

## The analysis of tissue elasticity using computer-controlled ultrasonography in the affected upper limb of patients after breast cancer surgery

Chan-Hyuk Kwon\*, Min Woo Ha\*\*

\*CEO, Seoul Shingil Rehabilitation Medicine Clinic, Seoul, Korea

\*\*Associate professor, College of Pharmacy, Jeju National University, Jeju, Korea

### [Abstract]

In this paper, we propose a quantitative research by investigating the subcutaneous tissue elasticity by using ultrasonography in lymphedema patients after breast cancer surgery. Lymphedema patients who took breast cancer operation were included. Thickness of subcutaneous tissue was assessed at two spots; 10cm below elbow (forearm) and 10cm above elbow (upper arm), not only in affected side but also in sound side. By using probe attached to real-time pressure sensor, stress-strain curves were obtained. We defined tissue elasticity as slope of that curve at range of 7.5~15% of strain to avoid toe region. By comparing the elasticity of normal side and that of affected side, lymphedema tissues were classified into 'softer' and 'harder' tissues. Overall 30 cases of lymphedema tissues and 30 cases of sound tissues were checked. The difference of the elasticity between normal and affected side ranged from  $-3.98 \text{ N/m}^2$  to  $1.40 \text{ N/m}^2$ . The lymphedema tissues were classified into 17 softer tissues and 13 harder tissues. No demographic and clinical values, including clinical stage of lymphedema, showed statistically meaningful differences between two groups. Evaluation of subcutaneous tissue elasticity with ultrasonography and real-time pressure sensor could be one of the useful tools for investigation of lymphedema tissue characteristics.

▶ **Key words:** Lymphedema, Ultrasonography, Breast cancer, Compressibility, Computer-control

### [요약]

본 연구에서는 컴퓨터로 제어되는 초음파를 이용하여 피하 조직의 탄성도를 도출할 수 있는 방법을 개발하였다. 림프 부종은 유방암 수술에서 흔한 합병증으로 유방암 생존자에 있어 삶의 질을 저하시키는 주요 원인으로 알려져 있다. 그러나 아직 부종 조직의 성상을 정량적으로 분석할 수 있는 방법은 정립되어 있지 않다. 유방암 수술 이후 한 쪽 상지에 부종으로 인한 불편감을 호소하는 환자를 대상으로 총 30례의 부종 조직과 그에 상응하는 정상 조직에서의 초음파 분석을 수행하였고, 건측과 환측 간 탄성도의 차이를 도출하였다. 그에 따라 차이가 음수인 더 딱딱한 그룹과( $n=13$ ) 양수인 더 부드러운 그룹으로( $n=17$ ) 분류하였다. 컴퓨터 제어 초음파 검사와 실시간 압력 센서를 이용한 피하 조직 탄력성 평가는 유방암 수술 후 발생한 림프 부종 환자에서 조직의 성상을 분석할 수 있는 유용한 도구가 될 것이다.

▶ **주제어:** 림프 부종, 초음파, 유방암, 압축률, 컴퓨터 제어

- 
- First Author: Chan-Hyuk Kwon, Corresponding Author: Min Woo Ha
  - \*Chan-Hyuk Kwon (hope273@hotmail.com), Seoul Shingil Rehabilitation Medicine Clinic
  - \*\*Min Woo Ha (minuha@jejunu.ac.kr), College of Pharmacy, Jeju National University
  - Received: 2024. 05. 23, Revised: 2024. 06. 04, Accepted: 2024. 06. 11.

## I. Introduction

림프부종은 림프계의 순환 장애로 발생하는 만성 진행성 질환으로 단순한 부종 뿐 아니라 단백 물질의 축적으로 인한 조직 내 교질 삼투압의 증가와 조직의 섬유화를 초래한다[1]. 이러한 림프 부종의 대부분은 이차성으로 발생하며 매우 다양한 요인이 관계되어 있으나 악성 종양 또는 악성 종양의 치료와 관련된 것이 가장 많은 것으로 보고되어 있다[1, 2]. 상지의 림프 부종 중 대부분은 유방암 치료 이후 발생하며 그 유병률은 림프 부종의 진단 기준, 측정 방법 등에 따라 2.4 ~ 49%로 매우 다양하게 보고되어 있고[3, 4] 한국에서도 유방암 치료를 받은 환자의 22%에서 상지 림프 부종이 발생하였음이 보고된 바 있다[5].

유방암은 최근 빠르게 증가하는 암으로 상대적으로 낮은 사망률과 높은 10년 생존율로 최근 유방암 생존자가 꾸준히 증가하고 있어[6] 암 발생 이후의 삶의 질에 대한 관심도 증가하고 있다. 유방암 환자의 삶의 질에 있어 림프 부종의 발생이 중요한 인자임이 선행 연구에서 보고되었음에도[7] 아직도 조기에 림프 부종을 진단하고 치료하기 위한 측정 방법이 체계적으로 결정되지 못하고 의료기관마다 다양한 방법들이 시도되고 있다[8, 9]. 가장 간단한 방법으로 환측의 둘레를 직접 측정하는 방법이 있고[10] 이를 이용한 계산식으로 부피를 추정하려는 시도도 있었다[11, 12]. 그러나 이 방법들은 줄자의 주행 방향에 따라 값이 달라질 수 있다. 림프 부종이 발생한 팔을 물이 가득 담긴 통에 담그어 넘친 물의 양을 측정하는 방법도[13] 있으나 이는 환측 근위부를 측정하는데 제한이 있다. 림프계의 순환을 직접 관찰하는 림프신티그라피는 림프 부종을 매우 정확하게 평가할 수 있으나[14] 검사 자체가 침습적이고 극심한 통증을 유발하여 임상에서 쉽게 사용하기에는 한계가 있다.

초음파를 이용한 검사의 경우 임상에서 쉽게 적용이 가능하고 단순한 두께 측정뿐 만 아니라 탐침(probe)에 압력을 가해 봄으로써 조직의 성장까지도 일정 부분 확인이 가능하다[5, 15]. 직관적으로 림프 부종이 진행하면 섬유화로 인하여 조직의 압축률이 변함을 쉽게 예상할 수 있으므로 선행 연구에서 초음파 탐침에 압력을 가하여 조직의 유순도를 측정하고자 한 시도가 있었다[5]. 그러나 이전 연구에서는 환측에서만 검사가 시행되어 환자 개개인의 조직 성상의 차이를 반영할 수 없어 건측에 비하여 환측에서 새로 나타난 물리적 특성을 기술하기에는 한계가 있었다. 이에 본 연구에서는 유방암 수술 환자에서 초음파를 이용하여 탐침에 가해지는 압력에 따른 피하 조직의 두께를 실시

간으로 건측과 환측 모두에서 측정하고 그 변화 양상을 수학적 방법으로 정량화하여 비교하였고, 조직의 물리적인 성상에 대하여 고찰하였다.

## II. Materials and Methods

### 1. Patients

본 연구는 서울대학교병원 임상 연구 윤리 위원회의 승인 하에 진행되었다. 유방암으로 수술을 받은 환자 중 한쪽 상지에서 부종에 대한 불편감을 호소하는 사람을 대상으로 하였다. 환자의 부종에 대한 치료는 통제하지 않았다. 모든 연구 대상은 실험에 대하여 충분한 설명을 들었으며 자발적으로 연구 참여를 희망하였다. 봉오직염 등 부종에 악영향을 끼칠 수 있는 급성 문제가 있는 사람과 골다공증이나 전신위약으로 골절이 우려되는 사람, 연구 참여에 동의하지 않는 사람은 제외하였다.

Table 1. Demographic and clinical variables of patients

Variables		Value*
Age(years)		59.06±8.78
Height(cm)		158.29±4.07
Weight(kg)		58.91±7.34
Duration of lymphedema(month)		33.07±26.80
Breast cancer treatment (number of patients)	Operation	15
	Axillary lymphnode dissection	15
	Radiotherapy	13
	Chemotherapy	15
Clinical staging of lymphedema		all in stage II
Circumferene of affected side	10cm distal from olecranon(cm)	23.65±1.96
	10cm proximal from olecranon(cm)	29.00±3.62
Right handed: number of patients		15
Affected side: right/left, n		7/8
Lymphedema treatment (number of patients)	self massage	15
	complex decongestive therapy	3
	stellate ganglion block	4

\* Values are shown in mean±standard deviation

최종적으로 총 15명의 유방암 수술 이후 한쪽 상지에 부종으로 인한 불편감이 발생한 사람들이 실험에 참여하였다. 피험자의 평균나이는 59.06±8.78세 이었고 평균 유

병 기간은  $33.07 \pm 26.80$  개월이었다. 참여자들은 모두 오른손을 우성수로 사용하였으며 우성수와 림프부종이 발생한 상지가 같은 쪽인 경우는 7명이었다. 유방암의 치료로 피험자 전원이 액와 림프절 절제술을 포함한 수술을 시행 받았으며 2명을 제외한 전원이 항암제와 방사선 치료를 시행 받았다.

## 2. Assessments

### 2.1 Pressure-thickness measurement

두께 측정을 위한 초음파 기기는 Accuvix V10EX-DOM-00(Medison Co., Seoul, Korea)을 사용하였고 힘의 정량적 측정은 FGP-10(Nidec-Shimpo Co., Kyoto, Japan)을 이용하여 뉴턴(N) 단위로 측정하였다. FGP-10이 부착된 초음파 탐침을 등속 제어기에 연결하여 조직에 가해지는 압력에 따른 측정 부위 피하 조직의 변화를 실시간으로 확인하였다.

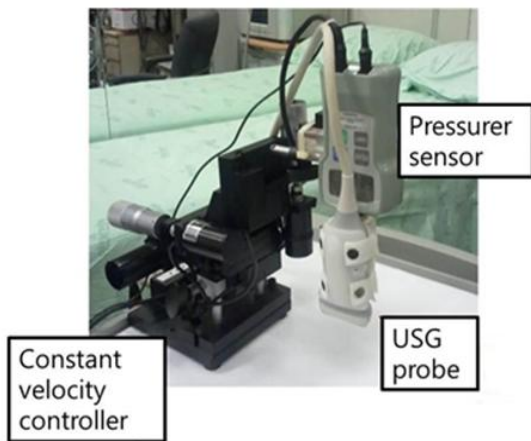


Fig. 1. The real time pressure-thickness measure device

### 2.2 Test sites of the arm

건측과 환측 상지의 압력에 따른 두께를 측정할 부위는 다음과 같다. 상완에서 측정 부위는 상완골의 내측 상과(medial epicondyle)와 외측 상과(lateral epicondyle)을 잇는 선의 중점에서 상완 이두근 고랑(bicipital groove)의 중점 방향으로 10cm 근위부였고 전완에서는 요골(radius)과 척골(ulnar)의 경상돌기(styloid process)를 잇는 선의 중점 방향으로 10cm 원위부에서 검사를 진행하였다.

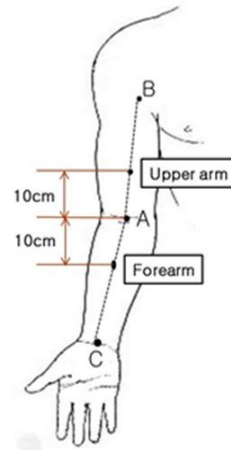


Fig. 2. Schematic diagram of test sites. Upper arm: In the line from midpoint of medial and lateral epicondyle (A) to bicipital groove (B), 10cm proximal from A, forearm: In the line from midpoint of medial and lateral epicondyle (A) to midpoint of radial and ulnar styloid process(C), 10cm distal from A.

### 2.3 Stress-strain curve

연구자는 피험자와 마주보고 앉아 실험을 진행하였다. 압력-두께 측정 도구를 이용하여 압력에 따른 조직의 두께 변화를 실시간으로 관찰한 바 등속 제어기로 조직에 가해지는 압력을 조절하였고 컴퓨터로 보여지는 초음파 이미지에서 육안으로 조직의 두께 변화가 없다고 보이거나 환자가 주관적인 불편감을 호소하면 가압을 중단하였다. 초음파로 얻어진 피하 조직 영상을 MATLAB (The Math Works, Inc., Natick, USA)를 이용하여 2차원 좌표로 변환하였고 초음파 탐침에 연결된 FGP-10로부터 실시간으로 가해지는 힘을 측정하여 특정 압력에서의 조직의 두께를 구하였다.

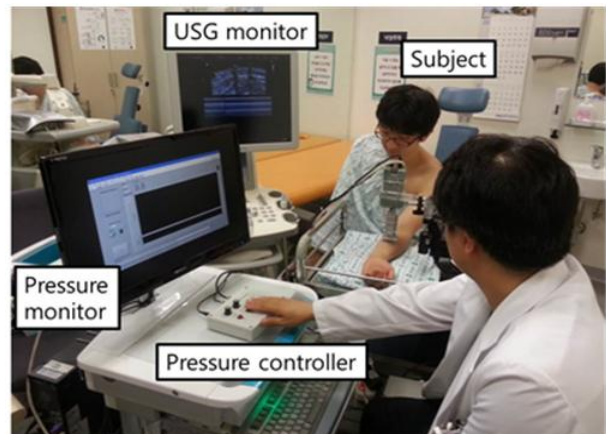


Fig. 3. Test environment

힘의 최소 측정 단위는 0.1N 이었고 초음파 탐침의 면적( $3.04 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ )으로 측정된 힘을 나누어 조직에 가해지는 응력(stress,  $\sigma$ )을 구하였다. 초음파로 측정된 조직의 초기 두께를  $t_0$  라 하고 압력에 의해 변화한 조직의 두께를  $\Delta t$  라고 할 때 압력에 대한 변형률(strain,  $\epsilon$ )을  $[\epsilon = \Delta t/t_0]$  수식으로서 도출하였다. 이를 이용하여 응력-변형률 곡선을 구하였고 Sarvazyan 등의 연구 결과를 참조하여 [16] 변형률이 7.5~15% 인 구간의 기울기로 조직의 탄성도(elasticity, E)를 정의하고  $[E = \Delta\sigma_{7.5-15} / \Delta\epsilon_{7.5-15}]$  수식으로 도출하였다( $\sigma_{7.5-15}$  : 변형률 7.5~15% 구간의 응력의 변화량,  $\Delta\epsilon_{7.5-15}$  : 변형률 7.5~15% 구간의 변형률 차이).

**2.4 Tissue analysis**

건측과 환측에서 각각 줄자를 이용하여 해당 측정 부위의 둘레 길이를 확인 하였다. 이 후 초음파를 이용하여 피하 조직의 초기 두께( $t_0$ )와 가압 종료 시 두께( $t_r$ )와 최대 두께 변화량( $\Delta t_{max}$ )을 측정하였고 상기 측정 자료들을 포함하여 건측과 환측의 차이를 분석하였다. 더불어 건측에 비하여 환측에서 새로 발생된 조직의 특성을 알기 위하여 건측의 탄성도에 대한 환측의 탄성도의 차이를 구하였다. 탄성도의 차이가 음수인 조직, 즉 환측의 탄성도가 더 큰 조직을 더 딱딱한(harder) 조직, 탄성도의 차이가 양수인 조직, 즉 환측의 탄성도가 더 작은 조직을 더 부드러운(soften) 조직으로 구분하여 그 사이에 유의한 차이를 보이는 인자가 있는지를 확인하였다.

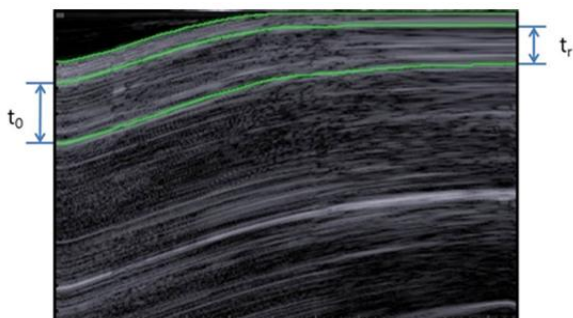


Fig. 4. Measurement of  $\Delta t_{max}$  by B-mode ultrasonography.  $\Delta t_{max} = t_0 - t_r$ ,  $t_0$ : initial thickness of the subcutaneous tissue,  $t_r$ : residual thickness of the subcutaneous tissue,  $\Delta t_{max}$ : maximal change of the thickness.

**2.5 Statistical analysis**

분석에는 SPSS version 18.0(Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 피험자들의 인구학적 요소와 환측 조직의 물리적 특성의 평균과 표준 편차를 표시하였다. 각각의 환자에

서 환측과 건측의 여러 측정값들에 있어 유의미한 차이가 있는지 Wilcoxon 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)으로 확인하였다. 더 딱딱한 조직과 더 부드러운 조직 사이에 인구학적인 요소와 임상적 요소, 초음파 측정값의 평균값들을 제시하고 양 그룹 사이에 차이가 있는지 만-휘트니 검정(Mann-Whitney U)을 통하여 확인하였다.

**III. Results**

응력-변형률 곡선을 도출한 결과는 다음과 같다. 건측에서 초기 피하조직의 두께는  $3.56 \pm 1.05 \text{ cm}$  이었고 환측은  $4.65 \pm 1.58 \text{ cm}$  으로 양측의 차이를 확인할 수 있었다 ( $z = -2.91, p = 0.004$ ). 최대 두께 변화량( $\Delta t_{max}$ )은 환측에서  $1.60 \pm 0.53 \text{ cm}$ , 건측에서  $1.36 \pm 0.47 \text{ cm}$ 로 도출되었다 ( $z = -2.314, p = 0.021$ ). 조직을 최대로 압축 후 남은 두께( $t_r$ )를 측정된 결과 환측에서는  $3.05 \pm 1.36 \text{ cm}$ 으로 건측에서의  $2.20 \pm 0.71 \text{ cm}$ 과 비교하였을 시 양측에서의 분명한 차이가 있음을 확인하였다( $z = -3.178, p = 0.001$ ). 또한 피험자들의 응력-변형률 곡선은 탄성도가 비교적 일정한 초기 단계 이후 급격하게 증가하는 양상을 보였다. 탄성도의 평균값은 건측에서  $0.75 \pm 0.47 \text{ N/m}^2$ , 환측에서  $0.82 \pm 0.88 \text{ N/m}^2$  으로 환측에서 다소 크게 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다( $z = -0.463, p = 0.644$ ).

Table 2. Comparison between sound side and affected side

	Sound side(n=30)	Affected side(n=30)	p-Value
Initial thickness(cm)	$3.56 \pm 1.05$	$4.65 \pm 1.58$	0.004
$\Delta t_{max}$ (cm)	$1.36 \pm 0.47$	$1.60 \pm 0.53$	0.021
$t_r$ (cm)*	$2.20 \pm 0.71$	$3.05 \pm 1.36$	0.001
E(N/m <sup>2</sup> )*	$0.75 \pm 0.47$	$0.82 \pm 0.88$	0.644

\*  $\Delta t_{max}$ : maximal change of the thickness,  $t_r$ : residual thickness after maximal compression, E: elasticity

림프 부종 조직의 물리학적 성상과 인구학적 요인을 분석한 결과는 다음과 같다. 더 딱딱한 조직의 수는 13례이었고 환측이 더 부드러운 조직의 수는 17례이었다. 더 딱딱한 그룹과 더 부드러운 그룹에서 유병 기간은 유의미한 차이가 없었다( $p = 0.859$ ). 체질량 지수 역시 두 그룹에서 통계적인 차이는 보이지 않았다( $p = 0.943$ ). 줄자를 이용한 둘레 측정값의 차이도 두 그룹에서 차이가 없었고

( $p=0.559$ ), 압력을 가하기 전 환측 조직의 초기 두께도 유의미한 차이를 보이지 않았다( $p=0.476$ ). 최대 압력 후 최종 두께도 유의한 차이를 보이지 않았고( $p=0.434$ ) 최대 두께 변화량도 차이가 없었다( $p=0.464$ ). 다만 환측 조직의 탄성도는 더 딱딱한 조직에서  $1.15 \pm 1.22 \text{ N/m}^2$ , 더 부드러운 조직에서는  $0.57 \pm 0.39 \text{ N/m}^2$  으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.04$ ).

Table 3. Comparison between harder group and softer group

	Harder group(n=13)	Softer group(n=17)	p-Value
Duration of the symptom (month)	40.86±36.27	26.25±13.98	0.310
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	22.60±1.65	24.00±2.90	0.178
Difference in initial circumference (cm)	1.93±2.68	1.45±1.80	0.559
Initial thickness(cm)	4.79±1.61	4.31±1.94	0.476
Final thickness(cm)	3.27±1.50	2.87±1.26	0.434
$\Delta t_{\max}$ (cm)*	1.52±0.40	1.67±0.62	0.464
E(N/m <sup>2</sup> )*	1.15±1.22	0.57±0.39	0.04

\*  $\Delta t_{\max}$ : maximal change of the thickness, E: elasticity

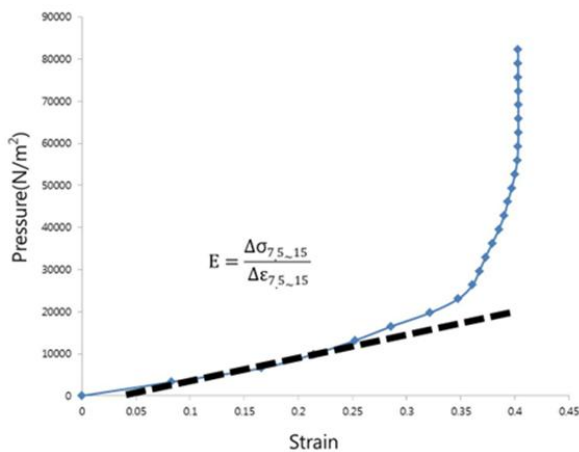


Fig. 5. Typical stress-strain curve of subcutaneous tissue. Dashed line means elasticity calculated at range of 7.5%~15% of strain. E: elasticity,  $\Delta\sigma_{7.5-15}$ : pressure change at range of 7.5%~15% of strain,  $\Delta\epsilon_{7.5-15}$ : strain range of 7.5%~15%.

## IV. Discussion

일반적으로 물체에 어떤 힘을 가하면 내부에는 응력이 발생하고 동시에 물체의 형태나 크기가 변화한다. 이 변화량과 원래의 양과의 비를 변형률이라고 하며 단위 변형률에 대한 응력으로 그 조직의 탄성 계수를 정의한다. 탄성체에 있어서는 탄성 한계 내에서 물체의 응력과 변형률이 일정하게 변화하는 것이 후크의 법칙(Hooke's law)으로 알려져 있으나 생체의 연부 조직과 같은 점탄성 조직은 그 관계가 상당히 복잡하다. 이전 연구에서 연부 조직에서 응력-변형률 곡선은 응력에 의한 초기 변형을 조직이 일부 수용하여 응력의 변화가 크지 않은 단계를 지나 탄성 변형 단계로 진행함이 알려져 있다[16, 17, 18]. Sarvazyan 등은 연부 조직을 압축하여 얻은 응력-변형률 곡선에서 변형률이 7.5~15% 인 구간에서 응력과 변형률이 후크의 법칙에 근사함을 경험적, 실험적으로 주장하였고 그 구간의 기울기로 조직의 탄성계수를 구한 바 있다[16]. 이에 본 연구에서도 탄성도를 계산하는데 있어 같은 변형률 구간을 사용하였고 해당 부분의 응력-변형률 곡선이 직선에 근사함을 확인하였다.

본 연구에서 건측과 환측의 탄성도를 비교하였을 때 통계적인 차이를 관찰할 수 없었다. 이는 같은 부종 조직이라 하더라도 조직의 성상은 매우 다양함을 의미하는 것일 수도 있지만 피험자 간에 기본적으로 나타나는 조직의 성상이 달라 유의미한 차이를 발견하지 못한 것으로 사료된다. 이에 본 연구의 저자들은 한 개인에서 건측과 환측의 탄성도 차이를 구하여 이를 분석함으로써 개인 간의 조직의 특성으로 인한 교란 변수를 통제하고자 하였다.

본 연구에서는 임상가가 직관적으로 조직의 특성을 파악할 수 있도록 탄성도의 차이가 양수인지 음수인지에 따라 조직의 특성을 결정하고 그룹 간 유의한 차이가 있는지를 비교하였으며 기존에 시도되던 다른 측정값들로는 이들 두 그룹을 구분할 수 없었던 점은 초음파를 이용한 측정법이 기존의 측정값들보다 민감하게 조직의 변화를 감지해 내었기 때문으로 생각된다.

환측이 정상보다 더 부드러운 그룹과 더 딱딱한 그룹의 존재는 같은 병기의 림프 부종 조직이라도 상대적 조직의 성상은 다양할 수 있음을 객관적으로 증명하였다. 연구에 참여한 환자들의 림프 부종의 임상적 병기가 동일하였으므로 단순한 신체 검진과 걸로 보이는 지표의 측정으로는 조직의 특성을 충분히 알 수 없고 피하 조직의 압축률과 조직의 섬유화의 관계를 밝힌 이전 연구를 고려할 때 [19] 탄성도의 차이는 섬유화 정도의 차이와 상관 관계가

있을 것으로 기대되는 바 본 연구의 실험 방법이 섬유화를 객관적으로 측정할 수 있는 한 가지 대안이 될 수 있다.

본 연구의 한계점으로는 분석에 사용된 표본의 수가 부족하여 두 그룹을 나누는 기준이 통계적으로 결정된 것이 아니므로 실제 같은 그룹에 속하는 값들을 다른 그룹으로 분류하여 그 결과 해석에 혼선이 초래된 것일 가능성을 배제할 수 없다는 점과 단면적 연구로 실험이 진행되어 각 그룹의 치료 성적을 확인하지 못 하였다는 점이 있다. 우리 저자들은 후속 연구를 통해 이를 보완하고자 하며 탄성도의 차이에 따른 치료 성과의 차이를 정량화 하는 연구를 진행 중이다.

## V. Conclusions

본 연구는 림프 부종이 발생한 환자에서 초음파를 이용하여 물리적 성상을 분석한 연구이며 잘 계획된 실험 환경을 통하여 정량적인 성상 분석이 가능하였다는 점에서 큰 의미를 갖는다. 실험을 통하여 임상적으로 같은 병기의 림프 부종 조직의 경우에도 다양한 압축률을 보일 수 있음을 확인하였다. 초음파를 이용하여 측정한 실시간 두께-압력 곡선으로 조직의 탄성도를 구하고 이를 이용하여 해당 조직을 더 딱딱한 조직과 더 부드러운 조직으로 구분할 수 있었다. 이는 초음파를 이용하여 섬유화와 같은 조직의 성상을 객관적으로 분석한 첫 번째 연구로 향후 실험 수행에 많은 영감을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research is free from any special financial support.

## REFERENCES

- [1] A. G. Warren, H. Brorson, L. J. Borud, and S. A. Slavin, "Lymphedema: a comprehensive review," *Annals of plastic surgery*, Vol. 59, No. 4, pp. 464-472, October 2007. DOI: 10.1097/01.sap.0000257149.42922.7e
- [2] J. A. Petrek, P. I. Pressman, and R. A. Smith, "Lymphedema: Current issues in research and management," *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, Vol. 50, No. 5, pp. 292-307, October 2000. DOI: 10.1002/caac.6170500505
- [3] C. S. Hinrichs, N. L. Watroba, H. Rezaishiraz, W. Giese, T. Hurd, K. A. Fassel, and S. B. Edge, "Lymphedema secondary to postmastectomy radiation: incidence and risk factors," *Annals of surgical oncology*, Vol. 11, No. 6, pp. 573-580, June 2004. DOI: 10.1245/ASO.2004.04.017
- [4] G. Querci della Rovere, I. Ahmad, P. Singh, S. Ashley, I. R. Daniels, and P. Mortimer, "An audit of the incidence of arm lymphoedema after prophylactic level I/II axillary dissection without division of the pectoralis minor muscle," *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, Vol. 85, No. 3, pp. 158-161, May 2003. DOI: 10.1308/003588403321661299
- [5] Ho Geun Kim, Keewon Kim, Han Gil Seo, Chae Young Im, Tae Uk Kim, Gun Sun Chung, Dong Young Noh, and Kwan Sik Seo, "Clinical Outcomes of Cervical Stellate Ganglion Block in Patients with Secondary Lymphedema: A Pilot Study," *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*, Vol. 33, No. 3, pp. 297-337, May 2009. UCI: G704-000430.2009.33.3.020
- [6] Kyu-Won Jung, Sohee Park, Hyun-Joo Kong, Young-Joo Won, Joo Young Lee, Hong Gwan Seo, and Jin-Soo Lee, "Cancer statistics in Korea: incidence, mortality, survival, and prevalence in 2009," *Cancer Research and Treatment*, Vol. 44, No. 1, pp. 11-24, March 2012. DOI: 10.4143/crt.2012.44.1.11
- [7] V. Velanovich, and W. Szymanski, "Quality of life of breast cancer patients with lymphedema," *The American journal of surgery*, Vol. 177, No. 3, pp. 184-188, March 1999. DOI: 10.1016/s0002-9610(99)00008-2
- [8] L. H. Gerber, "A review of measures of lymphedema," *Cancer*, Vol. 15, No. 83, pp. 2803-2804, December 1998. DOI: 10.1002/(sici)1097-0142(19981215)83:12b+<2803::aid-cncr29>3.3.co;2-n
- [9] A. Szuba, and S. G. Rockson, "Lymphedema: classification, diagnosis and therapy," *Vascular medicine*, Vol. 3, No. 2, pp. 145-156, May 1998. DOI: 10.1016/s0002-9610(99)00008-2
- [10] Y.-W. Chen, H.-J. Tsai, H.-C. Hung, and J.-Y. Tsao, "Reliability study of measurements for lymphedema in breast cancer patients," *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, Vol. 87, No. 1, pp. 33-38, January 2008. DOI: 10.1097/PHM.0b013e31815b6199
- [11] R. Taylor, U. W. Jayasinghe, L. Koelmeyer, O. Ung, and J. Boyages, "Reliability and validity of arm volume measurements for assessment of lymphedema," *Physical Therapy*, Vol. 86, No. 2, pp. 205-214, February 2006. DOI: 10.1093/ptj/86.2.205
- [12] A. P. Sander, N. M. Hajer, K. Hemenway, and A. C. Miller, "Upper-extremity volume measurements in women with lymphedema: a comparison of measurements obtained via water displacement with geometrically determined volume," *Physical Therapy*, Vol. 82, No. 12, pp. 1201-1212, December 2002. DOI: 10.1093/ptj/82.12.1201
- [13] H. Brorson, and P. Höijer, "Standardised measurements used to

order compression garments can be used to calculate arm volumes to evaluate lymphoedema treatment," *Journal of plastic surgery and hand surgery*, Vol. 46, No. 6, pp. 410-415, December 2012. DOI: 10.3109/2000656X.2012.714785

- [14] A. Szuba, W. Strauss, S. P. Sirsikar, and S. G. Rockson, "Quantitative radionuclide lymphoscintigraphy predicts outcome of manual lymphatic therapy in breast cancer-related lymphedema of the upper extremity," *Nuclear medicine communications*, Vol. 23, No. 12, pp. 1171-1175, December 2002. DOI: 10.1097/00006231-200212000-00004
- [15] T. Ashikaga, D. Burns, P. O'Brien, K. B. Schaberg, and D. Huston, "Texture Analysis of Post Breast Cancer Lymphedema Ultrasound Images Obtained Using a Portable Device-A Pilot Study," *Lymphatic research and biology*, Vol. 3, No. 3, pp. 147-155, September 2005. DOI: 10.1089/lrb.2005.3.147
- [16] V. Egorov, S. Tsyuryupa, S. Kanilo, M. Kogit, and A. Sarvazyan, "Soft tissue elastometer," *Medical engineering & physics*, Vol. 30, No. 2, pp. 206-212, March 2008. DOI: 10.1016/j.medengphy.2007.02.007
- [17] Keewon Kim, Tae Uk Kim, Ja Ho Leigh, Kyu Jin Lee, Hee Chan Kim, and Sun Gun Chung, "Biomechanical Evaluation of the Capsular Stiffness and Clinical Features in Adhesive Capsulitis of Shoulders," *Journal of Korean Academy of Rehabilitation Medicine*, Vol. 33, No. 2, pp. 205-214, January 2009. UCI : G704-000430.2009.33.2.016
- [18] Kyu Jin Lee, Hee Dae Lee, and Sun Gun Chung, "Real-time pressure monitoring of intraarticular hydraulic distension for painful stiff shoulders," *Journal of Orthopaedic Research*, Vol. 26, No. 7, pp. 965-970, July 2008. DOI : 10.1002/jor.20535
- [19] J. K. Raines, T. F. O'Donnell Jr, L. Kalisher, and R. C. Darling, "Selection of patients with lymphedema for compression therapy," *The American journal of surgery*, Vol. 133, No. 4, pp. 430-437, April 1977. DOI : 10.1016/0002-9610(77)90127-1

## Authors



Chan-Hyuk Kwon is a medical doctor who graduated from Seoul National University, School of Medicine in Korea and has a Ph.D in Clinical Pharmacology. Since 2022, he has been running a rehabilitation medicine clinic

in Seoul and studying rehabilitation and pharmacology.



Min Woo Ha received Ph.D. in Pharmaceutical Synthetic Chemistry from Seoul National University, College of Pharmacy in Korea. She is an associate professor at the College of Pharmacy, Jeju National University, Korea.

As a member of PSK (The Pharmaceutical Society of Korea), KSOS (The Korean Society of Organic Synthesis), and KSIEC (The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry), she is expanding her research scope into the fields of pharmaceuticals and engineering chemistry through the design and preparation of potential organic materials.