

Usability Evaluation of Gel Pad Materials for Superficial Structures used in Musculoskeletal Ultrasonography

Mi-Ran Han^{1,2}, Jong-Gil Kwak³, Jong-Nam Song¹, Seong-Ju Jang¹, Jae-Bok Han^{1,*}

¹Department of Radiology, Dongshin University

²Department of Radiology, PNK Internal Medicine Clinic

³Department of Radiological Technology, Gwangju Health University

Received: October 19, 2021. Revised: November 26, 2021. Accepted: November 30, 2021

ABSTRACT

In Musculoskeletal ultrasound examination, a linear transducer (12-5 MHz) with a contact surface length of 6 cm, which is commonly distributed in medical institutions, does not contact with bent fingers and wrist depressions only by using a conventional liquid ultrasound gel, which causes image loss. In order to solve this image loss, the use of commercially available Water gel pad is increasing. However, it is a disposable medical product. Repeated use is prohibited and expensive. In this study, in order to reduce the economic burden caused by the use of the commercialized Water gel Pad, we searched for water-soluble food thickener powder that can be easily purchased around our lives and manufactured Gel pads. Among them, kappa-Carrageenan Gel Pad, iota-Carrageenan Gel Pad, and Agar-Agar Gel Pad satisfied the evaluation criteria without artifacts in image evaluation using the N-365 Multipurpose Phantom. Also, the price to purchase the food thickener powder was about 38 times cheaper than the existing commercialized Water gel pad. As a result, if you use the food thickener powder such as kappa-Carrageenan, iota-Carrageenan and Agar-Agar to make solidified elastic Gel pad without a cover instead of the commercially available expensive disposable Water gel pad, the convenience and usefulness of use are improved. It is judged that the manufactured Gel pads can contribute well to the role of efficient ultrasound propagation medium.

Keyword: Kappa-Carrageenan Gel Pad, Iota-Carrageenan Gel Pad, Agar-Agar Gel Pad

I. INTRODUCTION

최근 초음파 진단장치의 발전과 고주파 탐촉자의 개발로 정상적인 해부학과 다양한 병리 상태를 평가하는데 근골격계 초음파검사가 유용한 도구로 사용되고 있다^[1]. 근골격계 초음파 검사는 고관절, 견관절 등과 같은 큰 관절에서부터 팔꿈치, 손목, 발목, 손, 발, 손가락, 발가락과 같은 작은 관절에 이르기까지 그 유용성이 입증되어 점차 검사 영역이 확대되고 있는 추세이다^[2]. 초음파 검사는 탐촉자를 검사 부위에 밀착시켜 초음파를 보낸 다음 되돌아오는 초음파를 실시간 영상화하는 방식으로

진행된다. 이때, 탐촉자와 검사부위의 밀착을 위해 수용성 초음파 젤을 사용하게 되는데^[3] 만약 환자의 피부와 탐촉자 사이에 공기가 존재한다면 초음파 빔은 반사되거나 투과가 감소되어 초음파가 피부 내로 들어갈 수 없기 때문에 영상을 만들 수가 없다. 이를 방지하기 위해 초음파 검사 시에는 항상 젤과 같은 결합 물질을 사용해야 한다. 그러나 의료기관에 보편적으로 보급되어있는 접촉면 6 cm 길이의 선형 탐촉자(Linear Probe : 12-5 MHz)는 수용성 젤의 사용에도 불구하고 작고 울퉁불퉁한 굴곡진 손가락, 손목, 발가락의 돌출 부위에 밀착이 되지 않아 영상 소실(Image Loss)의 우려를 가지고

* Corresponding Author: Jae-Bok Han

E-mail: way2call@naver.com

Tel: +82-61-330-3574

있다. 그리고 근골격계 초음파 영역에서 손가락과 발가락 같은 아주 작은 관절은 직선형 탐촉자를 대자마자 피부 바로 아래 관심부위가 있기 때문에 선형 탐촉자의 경계면인 검사불응영역(Dead Zone)에 가려질 수도 있다⁴⁾. 이러한 기존 초음파 검사의 한계를 극복하기 위해 최근 임상에서는 시판되고 있는 워터젤 패드의 사용이 늘어나고 있다. 현재 상용화된 워터젤 패드(Watergel Pad, Bluemtech, Korea)는 기존 액체 초음파 젤로는 적용이 어려운 인체의 굴곡진 부위 등에 상관없이 안전하게 신체 표면 어느 부위나 적용할 수 있는 장점이 있다⁵⁾. 그러나 1회용 소모성 의료용품으로 외래환자들에게 워터젤 패드를 사용하기에는 많은 경제적 부담이 있다.

이에 본 연구는 기존 젤 패드를 대체할 만한 근골격계 표재성 검사용 젤 패드를 제작하기 위하여 임피던스를 최소화하고 투과력을 증대시키며 감도를 높이는 수용성 식품 증점제 분말을 선정하여 본 연구에서 제작된 젤 패드의 유용성을 평가하고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 대상

초음파 젤과 같이 초음파를 잘 전달 할 수 있는 수용성 물질을 선정하기 위해 생활 주변에서 저렴한 가격으로 쉽게 접할 수 있는 식품 증점제 분말을 탐색하였다. 식품 증점제는 제품의 점도를 높여서 끈적끈적하게 만들어주거나 젤리나 푸딩 형태로 만들어 줄 수 있는 천연 수용성 제제를 말한다. 본 연구에서 젤 패드 제작에 필요한 매질 후보물질로 카파-카라기난 (Kappa-Carrageenan, ES식품원료, Phillipines), 아이오타-카라기난(Iota-Carrageenan, 세림식품원료, Phillipines), 한천(Agar-Agar, 세림식품원료, Korea), 아쿠아젤 (Aquagel, 카라기난 50% + 곤약분말 50%, Phillipines), 곤약 (glucomannan, 찬샘식품, China), 구아검(Guar Gum, ES식품원료, Phillipines) 등 6가지를 대상으로 선정하고⁶⁻⁸⁾ 물(Distilled water, JW pharmaceutical, Korea)과 혼합하여 커버 없이도 고형화되는 탄력성

있는 젤 패드를 제작하였다.

초음파 장비는 EPIQ 5G (Philips Ultrasound Inc, Washington, USA)의 선형 탐촉자(12-5 MHz)를 사용하였으며, 초음파 정도관리용 팬텀(N-365 Multipurpose Phantom, Kyoto, Japan)을 이용하여 N-365 Multipurpose Phantom Test Guide Line에 준하여 평가 하였다^{4,9,10)}.

2. 젤 패드 제작 방법

Fig. 1과 같이 각 각의 매질 재료(3 g)를 전자저울에 측정 후, 35°C 정도의 미지근한 물(97 ml)에 뭉치지 않게 서서히 교반하여 용해한 후 증탕기를 이용해 약한 불로 시간을 두고 가열한다. 겔화를 위해 염화칼륨 0.4 g을 잘 흔들어 섞어준 다음 원형의 petri dish (90 mm x 90 mm x 10 mm)에 7 mm 높이로 부어주고, 상온에서 3~4시간 서서히 냉각 시킨다.

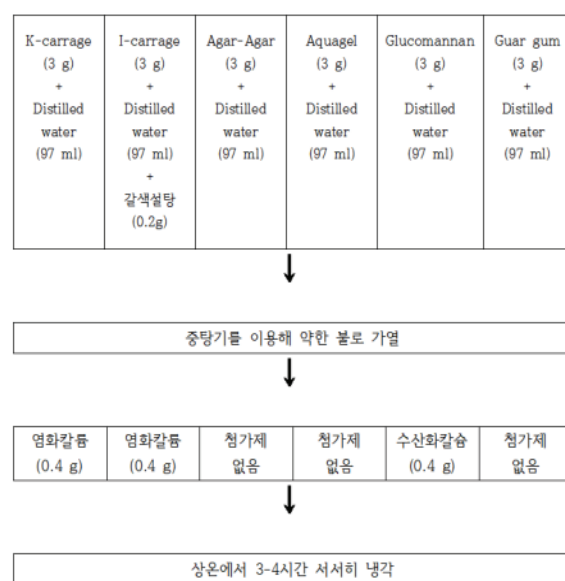


Fig. 1. Schematic Diagram of how Gel Pads Are Made.

카파-카라기난과 아이오타-카라기난의 젤 패드는 투명성과 성상이 워낙 비슷하여 실험 시 오류를 방지하기 위하여 아이오타-카라기난에 0.2 g의 갈색설탕을 소량 첨가하였다.

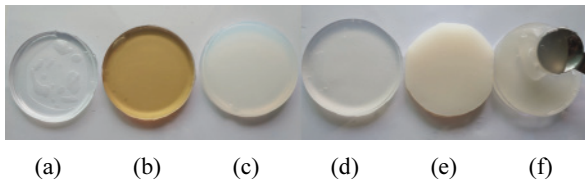


Fig. 2. Manufactured Water Gel Pads.

(a) Kappa-Carrageenan Gel pad (b) Iota-Carrageenan Gel pad (c) Agar-Agar Gel pad (d) Aquagel Gel Pad (e) Glucomannan Gel Pad, (f) Guar Gum Gel Pad

Fig. 2와 같이 (a) 카파-카라기난 젤 패드, (b) 아이오타-카라기난 젤 패드, (c) 한천 젤 패드, (d) 아쿠아겔 젤 패드, (e) 곤약 젤 패드, (f) 구아검 젤 패드를 원형 90 mm x 90 mm x 7 mm의 크기로 제작하였다. 상온에서 냉각 후 원형의 petri dish에서 젤 패드를 분리시켰을 때 (a) 카파-카라기난, (b) 아이오타-카라기난, (c) 한천, (d) 아쿠아겔, (e) 곤약으로 만든 젤 패드는 고형화된 원형의 상태를 갖추었지만, (f) 구아검은 시간이 지나도 고형화 상태를 갖추지 못하고 소스처럼 점도만 상승한 채 액상으로 흘러내려 고정형 젤 패드로서의 역할을 하지 못해서 팬텀 영상 평가를 할 수 없었다.

3. 젤 패드 성분별 팬텀 영상 평가 방법

임상경력 10년 이상의 방사선사 3명이 초음파 정도관리용 팬텀(N-365 Multipurpose Phantom) 위에 상용화된 워터젤 패드와 제작된 고정형 젤 패드를 종류별로 올려놓고 불응영역, 수직거리 측정, 수평거리 측정, 축·축방향 분해능, 민감도, 기능적 분해능, 회색조와 동적범위의 측정값을 구하였으며 영상품질 평가방법과 기준은 아래와 같다.

첫째, 검사 불응영역은 Fig. 3과 같이 팬텀과 탐촉자의 경계면에서 처음으로 확인 가능한 깊이를 측정하는 것으로 표면 스캔으로부터 10 mm 깊이에 있는 표적까지 10개가 모두 분리되어 보여야 하며, 최대 깊이 측정점 적합기준은 10 ± 1.0 mm 이하이다.

둘째, 수직거리 측정은 구조물의 정확한 크기, 깊이, 부피의 계산을 위해 필수적인 항목으로 Fig. 4와 같이 빔 축을 따라 놓인 점과 점 사이의 표적거리를 측정하는 것으로 적합기준은 10.0 ± 1.0 mm 이하이다.

셋째, 수평거리 측정은 Fig. 5와 같이 빔 축과 수직되는 점과 점 사이 표적거리를 측정하는 것으로 적합기준은 10.0 ± 1.0 mm 이하이다.

넷째, 축·축방향 분해능은 Fig. 6과 같이 측정 점들의 간격 4.0 mm, 3.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm 인 6개의 선형표적과 5개의 공간이 구별 되는지 식별이 가능한 선형표적 개수를 육안적으로 평가하였다.

다섯째, 민감도는 특정 깊이에 있는 작은 구조물의 약한 에코를 발견하고 이를 나타내는 능력으로 최대깊이를 측정하는 평가이다. 표면에서부터 깊이 30 mm에서 4 mm 무에코 원형 타겟의 한 가운데 거리를 측정하여야 하나, 본 실험에서는 Fig. 7과 같이 타겟의 끝 거리를 측정하여 32.0 ± 2 mm 이하일 경우 적합하다고 하였다.

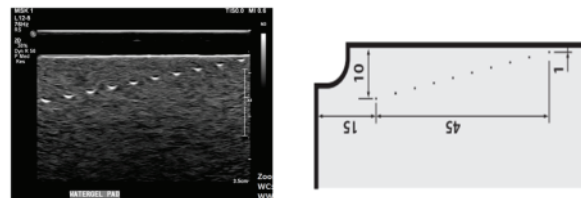


Fig. 3. Dead Zone Calibration Image in N-365 Multipurpose Phantom.

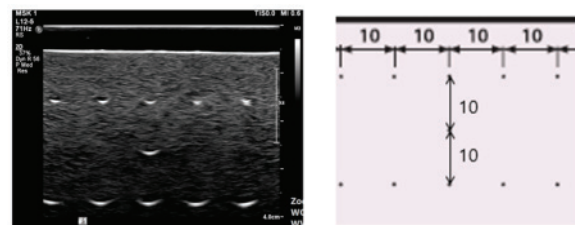


Fig. 4. Vertical Measurement Calibration Image in N-365 Multipurpose Phantom.

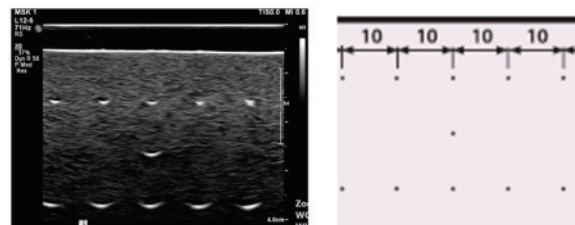
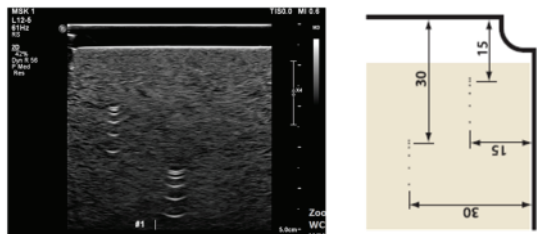
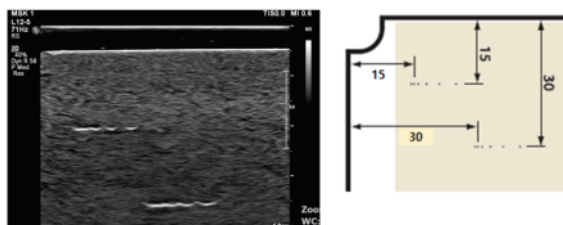


Fig. 5. Horizontal Measurement Calibration Image in N-365 Multipurpose Phantom.

여섯째, 기능적 분해능은 영상에서 낭성구조물을 얼마나 잘 나타내주는가를 평가하기 위한 것으로 Fig. 8과 같이 깊이에 따라 놓인 낭성구조물 중 가장 위쪽의 Anechoic Target 그룹인 원형의 직경 4 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm 의 모양, 크기 등이 명확하게 잘 보이는지 확인하였다. 이때 낭성구조물의 모양은 4 등분하여 모든 등분에서 잘 보이면 4 점, 모든 등분이 안보이면 0점으로 형태 평가 단계를 5 단계 척도(4, 3, 2, 1, 0 점)로 구분하여 평가하였고, 낭성구조물의 내부직경은 가장 잘 보이는 테두리를 측정하고 그 값을 비일곱째, 회색조는 원형 구조물들이 수신에코의 진폭에 따라 즉, 가장 낮은 Gray Scale Level인 -T3에서 가장 높은 에코 신호인 T3까지 Echo Signal을 조절하여 밝기로 나타낸 것으로, 6개의 다른 에코의 실린더형 구조물 중 180도 이상에서 원형이면서 뚜렷하게 구분되는 실린더형 구조물의 개수를 측정하여 적어도 4개 이상 보여야 합격이다. 이때 원형 구조물의 모양 측정은 Fig. 9와 같이 기능적 분해능의 측정과 동일하게 원형 구조물을 4등분하여 형태 평가 단계를 5단계 척도(4, 3, 2, 1, 0 점)로 구분하여 평가하였다. 원형 구조물의 내부직경은 가장 잘 보이는 테두리를 중심으로 직경을 측정하고 10.0 ± 1 mm 이하일 경우 적합하다고 하였다. 교하였다.



(a) Axial Resolution



(b) Lateral Resolution

Fig. 6. Axial-Lateral Resolution Image in N-365 Multipurpose Phantom.

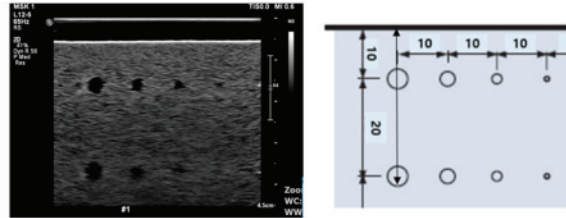


Fig. 7 Sensitivity Measurement Calibration Image in N-365 Multipurpose Phantom.

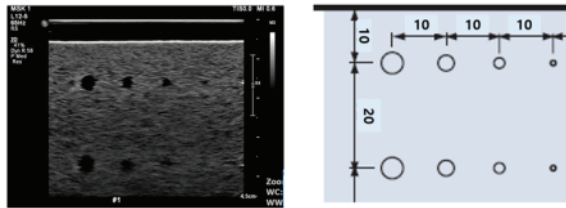


Fig. 8. Functional Resolution Calibration Image of N-365 Multipurpose Phantom.

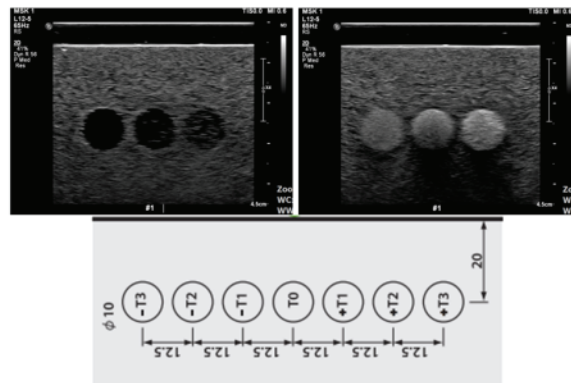


Fig. 9. Gray Scale and Displayed Dynamic Range Calibration Image of N-365 Multipurpose Phantom.

III. RESULT

1. 통계처리에 따른 결과

초음파 정도관리용 팬텀(N-365 Multipurpose Phantom)을 이용하여 획득한 측정값은 SPSS (Statistics Package for the Social Science, Version 24.0, IBM corp, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 기준과 오차범위내의 적합도를 기술통계량으로 확인하였다. 또한 종류별 젤 패드의 팬텀 평가 결과치는 크론바흐 알파(cronbach's α)를 이용하여

3명의 평가자간 신뢰도를 분석하였고, α 가 0.7 이상이면 신뢰도가 높다고 정의하였다. 본 연구에서 크론바흐 알파계수는 평가자간 평균 신뢰도가 0.826로 α 가 0.7보다 높아 신뢰도가 높게 평가되어 측정 결과값으로 사용하였다.

2. 검사 불응영역

(Dead Zone, Close Range Resolution)

Table 1과 같이 상용화된 워터 젤 패드와 제작된 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드, 아쿠아겔 젤 패드, 곤약 젤 패드 모두 10 개의 target이 잘 관찰되었고 적합기준 10.0 ± 1.0 mm 이하에 포함되었다.

그 중 상용화된 ‘워터 젤 패드’와 ‘아이오타-카라기난 젤 패드’는 다른 매질에 비해 10 mm 깊이의 Target 거리가 가장 명확하게 측정되었다. 구아검 젤 패드는 고형화 상태를 갖추지 못하고 액상으로 흘러내려서 팬텀 영상 평가를 할 수 없었다.

Table 1. Phantom Measurement results of Dead Zone of Candidate Materials

Materials	Dead Zone (Close range resolution)			Artifact
	targets	Depth range(mm)	Decision	
Commercialized Watergel pad	10	9.9±0.20	pass	N
k-Carrageenan	10	10.2±0.0	pass	N
i-Carrageenan	10	10.1±0.0	pass	N
Agar-Agar	10	10.2±0.0	pass	N
Aquagel	10	9.73±0.05	pass	Y
Glucomannan	10	10.3±0.10	pass	Y
Guar gum	N/A	N/A	non pass	N/A

젤 패드의 팬텀평가 결과 Fig. 10과 같이 (a) 상용화된 워터젤 패드, (b) 카파-카라기난 젤 패드, (c) 아이오타-카라기난 젤 패드, (d) 한천 젤 패드 내부에서는 허상(Artifact)이 관찰되지 않았다. 그러나 (e) 아쿠아겔(카라기난 50% + 곤약분말 50%, Phillippines)가루와 (f) 곤약(Glucomannan, 찬샘식품, China) 가루로 만든 젤 패드 내부에서 저음영 반향 에코가 허상으로 관찰되었다. 팬텀 영상 평가 시

구조물 파악에는 큰 영향을 미치지 않는 않지만 부적합하다고 판단된다. 구약나물의 땅속줄기를 건조, 분쇄해서 곤약가루를 만드는 과정에서 생긴 미세입자가 젤 패드 속에 나타난 것으로 사료된다.

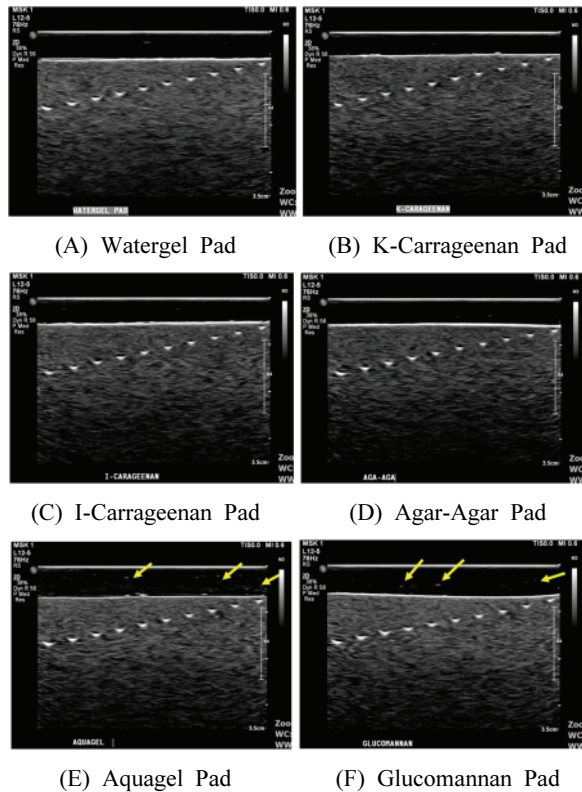


Fig. 10. Dead Zone Calibration Image of N-365 Multipurpose Phantom Images by Gel Pads Type.

3. 수직·수평거리 측정

(Vertical · Lateral Measurement)

수직거리 측정은 Table 2와 같이 빔 축에 놓인 점과 점 사이 수직거리를 측정한 결과 구아검 젤 패드를 제외한 모든 젤 패드에서 적합기준 10.0 ± 1.0 mm 이하에 포함되어 적합으로 판정하였고, 그 중 ‘곤약 젤 패드’는 다른 매질에 비해 가장 명확하게 측정되었다.

수평거리 측정은 Table 2와 같이 빔 축과 수직으로 놓인 점과 점 사이를 측정한 결과 구아검 젤 패드를 제외한 모든 젤 패드에서 적합기준 10.0 ± 1.0 mm 이하에 포함되어 적합으로 판정하였고, 그중 ‘카파-카라기난 젤 패드’는 다른 매질에 비해 가장 명확하게 측정되었다.

Table 2. Phantom Measurement Results of Vertical and Lateral Measurement of Candidate Materials

Materials	Vertical Measurement		Horizontal Measurement	
	mm	Decision	mm	Decision
Commercialized Watergel Pad	10.65±0.05	Pass	10.16±0.23	Pass
K-Carrageenan	10.61±0.11	Pass	9.96±0.23	Pass
I-Carrageenan	10.68±0.07	Pass	9.93±0.05	Pass
Agar-Agar	10.55±0.05	Pass	10.16±0.23	Pass
Aquagel	10.53±0.28	Pass	9.93±0.2	Pass
Glucomannan	10.50±0.22	Pass	10.16±0.2	Pass
Guar Gum	N/A	N/A	N/A	N/A

4. 축, 축 방향 분해능(Axial and Lateral resolution)

축방향 분해능은 Table 3과 같이 구아검 젤 패드를 제외한 모든 젤 패드에서 빔 축과 수직으로 놓인 6개의 선형표적과 그 사이 5개의 공간 간격(4.0 mm, 3.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm)이 서로 분리되어 육안으로 뚜렷이 관찰 되었다. 하지만 축방향 분해능은 상용화된 워터젤 패드와 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드는 빔 축과 수평으로 놓인 6개의 선형표적 중에서 공간간격 0.5 mm 사이의 선형표적이 겹쳐 보여서 5개의 선형표적만 관찰되었다. 더욱이 ‘아쿠아겔 젤 패드’와 ‘곤약 젤 패드’에서는 공간 간격 1.0 mm와 0.5 mm 사이의 선형표적이 겹쳐 보여 6개의 선형표적 중 총 4개의 선형표적만 관찰되어 축방향 분해능이 떨어져 부적절하였다.

5. 민감도(sensitivity)

민감도 평가는 팬텀 내 4 mm 낭성구조물의 깊이를 측정한 결과 Table 4와 같이 구아검 젤 패드를 제외한 모든 젤 패드에서 적합기준 32.0 ± 2.0 mm 이하에 포함되어 적합으로 판정하였다. 그중 ‘곤약 젤 패드’는 평균값 32.90 ± 0.20 mm로 다른 매질에 비해 가장 명확하게 측정되었다.

Table 3. Phantom Measurement results of Axial and Lateral Resolution of Candidate Materials

Materials	Axial Resolution		Lateral Resolution	
	Target	Separate	Target	Separate
Commercialized Watergel Pad	6	Completely Separated	5	2 Targets Not Separated
K-Carrageenan	6	Completely Separated	5	2 Targets Not Separated
I-Carrageenan	6	Completely Separated	5	2 Targets Not Separated
Agar-Agar	6	Completely Separated	5	2 Targets Not Separated
Aquagel	6	Completely Separated	4.3	2-3 Targets Not Separated
Glucomannan	6	Completely Separated	4.3	2-3 Targets Not Separated
Guar Gum	N/A	N/A	N/A	N/A

Table 4. Phantom Measurement Results of Sensitivity of Candidate Materials

Materials	Sensitivity	
	mm	Decision
Commercialized Watergel Pad	33.56±0.25	Pass
K-Carrageenan	33.56±0.11	Pass
I-Carrageenan	33.60±0.10	Pass
Agar-Agar	33.73±0.40	Pass
Aquagel	33.20±0.17	Pass
Glucomannan	32.90±0.20	Pass
Guar Gum	N/A	N/A

6. 기능적 분해능(Functional resolution)

6.1. 낭성구조물의 모양

낭성구조물의 모양 측정 결과 Table 5와 같이 상용화된 워터젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 아쿠아겔 젤 패드는 4 mm 크기만이 완전한 원형의 낭성구조물의 형태를 이루고 있었다. 그 외 패드별 크기에 따른 낭성구조물은 완벽한 원형구조를 이루지 못하거나, 곤약 젤 패드 1 mm 낭성구조물의 경우 전혀 구분할 수 없었다. 젤 패드 별 원형구조물의 형태학적 측정 면에서는 ‘아이오타-카라기난 젤 패드’가 평균 값 2.87 ± 1.54 mm으로 크기별 낭성구조물의 형태를 가장 잘 유지하는 것으로 평가

되었다.

6.2. 낭성구조물의 크기

Table 5와 같이 낭성구조물 4 mm 크기에서는 상용화된 워터젤 패드가 실제 크기로 측정되었고, 3 mm 크기에서는 상용화된 워터젤 패드, 카파-카라기난 젤 패드, 곤약 젤 패드가 실제 크기로 측정되었으며, 그 외 1 mm 크기에서는 모든 젤 패드에서 비교적 실제 크기보다 작게 측정되었다.

낭성구조물의 크기에 대한 오차범위를 고려할 때 모든 패드에서 측정된 크기는 기준안에 포함되어 적합하다고 판단하였다.

7. 회색조와 동적범위(Gray Scale and Displayed Dynamic Range)

Table 6의 결과를 보면 구아검 젤 패드를 제외한 모든 젤 패드에서 6개의 다른 에코의 실린더형 구조물 중 180도 이상에서 원형이면서 뚜렷하게 구분되는 실린더형 구조물의 개수가 4개 이상 보여 모두 적합으로 판정하였다. 그중 완전한 모양인 4점으로 평가된 것은 총 20개로 정확성은 55.5%에 해당되었으며, Gray Scale Level-T3와 T3 Level은 모든

젤 패드에서 완전한 모양으로 평가받았다. 그리고 Target Diameter 10mm의 실린더형 구조물의 크기에 대한 오차범위를 고려할 때 모든 패드에서 측정된 크기는 적합기준 10 ± 1 mm 이하에 포함되어 적합하다고 판단하였다.

Table 5. Phantom Measurement Results of Functional Resolution of Candidate Materials

Materials		Functional Resolution				
		4 mm	3 mm	2 mm	1 mm	Mean ±Sd
Commercialized Watergel Pad	Shape(point)	4.0	3.0	2.0	1.3	2.57±1.17
	Size(mm)	4.0	3.0	1.9	0.9	N/A
K-Carrageenan	Shape(point)	3.3	3.6	2.3	1.3	2.62±1.04
	Size(mm)	4.1	3.0	1.9	0.7	N/A
I-Carrageenan	Shape(point)	4.0	3.6	3.3	0.6	2.87±1.54
	Size(mm)	3.8	2.8	1.8	0.6	N/A
Agar-Agar	Shape(point)	3.3	3.0	2.0	1.6	2.47±0.80
	Size(mm)	3.8	2.9	1.8	0.6	N/A
Aquagel	Shape(point)	4.0	2.6	3.0	1.0	2.65±1.24
	Size(mm)	3.8	3.1	1.6	0.9	N/A
Glucmannan	Shape(point)	3.3	2.6	2.6	0.0	2.12±1.45
	Size(mm)	4.1	3.0	1.6	0.7	N/A
Guar Gum	Shape(point)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Size(mm)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Table 6. Phantom Measurement Results of Gray Scale of Candidate Materials

Materials		Gray Scale						Mean ± Sd
		-T3	-T2	-T1	T1	T2	T3	
Commercialized Watergel Pad	Shape (point)	4.0	4.0	3.0	4.0	3.6	4.0	3.85 ± 0.33
	Size (mm)	10.4	10.3	10.2	10.1	10.1	10.3	N/A
K-Carrageenan	Shape (point)	4.0	4.0	2.6	4.0	3.6	4.0	3.81 ± 0.44
	Size (mm)	10.4	10.3	10.0	10.3	9.9	10.3	N/A
I-Carrageenan	Shape (point)	4.0	4.0	2.6	4.0	3.6	4.0	3.48 ± 0.55
	Size (mm)	10.4	10.4	10.4	10.5	9.9	10.2	N/A
Agar-Agar	Shape (point)	4.0	4.0	3.0	3.6	3.3	4.0	3.77 ± 0.37
	Size (mm)	10.4	10.3	10.4	10.3	9.8	10.3	N/A
Aquagel	Shape (point)	4.0	3.6	2.3	3.3	3.3	4.0	3.51 ± 0.58
	Size (mm)	10.3	10.4	10.4	10.5	10.1	10.4	N/A
Glucmannan	Shape (point)	4.0	3.3	2.3	4.0	3.3	4.0	3.65 ± 0.57
	Size (mm)	10.4	10.3	10.0	10.3	9.7	10.2	N/A
Guar Gum	Shape (point)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Size (mm)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

IV. DISCUSSION

근골격계 초음파검사 시 손가락과 발가락 같은 작은 관절은 초음파 이미징 방식을 사용하여 평가하기에 작고 복잡한 구조물이지만, 최근 고주파 탐촉자의 기술 개발로 정상적인 해부학과 다양한 병리 상태를 평가하는 데 유용한 도구로 사용되고 있다^[11]. 그러나 의료기관에 보편적으로 보급되어있는 접촉면 6 cm 길이의 선형 탐촉자(12-5 MHz)는 기존의 수용성 액체 초음파 젤 사용만으로는 손가락과 발가락 같이 작고 울퉁불퉁한 인체 굴곡진 부위에서 밀착이 되지 않아 영상 소실(Image Loss)이 발생할 수 있고, 선형 탐촉자를 대자마자 피부 바로 아래 관심부위가 있기 때문에 선형 탐촉자의 경계면인 검사 불응영역(Dead Zone)에 가려질 수도 있다^[4].

이러한 검사 불응영역이나 허상(Artifact)를 피하기 위해 백호천^[12]은 Water-bath Immersion 방법을 이용한 고해상도 초음파로 손가락의 사구종양 진단에 초음파가 매우 유용함을 제시하였다. 물은 초음파 전달매질 역할로 적절하다. 하지만 다량의 물을 이용하여 초음파검사를 시행하다 보면, 검사자나 환자의 부주의로 물의 얼지름이 발생하여 초음파 장비의 고장 원인도 우려된다. 그래서 본 연구에서는 부드러운 고체 형태로 모양이 흐트러지지 않는 수분을 많이 함유한 젤(Gel) 형태의 패드를 직접 제작하여 유용성을 평가하였다.

김상현 외^[13]는 현재 임상에서 사용되고 있는 수용성 액체형 젤에 대한 불편함과 접촉의 불쾌감을 줄일 수 있는 노력으로 초음파 젤과 칸테릴라 왁스의 혼합(10:1)으로 고형 형태인 밤(Balm)의 전달매질을 만들었고 설문 조사 결과 초음파 밤이 환자 만족도 및 편리성에서 높게 나타났다. 초음파 전달매질로서 고형 형태의 새로운 재형 개발은 수용성 액체형 젤에 비해 환자에게 상당한 호감과 만족도 증진에 도움을 줄 수 있다고 보고하였다. 광종길 외^[14]는 경동맥 초음파검사 시 혈관 벽에 강한 반향허상(Reverbration Artifact)을 줄이는 방법으로 생활 주변에서 손쉽게 구입한 우묵(한천 젤리)과 직접 제작한 카파타입 카라기난 젤 패드 사용으로 피부와 가까운 얇은 표면의 구조물들이 허상 없이 잘

관찰되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 시판되는 완성된 우묵(한천 젤리)의 형태가 아닌 필요시 수시로 만들어 사용할 수 있는 분말 형태의 한천(Agar-Agar)가루를 구입하여 한천 젤 패드를 제작하였기에 가격을 더 낮출 수 있다고 보고하였다.

서은희 외^[15]는 ABUS 장비(Automated Breast Ultrasound Equipment)의 오목한 탐촉자로 인해 표재성 액와 림프절 상태를 확인하지 못하는 검사의 한계를 지적하고, 그러한 단점을 해결하기 위하여 다양한 젤 패드를 제작하였고, 그중 커버가 없는 카라기난 젤 패드만이 다중반사 및 형성꼬리현상에 의한 허상 없이 가장 우수한 영상 품질을 제공한 것으로 보고하였다.

시중에 상용화된 고가의 1회용 워터젤 패드(Watergel Pad, Bluemtech, Korea)는 기존 액체형 초음파 젤로는 적용이 어려운 인체의 굴곡진 부위 등에 적용할 수 있어 편리성, 활용성 등 많은 장점이 인정되나 1박스(6개 포함)에 66,000원으로 고가의 단위로 판매가 되고 있고 1회용 소모성 의료용품으로 재 반복 사용이 금지된다는 단점이 있어서 외래환자들에게 상용화된 워터젤 패드를 사용하기에는 많은 경제적 부담이 있다.

이에 본 연구에서는 이에 대체할 만한 젤 패드를 제작하기 위해 전파매질을 탐색하고 경제적 부담을 줄이기 위해 생활 주변에서 손쉽게 구입할 수 있는 초음파 투과력이 높은 수용성 식품 증점제 분말을 탐색하여 카파-카라기난(kappa-Carrageenan), 아이오타-카라기난(Iota-Carrageenan), 한천(Agar-Agar), 아쿠아겔(Aquagel), 곤약(Glucomannan), 구아검(Guar gum) 가루를 선정하고 젤 패드를 제작하였다. 그 결과 제작된 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드는 커버 없이도 고형화된 원형의 상태를 잘 갖추었다. 또한 초음파 정도 관리용 팬텀(N-365 Multipurpose Phantom) 영상 평가 결과에서 영상 허상(Artifact) 없이 불응영역, 수직거리측정, 수평거리측정, 축·축방향 분해능, 민감도, 기능적 분해능, 회색조와 동적범위 평가 모두 적합 기준안을 만족하였다. 그러나 나머지 아쿠아겔(Aquagel: 카라기난 50% + 곤약분말 50%) 분말과 곤약(Glucomannan) 분말로 만든 젤 패드 내부에서

는 저음영 반향 에코가 허상(Artifact)으로 관찰되었고, 측방향 분해능 평가에서 6개의 선형표적 중 4개의 선형표적만이 분리되어 관찰되어 부적합하다고 판단하였다. 또한 구아검(Guar gum) 분말로 만든 젤 패드는 시간이 지나도 고형화 상태를 갖추지 못하고 액상으로 흘러내려서 고정형 젤 패드로서의 역할을 하지 못해 부적절하였다. 곽종길 외^[13]의 연구와 서은희 외^[14]의 연구에서와 비슷하게 본 실험 결과에서도 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드에서 기존 상용화된 워터젤 패드(Watergel Pad)와 비교하여 허상(Artifact) 없이 팬텀 영상 평가 결과 적합 기준안을 만족하였다.

본 병원에 입고되는 1회용 워터젤 패드(Watergel Pad, Bluemtech, Korea)의 1개당 가격은 11,000원이고, 카파 카라기난(Kappa-Carrageenan, ES식품원료, Phillippines) 분말은 100g당 7,700원, 아이오타카라기난(Iota-carrageenan, 세림식품원료, Phillippines) 분말은 100g당 7,700원, 한천(aga-aga, 세림식품원료, Korea)분말은 100g당 8800원, 첨가제 염화 칼륨(Potassium chloride, 세림식품원료, Korea) 분말은 30g당 4,400원에 구입하였다. 카파-카라기난 젤 패드 1개의 제작을 위해 실험을 통해 들어간 카파-카라기난 분말량은 3g이므로 가격은 231원 정도이고 겔화를 위한 첨가한 염화칼륨 0.4g의 가격은 58원이다. 합해서 289원으로 기존의 1회용 워터젤 패드 가격과 비교했을 때 약 38배의 차이를 보였다.

본 연구는 인체의 굴곡진 부위 등에 적용할 수 있는 상용화된 고가의 1회용 워터젤 패드를 대신하고 직접 손쉽게 제작할 수 있는 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드를 제안함으로써 사용 편리성, 활용성, 경제성 면에서 많은 장점이 인정되는 바이다. 팬텀영상평가 결과에서도 모두 적합기준 및 허용범위 이하에 포함되어 적합으로 판정되었으므로 임상에서 실제 사용하기에 무리가 없을 것으로 사료된다.

본 연구에서 제한점은 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드가 상용화된 워터젤 패드(Watergel Pad)를 대신하는 젤 패드로 자리 잡기 위해서는 탐촉자를 이용해 일정한

힘으로 압착 하였을 때 젤 패드의 내구성을 측정할 수 있는 압착 강도 시험을 진행하여 젤 패드의 내구성(Durability) 또는 단단함(Hardness) 정도에 대한 평가가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

근골격계 초음파검사 시 기존 액체형 초음파 젤 사용만으로는 선형 탐촉자가 인체의 굴곡진 부위에 밀착이 되지 않아 영상 소실이 발생하는 검사의 한계가 지적되었고, 이러한 단점을 해결하기 위해 젤 패드의 사용이 증가하고 있다. 본 연구에서 상용화된 워터젤 패드(Watergel Pad) 사용으로 인한 경제적 부담을 줄이기 위해 저 비용의 수용성 식품 증점제 분말을 탐색하여 고형화 된 원형의 상태를 잘 갖춘 탄력성 있는 젤 패드를 제작하였다. 초음파 정도관리용 팬텀 (N-365 Multi purpose Phantom) 영상평가 결과에서 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드는 허상(Artifact) 없이 적합 기준안을 모두 만족하였고 가격은 약 38배 저렴하였다.

이러한 결과로 상용화된 고가의 1회용 워터젤 패드 대신으로 식품 증점제 분말인 카파-카라기난(Kappa-Carrageenan), 아이오타-카라기난(Iota-Carrageenan), 한천(Agar-Agar) 가루를 이용하여 커버 없이 부드러운 고체 형태로 수분을 많이 함유한 젤 패드를 만들어 사용한다면 편리성, 활용성, 응용성 등이 우수한 초음파 전달매질의 대체물질로 가능성을 제안한다.

Reference

- [1] G. H. Kim, "Musculoskeletal Ultrasound - Extension of Physical Examination", Journal of Korean Orthopaedic Sports Medicine, Vol. 5, No. 2, PP. 89-93, 2006.
- [2] S. Bianchi, C. Martinoli, *Ultrasound of the musculoskeletal system*, Springer, New York, pp. 495-546, 835-888, 2007.
- [3] H. S. Kim, G. R. Dong, S. H. Choi, K. J. Seong, "Evaluation in Production and Usability according to Change of Ultrasound Gel Composition", Journal of Advanced Engineering and Technology, Vol. 6, No.

3, pp. 209-212, 2013.

3, pp. 231-240, 2018.

- [4] The Kyotokagaku Head Office and Factories, "Manual of Ultrasound Quality Assurance Multipurpose Phantom N-365", Fushimi-ku, Kyoto, JAPAN, 2018.
- [5] <http://www.bluemtech.com/>
- [6] <http://www.esfood.kr/>
- [7] <http://www.thinkfood.co.kr/>
- [8] Joanne T, "Carrageenan", The Cornucopia Institute, Cornucopia, USA, 2016.
- [9] The Kyotokagaku Head Office and Factories, "Catalog of Multipurpose Phantom N-365", Fushimi-ku, Kyoto, JAPAN, 2018.
- [10] Y. M. Kim, J. G. Shim, S. H. Kim, "The Effect of Acoustic Velocity of Ultrasonographic Equipment Using an N-365 Multipurpose Phantom", *Journal of Korean Society of Radiology*, Vol. 11, No. 4, pp.221-229, 2017.
- [11] S. A. Lee, B. H. Kim, S. J. Kim, J. N. Kim, S. Y. Park, K. H. Choi, "Current status of ultrasonography of the finger", *Journal of Ultrasonography*, Vol. 35, No. 2, pp. 110-133, 2016.
<http://dx.doi.org/10.14366/usg.15051>
- [12] Bai Haotian, "Up to how small of a glomus tumor of the finger can the high-resolution ultrasonography with a water-bath immersion technique demonstrate", Hallym University Graduate School Master's Thesis, 2017.
- [13] S. H. Kim, S. Y. Ju, S. G. Kim, H. S. Kim, S. C. Ma, "Development and Usability Evaluation of Solid Type Ultrasound Transmission Medium", *Journal of Radiation Industry*, Vol. 11, No. 4, 2017.
<http://dx.doi.org/10.23042/radin.2017.11.4.203>
- [14] J. G. Gwak, G. R. Dong, C. G. Gong, "A study on the propagation medium of the gel pad that can remove the echo defect during carotid ultrasound", *Journal of Radiation Industry*, Vol. 15, No. 1, pp. 23-30, 2021.
<http://dx.doi.org/10.23042/radin.2021.15.1.23>
- [15] E. H. Seo, Y. H. Seong, "Feasibility for Ultrasound Pad Material for the Evaluation Axillary Region of Automated Breast Ultrasound Equipment", *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 41, No.

근골격계 초음파검사에 사용되는 표재성 검사용 젤 패드 물질의 유용성 평가

한미란^{1,2}, 광종길³, 송종남¹, 장성주¹, 한재복^{1*}

¹동신대학교 방사선학과

²김평남내과

³광주보건대학교 방사선과

요 약

손가락과 발가락 같은 작은 관절은 초음파 이미징 방식을 사용하여 평가하기에 작고 복잡한 구조물이지만, 최근 초음파 진단장치의 발전과 고주파 탐촉자의 개발로 정상적인 해부학과 다양한 병리 상태를 평가하는 데 근골격계 초음파검사가 유용한 도구로 사용되고 있다. 그러나 의료기관에 보편적으로 보급되어있는 접촉면 6 cm 길이의 선형 탐촉자(Linear Probe : 12-5 MHz)는 기존의 수용성 액체 초음파 젤 사용만으로는 인체의 굴곡진 부위에서 밀착이 되지 않아 영상 소실이 발생하는 검사의 한계가 지적되었고, 이러한 단점을 해결하기 위해 젤 패드의 사용이 증가 되고 있다. 현재 상용화된 워터젤 패드(Watergel Pad)는 사용 편리성이 뛰어나지만, 1회용 소모성 의료용품으로 재 반복 사용이 금지되고 비싼 단점이 있다. 본 연구에서 상용화된 워터젤 패드 사용으로 인한 경제적 부담을 해결하기 위해 저 비용의 수용성 식품 증점제 분말을 탐색하여 원형의 상태를 잘 갖춘 수분을 많이 함유한 탄력성 있는 젤 패드를 제작하였다. 초음파 정도관리용 팬텀 (N-365 Multipurpose Phantom) 영상 평가 결과 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드에서 허상 없이 모두 적합 기준안을 만족하였고 식품 증점제 분말을 구입하는 가격은 기존의 상용화된 워터젤 패드에 비해 약 38배 저렴하였다. 이러한 결과로 상용화된 고가의 1회용 워터젤 패드 대신 카파-카라기난, 아이오타-카라기난, 한천 분말을 이용하여 커버 없이 고형화된 탄력성 있는 젤 패드를 만들어 사용한다면 활용성, 편리성, 응용성 등이 우수한 초음파 전달매질의 대체물질로 가능성을 제안한다.

중심단어: 카파-카라기난 젤 패드, 아이오타-카라기난 젤 패드, 한천 젤 패드

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	한미란	동신대학교 방사선학과, 김평남내과	석사과정 대학원생
	광종길	광주보건대학교 방사선과	조교수
(공동저자)	송종남	동신대학교 방사선학과	전임교수
	장성주	동신대학교 방사선학과	전임교수
(교신저자)	한재복	동신대학교 방사선학과	전임교수