변환시킨 후 임계값(threshold)은 20으로 고정하여, Dark background 기능을 이용해 도플러 신호 면적만을 분류해서 도플러 분포의 평균값과 면적 분율

(%Area)을 추출하였다. 실제 인체 경동맥 영상의 도플러 효과를 비교하기 위해 컬러 도플러 영상을 획득하여 각 비율별 정상 혈관 부위 30회, 협착 혈관 부위 30회로 240회 분석하였고 비교를 위한 인체 경동맥 혈액의 도플러 효과 수치를 확인하기 위해 위와 같은 방법으로 다섯 명의 경동맥 영상도 획득하여 총 255회의 도플러 분포 평균값과 면적분율(%Area)를 산출하여 비교 분석하였다.

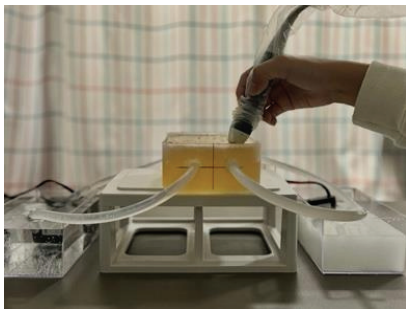


Fig. 4 Phantom Undergoing Doppler Scan.

III. RESULTS

본 연구에서는 교육용 도플러 초음파 팬텀을 제작하고 도플러 유체의 녹말 비율에 따른 도플러 분포 평균값과 면적분율(%Area)를 평가하였다.

1. 모조 혈액 비율

본 연구에서는 교육용 경동맥 도플러 초음파 검사용 팬텀을 제작하고 그 성능을 평가하였다. 내부에 흐르는 혈류를 분석한 결과 실제 경동맥 값과 유사하였으며 이를 통해 본 연구에서 녹말 혼합물로 제작된 모조 혈액이 초음파 전달의 특성을 적절히 구현하였음을 확인하였다.

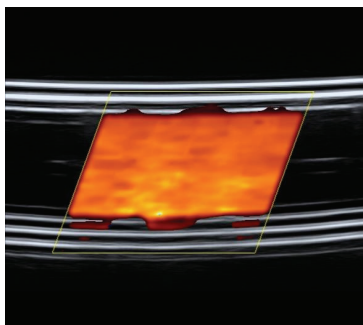


Fig. 5. Phantom vessel of Normal.

본 연구에서는 정상 혈관 및 혈관 협착 팬텀을 컬러 도플러를 이용하여 평가하였다. Fig. 5는 정상 혈관을 제작하여 얻은 영상이다.

Table 1. Carotid Atery (Normal) starch at different percentages

Material	Mean	StdDev	%Area
Starch 2%	91.37	16.67	99.90
Starch 3%	91.30	27.71	98.82
Starch 10%	102.36	26.18	99.08

Table 1과 같이 본 연구에서 제작된 팬텀의 모조 혈액은 정제수와 글리세롤, 녹말로 제작되었다. 팬텀을 스캔한 뒤 image j 프로그램을 이용하여 분석하였다.

실험 측정 결과, 정상 혈관의 경우 녹말 2%의 모조 혈액에서 Mean 값은 91.37로 나타났다. 녹말 3%의 모조 혈액에서는 %Area 값이 98.82로 나타났으며, 이는 실제 경동맥 값과 유사한 수준이다. 이를 통해 녹말 2~3%의 비율이 모조 혈액으로 적합함을 확인하였다.

2. 협착 모형 제작

2.1. 협착 모형의 직경

혈관 협착 부위를 재현하기 위하여 fusion360으로 총 여섯가지 직경의 협착 모형을 설계하였다.

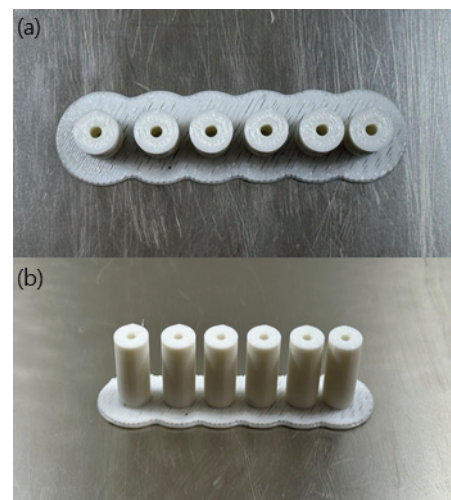


Fig. 6. Stenosis Blood Vessel Model (3D printing)
(a) Top view, (b) Front view.

직경의 크기는 7.9 mm, 8.0 mm, 8.1 mm, 8.2 mm, 8.3 mm, 8.4 mm로 stl 파일을 ideamaker에서 슬라이싱 및 g-code 파일로 변환하여 출력하였다. 본 연구에서 제작된 팬텀의 실리콘 혈관 내부에서 협착 부위가 펌프의 수압에 의해 움직이지 않도록 직경을 0.1 mm의 간격으로 프린팅하였다.

Fig. 6과 같이 제작된 혈관 협착 모델을 실리콘 튜브에 넣어 실험한 결과 최종적으로 8.3 mm경이 적합하였다.

2.2. 협착 혈관 이미지 확인

본 연구에서 제작한 팬텀의 협착 혈관 이미지 확인을 위해 초음파 진단 장비의 선형 탐촉자를 이용하였다. 혈류의 방향을 확인하기 위하여 컬러 도플러 스캔을 진행하여 영상의 색상 변화 정도를 확인하였다. 협착 모형을 지난 혈류의 모양이 Fig. 7과 같이 색상이 혼재되어 나타났으며 이를 통해 협착 부위를 지난 혈액이 turbulent flow를 확인하였다.

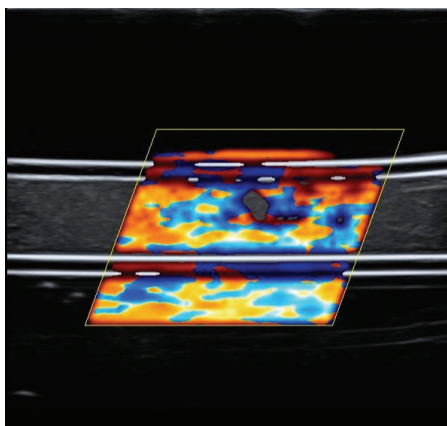


Fig. 7. Phantom vessel of Stenosis.

IV. DISCUSSION

본 연구에서는 초음파 도플러 팬텀을 제작하여 교육적 팬텀으로의 적합성을 평가하였다. 본 팬텀의 재료로 젤라틴, 실리콘 호스, 플라스틱 수조를 이용하였으며, 젤라틴 및 실리콘 호스로 제작하였다. 또한 3D 프린팅 기법으로 혈관 협착을 재현하고 모조 혈액은 녹말가루, 글리세린, 정제수의 혼합물로 실제 혈액의 특성을 모사하였다^[5]. 본 연구에서 제작된 팬텀 영상에서 도플러 효과가 명확히 나

타났으며, 이를 통해 팬텀 사용자가 초음파 진단에서의 혈류 분석 및 속도 측정을 학습할 수 있음을 확인하였다^[9]. 팬텀에서 정상 혈류 및 협착 혈류의 방향성을 확인할 수 있었다. 특히 협착 부근의 와류 현상을 직관적으로 이해할 수 있는 기회가 되며 이는 교육적인 측면에서 중요한 요소로 작용할 것으로 판단된다.

선행 연구에서는 파워 도플러를 이용한 혈관 협착 팬텀이 연구되어졌다. 혈관 혈류의 흐름 구현은 병원에서 구할 수 있는 자동 주입기를 이용하였으며, 협착을 가진 혈관은 실리콘으로 자체 제작하였다^[10]. 초음파 도플러 팬텀을 통하여 혈관 협착을 진단할 수 있도록 하는 부분은 본 연구의 목표와 유사하지만 본 연구에서는 병원에서만 구할 수 있는 자동 주입기와 협착을 가진 실리콘 튜브를 자체 제작하는 어려움과 고비용에 대한 부분은 다음과 같이 극복하였다. 혈관 혈류 순환을 구현하기 위하여 저비용으로 쉽게 구할 수 있는 배수량 300 L/h의 펌프(유체펌프 3W, HJ-311, Amazon, China)를 설치하였고, 3D 프린터로 협착 모형을 설계하고 실리콘 튜브에 설치하면서 경제적인 부분을 보완하였다. 또한 팬텀에 사용된 재료가 시중에서 쉽게 구할 수 있어 기존에 진행된 연구 대비 높은 경제성을 제공하고, 교육기관 등에서 부담 없이 사용 가능하며 실용적인 대안임을 제시한다^[11].

최근 이와 관련하여 3D 프린팅 기술을 이용한 의료용 팬텀 연구가 진행되고 있다. 일반 X선 촬영 교육용 팬텀 연구에 많이 적용되고 있으며, 3D 프린팅 기술은 저렴한 비용으로 팬텀을 제작하여 기존 팬텀의 성능과 유사하다는 결과를 나타내었다^[12]. 본 연구에서는 3D 프린팅을 통해 제작한 협착 모형을 팬텀에 활용하였다. 스캔된 영상 분석 결과, 혈관 협착 시 관찰되는 turbulent flow 패턴의 혈류가 확인되었으며 연구적 가치가 있다고 판단하였다.

선행으로 진행된 도플러 이미징을 위한 모조 혈액의 용매로서 탄산수의 적합성을 조사한 논문에서는 연구를 통해 탄산수의 도플러 민감도가 높다는 결과를 나타내며 혈액 모방 유체(BMF)에 대한 기본 데이터를 제공하였다. 혈액 모방 유체로 적용 가능한 혈액 샘플은 한정되어 있기에 이를 대체할

수 있는 유체에 대한 연구 목표는 유사하다^[13]. 본 연구에서는 모조 혈액의 도플러 효과를 얻기 위해 지름 16 μm 의 녹말입자로 적혈구를 구현하여, 혈액 모방 유체 연구의 기초 자료로 활용될 수 있다 사료된다.

교육용 도플러 팬텀은 범용성과 제작비용 절감 목적으로 제작되어 협착 혈관의 완벽한 모사는 어려운 사항이 있었다. 협착 혈관은 PLA 재질의 비투과성 물질로 제작되어 내부 스캔이 불가하였다. 선행 연구에서는 3D 프린팅을 이용하여 거꾸집을 제작한 후, PVA-C를 굳혀 협착 구간의 혈류가 관찰되는 VMM(Vessel Mimicking Material)을 제작하였다^[14]. 협착 구간의 혈류가 관찰할 수 있는 선행 연구인 것이다. 하지만 본 연구에서 도플러 팬텀의 정상 부위와 혈관의 와류 현상을 구현하였으므로 도플러 효과를 입증하는 큰 의의가 있다. 실제 인체의 혈관 혈류 역학적 스캔이 가능한 팬텀 제작의 가능성을 제시하였다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 교육용 도플러 초음파 팬텀을 제작하여 적합성을 연구하였다. 3D 프린팅 기술을 이용하여 제작이 간단하고 저비용의 교육용 팬텀 제작을 목표로 하였다. 제작된 교육용 도플러 초음파 팬텀은 초음파 영상 촬영 결과 도플러 유체의 흐름이 관찰되었으며 실제 인체 경동맥의 값과 유사함을 확인하였다. 직접 제작한 모조 혈액 내부의 산란체가 적혈구 역할을 하면서 도플러 효과로 산란, 반사되는 것으로 관찰되었고, 혈관 협착 시 관찰되는 turbulent flow 패턴의 혈류가 확인되었다. 또한 정상 혈관의 경우 실험 측정 결과 녹말 2%의 모조 혈액이 Mean 값 91.37, 녹말 3%의 모조 혈액이 %Area 98.82로 녹말 2~3%의 비율이 모조 혈액으로 적합함을 확인하였다. 이를 통해 모조 혈액의 적합성이 확인되면서 연구적 가치가 있다고 사료된다. 더불어 교육용 팬텀 제작의 기초 자료를 제공하였다. 이를 통하여 초음파 진단 교육의 접근성을 향상시키고 향후 교육 발전에 새로운 가이드라인이 될 것으로 기대된다.

Reference

- [1] D. H. Kang, et al., *Text book of Ultrasonography*, 3th edition, Daihakseolim Publishing, 2020.
- [2] G. Y. Jin, "Use of Coronary CT Angiography as a Screening Tool for Coronary Artery Disease in Asymptomatic Healthy Individuals or Patients", *Journal of the Korean Society Radiology*, Vol. 83, No. 1, pp. 54-69, 2022.
<https://doi.org/10.3348/jksr.2021.0161>
- [3] H. H. Lee, S. M. J. Cho, H. K. Lee, J. M. Baek, J. H. Bae, W. J. Chung, H. Ch. Kim, "Korea Heart Disease Fact Sheet 2020: Analysis of Nationwide Data", *Korean Circulation Journal*, Vol. 51, No. 6, pp. 495-503, 2021.
<https://doi.org/10.4070/kcj.2021.0097>
- [4] S. H. Cho, G. S. Jeon, "Uncertainty, Self-care Agency and Physiological Index in Acute Myocardial Infarction Patients who Underwent Primary Percutaneous Coronary Intervention", *The Korean Journal of Health Service Management*, Vol. 9, No. 4, pp. 105-117, 2015.
<http://dx.doi.org/10.12811/kshsm.2015.9.4.105>
- [5] J. H. Kim, Y. C. Heo, "Study of Doppler Fluid Effects of Carbonated Water in a Bi-directional Flow Phantom Model", *Journal of the Korean Society Radiology*, Vol. 18, No. 2, pp. 83-91, 2024.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2024.18.2.83>
- [6] K. V. Ramnarine, D. K. Nassiri, P. R. Hoskins, J. Lubbers, "Validation Of a New Blood-Mimicking Fluid For Use In Doppler Flow Test Objects", *Ultrasound in Medicine and Biology*, Vol. 24, No. 3, pp. 451-460, 1998.
[http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629\(97\)00277-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0301-5629(97)00277-9)
- [7] M. S. S. Hashuro, K. Daibo, T. Ishii, Y. Saijo, M. Ohta, "Ultrasound flow phantom for transcranial Doppler: An assessment of angular mismatch effect on blood velocity measurement in comparison to optical particle image velocimetry", *Frontiers in Physics*, Vol. 11, 2023.
<https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1134588>
- [8] J. Y. Kim, T. W. Jung, K. W. Shin, S. C. Noh, H. H. Choi, "A Study on the Efficiency Evaluation of Ultrasound Therapy Using Varicose Vein Simulated Tissue Phantom and Tissue Equivalent Phantom",

Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 3, pp. 427-433, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s11548-020-02201-3>

- [9] J. K. Kim, M. J. Ha, "Diagnosis of Micro-Calcified Lesions of Breast Tissue Phantoms Using Acoustic Resonance Coupled with Power Doppler", The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 27 No. 2, pp. 80-86, 2008.
<https://doi.org/10.7776/ASK.2008.27.2.080>
- [10] H. Y. Park, J. R. Bae, J. K. Kim, "Manufacture of Flow Phantom with Stenosis and Imaging Evaluation of Power Doppler", The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 28, No. 8, pp. 732-739, 2009.
<https://doi.org/10.7776/ASK.2009.28.8.732>
- [11] M. B. Rominger, E. M. Müller-Stuler, M. Pinto, A. S. Becker, K. Martini, T. Frauenfelder, V. Klingmüller, "Easy pulsatile phantom for teaching and validation of flow measurements in ultrasound", Ultrasound International Open, Vol. 2, No. 03, pp. 93-97, 2016. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-106396>
- [12] W. J. Choi, D. H. Kim, "Making Human Phantom for X-ray Practice with 3D Printing", Journal of the Korean Society Radiology, Vol. 11, No. 5, pp. 371-377, 2017.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2017.11.5.371>
- [13] H. K. Lee, D. B. Jung, Y. C. Heo, Y. J. Lee, "Feasibility study on carbonated water for Doppler imaging in medical ultrasonic applications", Optik, Vol. 222, pp. 165480, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.165480>
- [14] H. Nisar, J. Moore, R. Piazza, E. Maneas, E. C. S. Chen, T. M. Peters, "A simple, realistic walled phantom for intravascular and intracardiac applications", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 15, No. 9, pp. 1513-1523, 2020.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11548-020-02201-3>

교육용 도플러 초음파 팬텀제작에 관한 모조혈액 연구

윤세연, 김나연, 이진선, 홍동희*

신한대학교 방사선학과

요 약

본 연구는 교육자를 위한 저비용의 협착 경동맥 도플러 팬텀을 제작하여 초음파 검사 교육 환경을 향상시키는 것을 목적으로 제작한 팬텀의 유용성을 실제 인체를 측정된 혈류와 비교하여 확인하고자 하였다. 교육용 도플러 초음파 팬텀과 모조 혈액을 제작하고, 3D 프린팅을 통해 외경 8.3 mm의 협착 모형을 제작하였다. 모조 혈액은 글리세롤과 녹말가루의 혼합물로 점도와 산란 특성을 구현하였으며, 농도 별 정상 및 협착 혈관을 순환하는 실험을 진행하였다. 도플러 영상은 Image J를 활용해 도플러 영상의 신호 면적과 분포를 분석하여 모조 혈액의 효과를 검증하고 혈류 패턴을 확인하여 도플러 팬텀의 가능성을 확인하였다. 녹말 비율 2%에서 Mean 값 91.37, 3%에서 면적분율(%Area) 98.82로 2~3%의 녹말 비율이 실제 경동맥과 유사함을 보였다. 이를 통해 제작된 팬텀이 교육용 팬텀 제작 연구의 기초가 되어 초음파 진단 교육의 접근성 향상 및 향후 교육의 발전에도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

중심단어: 도플러 팬텀, 초음파, 3D 프린터, 모조 혈액, 협착

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	윤세연	신한대학교 방사선학과	학생
(공동저자)	김나연	신한대학교 방사선학과	학생
	이진선	신한대학교 방사선학과	학생
(교신저자)	홍동희	신한대학교 방사선학과	조교수