

Procedure

젤라틴을 사용한 저렴하고 간편하며 해부학적으로 유사한 심낭천자 모델 제조방법

양현찬 · 이상훈 · 김태권 · 전재천 · 진상찬 · 최우익 · 유종훈

계명대학교 의과대학 동산의료원 응급의학과

An inexpensive, easy, and anatomically similar pericardiocentesis model manufacturing method using gelatin

Hyun Chan Yang, Sanghun Lee, Tae Kwon Kim, Jaecheon Jeon, Sang-Chan Jin, Woo Ik Choi, Jonghoon Yoo

Department of Emergency Medicine, Dongsan Medical Center, Keimyung University School of Medicine, Daegu, Korea

Objective: Cardiac tamponade with hemodynamic collapse requires immediate treatment, and ultrasound-guided pericardiocentesis is the treatment of choice. Although an essential skill for emergency physicians, there is a lack of training. We created a phantom that could practice ultrasound-guided pericardiocentesis using readily available materials. The pros and cons of the materials used were then compared.

Methods: Cardiac tamponade phantoms were made from gelatin, and included a heart, liver, and rib cage. We conducted a model-specific satisfaction questionnaire targeting 15 emergency physicians. The questionnaire was designed to be answered on a Likert 5-point scale.

Results: Creating the gelatin model took 6 hours. At room temperature, the gelatin model was able to retain its shape for 3 days. Fifteen physicians participated in the questionnaire, comprising five subjects having actual pericardiocentesis experience. In the questionnaire, our model achieved high satisfaction with all questions.

Conclusion: In our study, the pericardiocentesis phantom made from gelatin could maintain its shape for a long time, there was better recognition of the needle tip, and the model was more similar to the actual cardiac tamponade situation. Considering these positive characteristics, we recommend the phantom as a model for pericardiocentesis training.

Keywords: Pericardiocentesis; Ultrasonography; Cardiac tamponade; Imaging phantoms

서 론

심낭삼출과 이로 인한 심낭압전은 다양한 임상 양상으로 나타날 수 있지만, 혈액학적 허탈을 동반한 심낭압전은 심낭천자술 또는 외과적 심낭절제술을 통한 응급 심낭 배액이 필요하다.^{1,2} 심낭삼출액으로 인한 위험에 대한 인식은 이미 수 세기 전부터 이루어졌다. 1970년대 이전까지는 맹검심낭천자술이 표준적인 술기였으나, 맹검심낭천자술은 높은 합병증 발생률과 사망률을 동반하였으며, 이후 초음

파 기기가 발전하면서 심장초음파를 통한 심낭천자술이 최선의 치료로 자리 잡았다.³⁻⁸ 심낭압전 환자는 심낭액의 제거만으로도 정상적인 심실충만이 가능하고 적절한 심박출량이 회복될 수 있기 때문에 응급 심낭천자술은 이와 같은 환자에서 필수적인 술기이다.⁶ 국내에서는 응급의학과 전공의의 연차별 수련 교과과정으로 심낭천자술이 지정되어 있다.⁹

그럼에도 불구하고 수련 기간 동안 충분한 심낭천자술 사례를 경험하기 어렵고 술기 훈련을 위한 상업적 심낭천자 모델은 가격이 비싸며 심낭천자술 후 재사용이 어려운

책임저자: 유 종 훈

대구광역시 달서구 달구벌대로 1035

계명대학교 의과대학 동산의료원 응급의학과

Tel: 053-258-7898, Fax: 053-258-6305, E-mail: wsnatz@gmail.com

접수일: 2022년 7월 8일, 1차 교정일: 2022년 9월 21일, 게재승인일: 2022년 10월 5일

Capsule Summary

What is already known in the previous study

Blind pericardiocentesis has been a standard procedure till now. However, it is generally accompanied by a high incidence of complications and a high mortality rate. With the development of ultrasound devices, pericardiocentesis with echocardiography has established itself as the most effective treatment. Being an uncommon technique, pericardiocentesis is difficult to perform directly on patients, which poses a high risk of complications. Moreover, it is difficult to impart training to perform pericardiocentesis due to the high cost of commercial pericardiocentesis training models.

What is new in the current study

We made cardiac tamponade phantoms from gelatin, gel wax, and psyllium husk, and the phantom included a heart, liver, and rib cage. The pericardiocentesis phantom made from gelatin maintains its shape for a long time, needle tip recognition was improved, and it is more similar to the actual cardiac tamponade situation.

경우가 많아 심낭천자술의 숙련도를 올리기 어렵다.^{10,11} 이러한 술기 훈련과정의 문제점을 개선하기 위한 노력의 하나로 저비용의 효율적인 모델을 만들기 위한 여러 가지 연구가 수행되었다.¹⁰⁻¹³

우리는 초음파를 이용한 심낭천자 모델을 만들기 위해 이전 연구에서 제작이 가능하다고 보고된 재료 중 식용 젤라틴을 이용해 모델을 만들었다. 이전의 연구들은 대략적인 심낭 공간만을 구현하였으나 우리는 심낭압전 모델에 갈비뼈를 사용한 흉곽과 풍선을 사용한 간의 모형을 함께 구현하였다. 이를 통해 술기를 연습하는 동안 실제 상황과 유사한 환경을 조성하고, 술기 중 발생할 수 있는 간 열상 등의 합병증을 발생시키지 않는 연습을 할 수 있으며, 초음파 유도 심낭천자술의 여러 가지 접근법을 연습할 수 있도록 모형을 설계하였다. 또한 심낭천자 모델 제작 이후 설문조사를 통해 젤라틴으로 제작한 모델의 효용성을 알아보았다.

방 법

1. 연구 디자인 및 대상

식용 젤라틴으로 초음파를 이용한 심낭천자술 연습모형

을 제작하고 응급의학과 의사를 대상으로 하여 각각의 연습모형으로 실습을 시행하였다. 실습을 완료한 인원은 각각의 연습모형의 만족도를 묻는 설문조사를 시행하였다. 이 연구는 본원 의학윤리연구심의위원회의 승인을 받았으며 서면으로 동의서를 작성하였다(IRB No. 2022-05-067).

2. 심낭천자 모델 제작

1) 준비물

식용 젤라틴, 모델을 식히기 위한 플라스틱 용기(30 cm × 40 cm × 15 cm), 고무풍선 3개, 물감, 갈비뼈 모형, 휴대용 버너를 사용하였다.

2) 심장, 간 모형 제작

고무풍선 3개를 이용하여 간과 심막삼출액이 차 있는 심장 모형을 만들었다. 한 개의 고무풍선에 파란색 물감을 섞은 물을 넣어 간 모형을 만들었다. 심장 모형은 한 개의 고무풍선 안에 다른 고무풍선을 넣고, 안쪽 풍선에 빨간색 물감을 섞은 물을 채워주어 심장 안 혈액을 표현하였고 바깥쪽 풍선은 수돗물을 채워 넣어 심낭액을 표현하였다. 각각의 풍선 안을 물감을 사용해서 다른 색깔로 채워 주사기로 액체를 흡인한 후 심낭천자술의 중요한 합병증인 간 천자, 심장 천자를 흡인액의 색깔을 통해 인지할 수 있도록 하였다. 물을 채운 다음 안쪽 풍선과 바깥쪽 풍선을 각각 묶었다.

3) 젤라틴 모델 제작

300 mL의 식용 젤라틴 가루와 1.8 L의 차가운 물을 섞어 2 L의 젤라틴 혼합물을 얻었다. 물과 젤라틴의 혼합물을 10분간 상온에 두어 젤라틴을 물에 불리고 이후 50-60°C의 물에 증탕하여 서서히 녹였다. 5-10분이 지나면 멍쳐져 있는 젤라틴 덩어리가 녹아 없어지고 표면에 생긴 거품을 걷어냈다. 플라스틱용기에 간, 심장 모형을 해부학적으로 알맞은 위치에 놓은 뒤 젤라틴 용액을 붓고 2시간 동안 냉장시켜 혼합물을 응고시켰다. 첫 번째 젤라틴 용액을 2시간 동안 냉장한 후 완성된 간과 심장 모형이 적절한 위치에 있는지 확인 후 그 위에 다시 젤라틴 혼합물 2 L를 부어 2시간 동안 냉장했다. 냉장된 모형 위에 갈비뼈 모형을 얹고 다시 2 L의 젤라틴 혼합물을 붓고 2시간 동안 냉장해 모형을 완성했다(Fig. 1, Appendix 1).

3. 젤라틴 심낭천자 모델을 사용하여 관찰 및 실습

심낭천자 모델이 담긴 플라스틱용기를 환자용 침대에 놓고 시술자에 따라 침대의 높이를 조절하여 실습을 시행하였다. 초음파 장비(Philips CX50 Ultrasound Machine; Philips, Amsterdam, Netherlands)를 사용하여 실습을

진행하였으며 모든 시술자는 검상하 접근법, 흉골연 접근법, 심첨부 접근법을 한 번씩 실습하였다(Fig. 2). 시술자는 20 개이지 바늘을 이용하여 심낭천자 실습을 시행하였다(Fig. 3). 천자에 성공한 뒤 심낭액은 다시 풍선 안으로 주입했다.

4. 심낭천자 모델 만족도 설문

설문은 15명의 응급의학과 의사들을 대상으로 시행하였으며, 2022년 5월 24일 원내 학회 후 참석한 인원들을 대상으로 하였다. 설문의 구성은 실제 심낭천자술 경험을 묻는 1개의 문항과 심낭천자 모델의 만족도를 묻는 5개의 문항으로 이루어졌으며 설문의 응답은 5단계 리커트(Likert) 척도를 이용하여 선택할 수 있도록 하였다(Appendix 2).

5. 통계 분석

통계 분석은 SPSS statistics version 24.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA)으로 시행하였다. 통계 분석법은 단변량 기술통계를 시행하였다.



Fig. 1. Completed pericardiocentesis model.

결 과

젤라틴 모델의 제작비용은 64,500원이었다. 모델 제작은 6시간이 소요되었으며 냉장고에 보관하면 2주 이상 형태가 유지되었으며 상온에 보관하면 3일 이내에 부패하여 사용할 수 없었다(Table 1).

설문조사에는 총 15명이 참여하였다. 5명(33.3%)은 심낭천자술 경험이 있었으며 참여자는 젤라틴 모형으로 실습 후 설문에 참여하였다. 심장 구조의 인식을 묻는 문항에서 리커트 척도의 중앙값은 4점이었다. 바늘 끝을 잘 알아볼 수 있는가를 묻는 문항에서 중앙값은 4점이었다. 심낭액이 잘 흡입되는가를 묻는 문항의 리커트 척도 중앙값은 5점이었다. 심낭천자술을 연습하기 좋은가를 묻는 문항에서 중앙값은 4점이었다. 심낭천자술 모형이 실제 심낭압전 상황과 어느 정도로 유사한가를 묻는 문항에서는 중앙값이 4점으로 나타났다(Table 2).

고 찰

응급실에서 맞닥뜨리게 되는 심낭압전은 위급한 상황이기 때문에 주치의는 심리적인 압박 속에서 심낭천자술을 시행하게 되며, 여러 위험한 합병증이 발생할 수 있다.¹⁴ 또한 심낭압전은 집중치료를 해야 하는 환자수가 많고 병원 내 사망률이 높다. 하지만 발생률이 낮아서 실제 상황에서 시행하는 술기만으로는 숙련도를 향상하기가 어려운 술기이며 많은 연습이 필요하다.¹⁵ 하지만 심낭천자술의 연습이 어려운 실정이므로 이를 위해 우리는 식용 젤라틴으로 초음파를 통한 심낭천자술 실습이 가능한 모형을 만들었다. 젤라틴 심낭천자술 모형 실습 후 시행한 설문조사에서, 우리의 모형은 모든 문항에서 리커트 척도 점수의 중앙값이 4점 이상으로 높은 만족도를 보였다.

이전 연구에서 여러 재료가 다양한 초음파 술기훈련 모델들을 만들기 위해 이용되었으며, 이 중 심낭압전 모델의 제작을 제안한 연구들도 있었다.^{10-12,16-19} 이전 연구에서 제작이 가능하다고 보고된 재료 중 쉽게 구할 수 있는 재료들은 젤 왁스, 식용 차전차피, 식용 젤라틴이었다. Campo Dell'orto 등¹¹은 젤 왁스로 심낭천자술 모델을 만드는데 2시간가량의 시간이 소요되고, 실온에서 2년 이상 보관할 수 있으며 평균 60회 이상의 시술을 시도할 수 있었다고 보고하였다. Sullivan 등¹⁰은 식용 차전차피를 이용한 심낭천자술 모델이 5분 이내로 쉽게 만들 수 있고 부패하지 않으며, 심낭천자술을 가르치는데 적합하며 훌륭한 만족도를 나타낸다고 보고하였다. 우리는 젤라틴 모형 이외에도 젤 왁스와 차전차피를 이용하여 모형을 제작하여 젤라틴 모형과 제작방법과 만족도를 비교하여 보았다(Appendixes 3,

4). 차전차피 모델은 Sullivan 등¹⁰이 보고한 바와 같이 빠른 제작시간 및 가열이 필요 없는 간단한 제작과정이 장점이었다. 10 cm×10 cm×5 cm의 작은 틀을 통해 모형 제작할 때는 인체조직과 유사한 점도가 유지되어 초음파

모형을 만들 수 있었지만, 인체와 유사한 크기의 모형을 만들 경우 차전차피 용해액이 물과 층을 이루어 분리되어 가라앉았고, 위로 떠 오른 액체층에서는 인체조직과 유사한 점도를 가질 수 없었으며 적절한 초음파 영상도 얻을 수 없

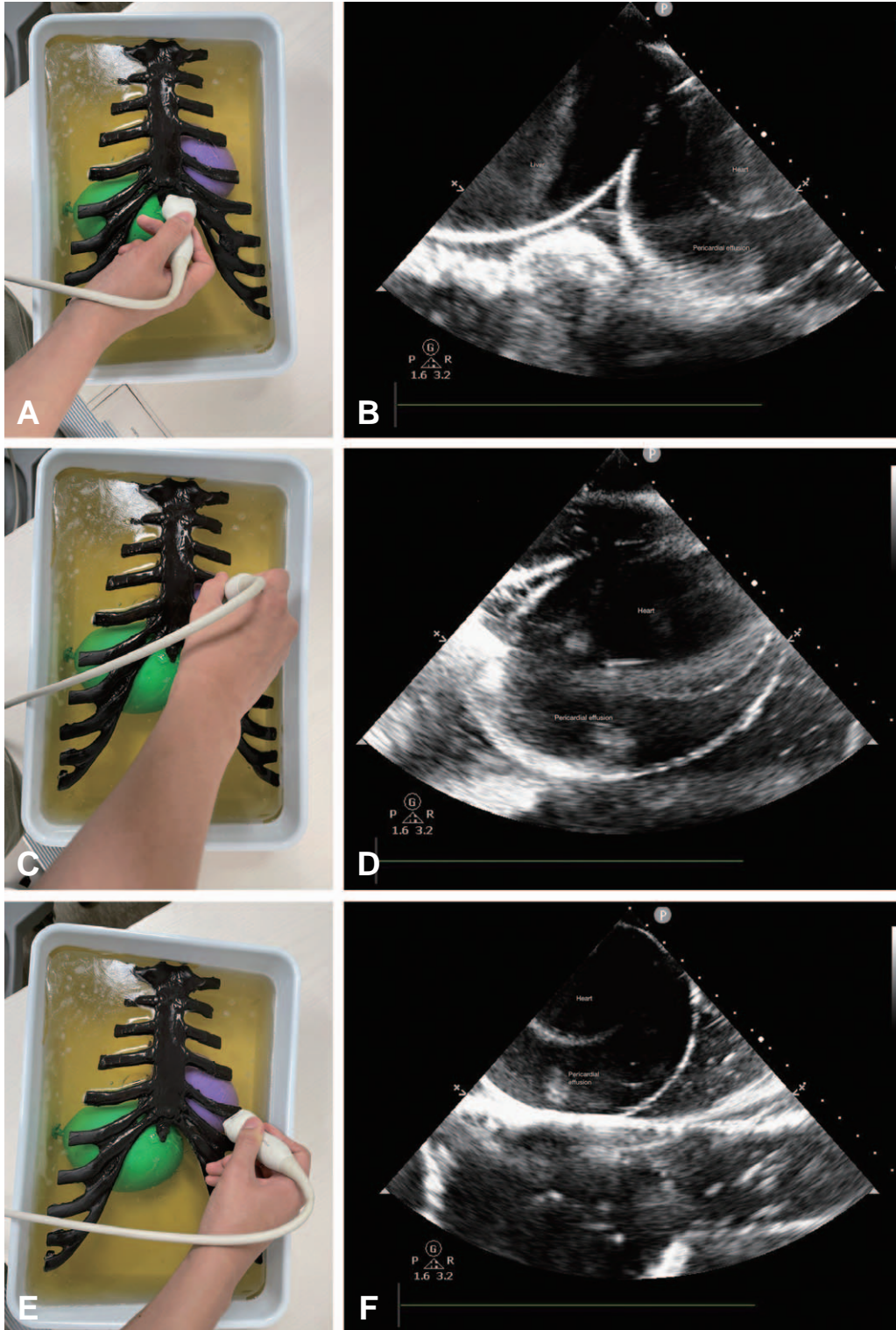


Fig. 2. (A, B) Subxiphoid approach and the ultrasonography view. (C, D) Parasternal approach and the ultrasonography view. (E, F) Apical approach and the ultrasonography view.

었다. 또한 부력에 의해 풍선이 고정되지 않아 간과 심장 모형의 위치를 일정하게 유지할 수 없었으며 갈비뼈 모형도 고정할 수 없었다. 젤 왁스로 만든 모형 또한 작은 크기일 경우 양호한 초음파 영상을 얻을 수 있었으며 제작 시간이 2시간 정도로 적게 소요되었다. 하지만 젤 왁스를 통한 초음파 모형을 만들기 위해서는 젤 왁스를 80°C 이상으로 가열해야 하므로 초음파 모형 제작을 위한 틀이 플라스틱이면 틀이 녹아버리는 단점이 있었다.²⁰ 따라서 플라스틱용기 대신 철허용기를 틀로 사용하여야 하였으며 틀에 모형이 담긴 상태로 초음파를 사용하면 철허용기로 인한 반향허상이 발생하여 최적의 영상을 얻을 수 없었다. 틀을 제거하면 젤 왁스를 이용한 모델은 중력에 의해 4시간 이내에

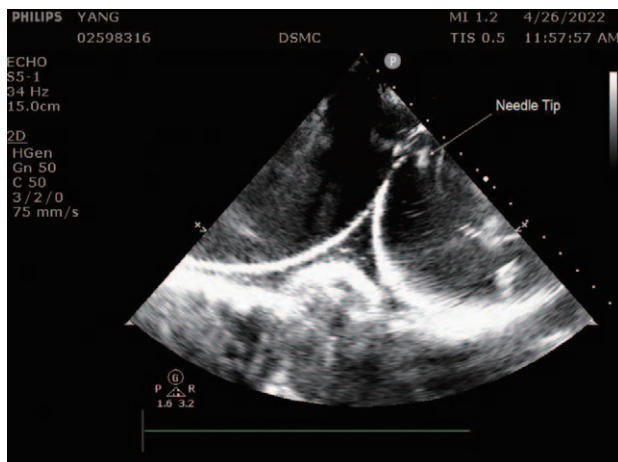


Fig. 3. View of the needle tip inserted into the pericardiocentesis model.

모양의 변형이 발생하여 지속적인 심낭천자술 실습이 불가능하였다. 또한 많은 양의 젤 왁스를 인체조직과 유사한 정도로 굳히기 위해서는 12시간 이상의 긴 냉장과정이 필요하였다. 또한 가열 시 악취와 연기로 인해 실내에서 초음파 모형을 제작하는데 어려움이 있었다. 식용 젤라틴을 이용한 초음파 모형은 차전차피 모델, 젤 왁스 모델과 비교해 가장 쉽게 인체와 유사한 크기로 심장 주위 구조물까지 고정 가능한 모형을 만들 수 있었다. 식용 젤라틴은 40-50°C에서 용해되기 때문에 젤 왁스 모델과 비교하여 빠르고 안전하게 만들 수 있었으며 가열 시 악취와 연기가 발생하지 않았다.²¹ 또한 상대적으로 저온에서 녹아 플라스틱 틀을 이용해 모델을 만들 수 있었다. 플라스틱 틀은 초음파 영상에 방해가 되지 않아 틀 안에서 심낭천자술 연습을 시행할 수 있어 초음파 모형의 형태를 오래 유지할 수 있었다. 젤라틴 모델은 상온에서 4일간 형태가 유지되었으며, 4일이 지나면 부패하여 악취를 유발하였다. 하지만 실습 후 냉장 보관하면 2주 이상 보관이 가능하였으며 약간의 젤라틴 용해액을 천자 부위에 부은 뒤 냉장하면 지속적인 반복사용이 가능했다. 한 번에 6 L의 용액을 녹여 심장, 간 모형과 함께 냉장하면 심장, 간 모형이 젤라틴 용액 안에서 고정되지 않으며 갈비뼈 모형이 가라앉아 적절한 모형을 얻지 못하였으며, 따라서 세 번에 걸쳐 2 L씩 냉장해 응고하는 방법을 통해 제작시간을 단축할 수 있었다. 6 L 이상의 젤라틴 용해액을 굳히면 2 L씩 나누어 냉장과정을 거쳐야 하였다. 한 번의 젤라틴 용해액 냉장 시 2시간이 걸렸으며 총 3번 층을 나누어 모형을 제작하였으므로 총 제작시간은 6시간가량의 상대적으로 짧은 시간이 소요되었다.

Table 1. Materials fabrication time, and storage time of the pericardiocentesis model

Material	Price (Korean won)	Time required to make (hr)	Storage time ^{a)} (hr)
Balloon	1,500		
Watercolor paint	1,000		
Rib model	49,000		
Gelatin model		6	72
Total price of gelatin model	64,500		
Gelatin	11,000		
Plastic container	2,000		

^{a)} Storage time is when stored at room temperature.

Table 2. Survey results of gelatin model

	Number of responses	Mean	Median	Standard deviation
Question 2	15	4.33	4	0.617
Question 3	15	3.93	4	0.594
Question 4	15	5.00	5	0.000
Question 5	15	54.07	4	0.594
Question 6	15	4.20	4	0.676

젤라틴 모형은 만들려면 젤라틴과 물의 혼합 비율을 결정해야 한다. 젤라틴과 물의 비율을 1:7로 섞었을 경우 냉각과정 후에도 점도가 부족하여 초음파 모형의 형태를 유지하지 못하였으나, 젤라틴과 물의 비율을 1:6으로 섞었을 경우 점도를 잘 유지할 수 있었다. 또한 뜨거운 물에 젤라틴을 녹이면 표면만 빠르게 녹아 응고되므로 젤라틴은 찬물에 녹여야 한다. 물과 젤라틴 혼합물을 가열하면서 표면에 생긴 거품을 제거하지 않으면 초음파 영상의 질이 낮아지므로 거품을 반드시 제거하여야 한다. 가루 젤라틴 선택 시 입자가 더 작은 제품을 사용하면 거품이 적었으며 용해가 더 잘 되어 양질의 초음파 영상을 얻을 수 있었다. 혼합물의 응고과정에서 더 빠른 냉각을 위해 냉장실이 아닌 냉동실을 이용해 보았으나 혼합물에서 수분이 빠지면서 모형이 갈라지므로 냉장실에서 응고과정을 진행하여야 한다. 풍선을 이용해 심장 모형을 만들 때는 풍선 안에 물을 담은 뒤 물을 조금씩 빼 주면서 풍선 안의 공기층을 최대한 제거해 주어야 더 나은 품질의 초음파 영상을 얻을 수 있다.

임상에서 심초음파 적용 시 갈비뼈는 심장을 관찰할 때 주요한 장애물이 될 수 있으며, 심초음파를 통해 갈비뼈 사이로 심장을 관찰하기 위해서는 심초음파에 대한 숙련이 필요하다.²² 우리의 모델은 실제로 갈비뼈 모형을 심낭압전 모델에 적용함으로써 이전의 연구들과는 달리 현실적인 심낭천자술 훈련이 될 수 있도록 하였다. 심낭천자술은 시술을 시행하기 전에 초음파를 통해 심낭액의 양과 위치를 평가해 적절한 접근법을 선택하여야 한다.² 심폐소생술 상황처럼 맹검 접근이 필요한 경우에는 검사하 접근법을 추천하고 있으나 초음파 유도하 심낭천자술이 보편화되면서 초음파 사용이 가능한 상황에서는 흉골연 접근법, 심첨부 접근법이 검사하 접근법보다 합병증 발생비율이 낮은 것으로 알려져 있다.²³ 그렇기 때문에 시술을 시행하기 위한 적절한 위치를 확인한 후 검사하, 흉골연, 심첨부 접근 중 한가지 방법을 선택하고 시술을 시행한다.²⁴ 이전의 연구에서 보고한 모델들은 단순히 심근 천자 없이 심낭액을 안전하게 배액하는 연습을 하는 것이 목적이었으므로 시술 위치에 따른 여러가지 접근법을 연습할 수 없었다. 우리의 모델은 갈비뼈 모형이 추가되어 이를 통해 심낭천자술의 여러가지 접근법을 연습할 수 있는 장점이 있다.

심낭천자술 시행 시 심낭을 천자하는 기술뿐만 아니라 심낭천자술 도중 발생할 수 있는 여러가지 합병증을 고려하여야 한다. 심낭천자술의 주요한 합병증으로는 사망, 심정지, 심장천공, 늑간혈관손상, 횡격막, 간, 폐 등의 주요 장기 손상 등이 있다.¹⁴

우리 연구에는 몇 가지 한계가 있다. 설문조사 응답자 수가 적어 단순한 기술통계분석만 수행할 수 있었으며 설문조사 응답자의 상당수가 심낭천자술의 경험이 없었으므로 심낭압전 모델의 주관적인 만족도가 실제 심낭천자술을 시행하는데 있어 어느 정도의 도움이 되는지 평가할 수 없었

다. 동물조직, 한천 등 여러가지 물질로 초음파 심낭천자 모델의 제작이 가능하다고 알려져 있으나 제한된 물질만 비교하게 되어 추후 우리의 심낭압전 모델로 추가적인 연구가 시행된다면 이에 대한 정확한 평가를 할 수 있을 것으로 생각된다.

결론적으로 본 연구에서 젤라틴으로 제작한 심낭천자 모형이 장시간 형태를 유지할 수 있으면서 초음파 영상 구현, 현실성, 시술자의 만족감이 모두 높았기 때문에 심낭천자술 훈련을 위한 모형으로 추천된다.

ORCID

Hyun Chan Yang (<https://orcid.org/0000-0001-8000-3604>)

Sanghun Lee (<https://orcid.org/0000-0003-4303-7375>)

Tae Kwon Kim (<https://orcid.org/0000-0003-0756-1620>)

Jaechon Jeon (<https://orcid.org/0000-0003-3746-3650>)

Sang-Chan Jin (<https://orcid.org/0000-0002-4347-0171>)

Woo Ik Choi (<https://orcid.org/0000-0001-5407-7626>)

Jonghoon Yoo (<https://orcid.org/0000-0002-0969-5115>)

CONFLICT OF INTEREST

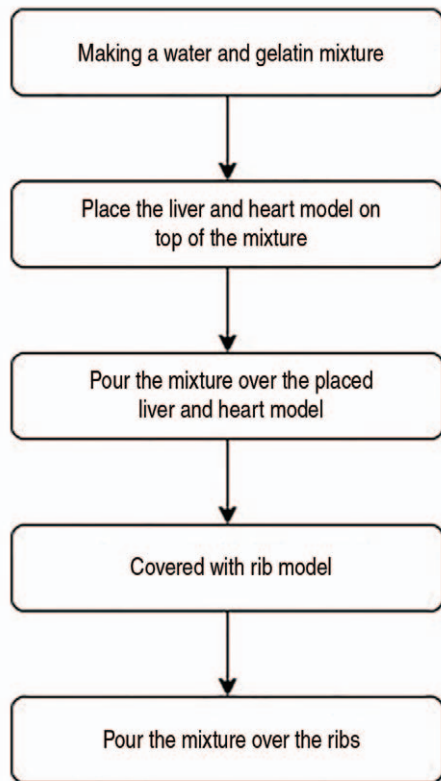
No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

1. Reddy PS, Curtiss EI, Uretsky BF. Spectrum of hemodynamic changes in cardiac tamponade. *Am J Cardiol* 1990;66:1487-91.
2. Loukas M, Walters A, Boon JM, Welch TP, Meiring JH, Abrahams PH. Pericardiocentesis: a clinical anatomy review. *Clin Anat* 2012;25:872-81.
3. Tsang TS, Freeman WK, Sinak LJ, Seward JB. Echocardiographically guided pericardiocentesis: evolution and state-of-the-art technique. *Mayo Clin Proc* 1998;73:647-52.
4. Goldberg BB, Pollack HM. Ultrasonically guided pericardiocentesis. *Am J Cardiol* 1973;31:490-3.
5. Callahan JA, Seward JB. Pericardiocentesis guided by two-dimensional echocardiography. *Echocardiography* 1997;14:497-504.
6. Adler Y, Charron P, Imazio M, et al. 2015 ESC Guidelines for the diagnosis and management of pericardial diseases: The Task Force for the Diagnosis and Management of

- Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by: The European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 2015; 36:2921-64.
7. Wong B, Murphy J, Chang CJ, Hassenein K, Dunn M. The risk of pericardiocentesis. *Am J Cardiol* 1979;44: 1110-4.
 8. Krikorian JG, Hancock EW. Pericardiocentesis. *Am J Med* 1978;65:808-14.
 9. Medical Manpower Policy Division, Ministry of Health and Welfare. Annual training curriculum for medical specialists [Internet]. Sejong, Korea: Ministry of Health and Welfare; 2021 [cited 2023 May 30]. Available from: http://www.mohw.go.kr/react/jb/sjb0406vw.jsp?PAR_MENU_ID=03&MENU_ID=030406&page=1&CONT_SEQ=363833.
 10. Sullivan A, Khait L, Favot M. A novel low-cost ultrasound-guided pericardiocentesis simulation model: demonstration of feasibility. *J Ultrasound Med* 2018;37: 493-500.
 11. Campo Dell'orto M, Hempel D, Starzetz A, et al. Assessment of a low-cost ultrasound pericardiocentesis model. *Emerg Med Int* 2013;2013:376415.
 12. Zerth H, Harwood R, Tommaso L, Girzadas DV Jr. An inexpensive, easily constructed, reusable task trainer for simulating ultrasound-guided pericardiocentesis. *J Emerg Med* 2012;43:1066-9.
 13. Hage MC, Massafferro AB, Lopes ER, Beraldo CM, Daniel J. Value of artisanal simulators to train veterinary students in performing invasive ultrasound-guided procedures. *Adv Physiol Educ* 2016;40:98-103.
 14. Kumar R, Sinha A, Lin MJ, et al. Complications of pericardiocentesis: a clinical synopsis. *Int J Crit Illn Inj Sci* 2015;5:206-12.
 15. Blaivas M. Incidence of pericardial effusion in patients presenting to the emergency department with unexplained dyspnea. *Acad Emerg Med* 2001;8:1143-6.
 16. Cabrelli LC, Pelissari PI, Deana AM, Carneiro AA, Pavan TZ. Stable phantom materials for ultrasound and optical imaging. *Phys Med Biol* 2017;62:432-47.
 17. Doctor M, Katz A, McNamara SO, et al. A novel method for creating custom shaped ballistic gelatin trainers using plaster molds. *J Ultrasound* 2018;21:61-4.
 18. Earle M, Portu G, DeVos E. Agar ultrasound phantoms for low-cost training without refrigeration. *Afr J Emerg Med* 2016;6:18-23.
 19. Morrow DS, Cupp JA, Broder JS. Versatile, reusable, and inexpensive ultrasound phantom procedural trainers. *J Ultrasound Med* 2016;35:831-41.
 20. Vieira SL, Pavan TZ, Junior JE, Carneiro AA. Paraffin-gel tissue-mimicking material for ultrasound-guided needle biopsy phantom. *Ultrasound Med Biol* 2013;39:2477-84.
 21. Park JH, Jeong SH, Kim IJ, Chung YJ. A study on the film performance by physical properties of gelatin(glue) in Dancheong. *J Conserv Sci* 2013;29:25-33.
 22. Oxborough D. A practical approach to transthoracic echocardiography. *Br J Card Nurs* 2008;3:163-9.
 23. Stolz L, Situ-LaCasse E, Acuna J, et al. What is the ideal approach for emergent pericardiocentesis using point-of-care ultrasound guidance? *World J Emerg Med* 2021;12: 169-73.
 24. De Carlini CC, Maggolini S. Pericardiocentesis in cardiac tamponade: indications and practical aspects. *EJ Cardiol Pract* 2017;15:3-5.

Appendix 1. Flow chart of making a pericardiocentesis mode



Appendix 2. Questionnaire for evaluation of the pericardial tamponade model

1. Do you have any experience with pericardiocentesis?
 - a. Yes
 - b. No

2. Can the ultrasound model recognize the structure of the heart well?
 - a. Strongly disagree
 - b. Disagree
 - c. Neutral
 - d. Agree
 - e. Strongly agree

3. When practicing pericardiocentesis through an ultrasound model, can you recognize the needle tip well?
 - a. Strongly disagree
 - b. Disagree
 - c. Neutral
 - d. Agree
 - e. Strongly agree

4. When practicing pericardiocentesis through an ultrasound model, is the pericardial fluid well aspirated?
 - a. Strongly disagree
 - b. Disagree
 - c. Neutral
 - d. Agree
 - e. Strongly agree

5. Is the pericardial tamponade model good for practicing pericardiocentesis?
 - a. Strongly disagree
 - b. Disagree
 - c. Neutral
 - d. Agree
 - e. Strongly agree

6. Does the pericardial tamponade model realistically implement pericardial tamponade well?
 - a. Strongly disagree
 - b. Disagree
 - c. Neutral
 - d. Agree
 - e. Strongly agree

Appendix 3. Production cost and storage time of gel wax, psyllium hull model

Material	Price (Korean won)	Time required to make (hr)	Storage timea) (hr)
Gel wax model		12	4
Total price of gel wax model	133,500		
Gel wax	48,000		
Iron container for hot water	34,000		
Psyllium hull model		None	None
Total price of psyllium hull model	56,400		
Psyllium hull	7,900		
Plastic container	2,000		
Scotch tape	1,000		

a) Storage time is when stored at room temperature.

Appendix 4. Survey results of gelatin and gel wax model

	Material	Number of responses	Mean	Median	Standard deviation	U	P-value
Question 2	Gelatin	15	4.33	4	0.617	82.2	0.168
	Gel wax	15	4.00	4	0.655		
Question 3	Gelatin	15	3.93	4	0.594	68.0	0.037*
	Gel wax	15	3.47	3	0.516		
Question 4	Gelatin	15	5.00	5	0.000	97.5	0.164
	Gel wax	15	4.87	5	0.352		
Question 5	Gelatin	15	4.07	4	0.594	81.0	0.110
	Gel wax	15	3.73	4	0.458		
Question 6	Gelatin	15	4.20	4	0.676	66.5	0.037*
	Gel wax	15	3.67	4	0.617		

* P<0.05.