



MR Lymphangiography

자기공명영상 림프관조영술

Sang Hoon Lee, MD^{1*} , Joon Pio Hong, MD² 

Departments of ¹Radiology, ²Plastic Surgery, Asan Medical Center, University of Ulsan, College of Medicine, Seoul, Korea

Received December 12, 2019
Revised January 7, 2020
Accepted January 14, 2020

*Corresponding author
Sang Hoon Lee, MD
Department of Radiology,
Asan Medical Center,
University of Ulsan,
College of Medicine,
88 Olympic-ro 43-gil,
Songpa-gu, Seoul 05505, Korea.

Tel 82-2-3010-3983
Fax 82-2-3010-3983
E-mail shlee@amc.seoul.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Currently, there has been an increase in the use of surgical modalities to treat lymphedema and MR imaging to examine lymphatic vessels. Furthermore, there have been several advancements in the field of MR imaging, from the traditional heavily T2-weighted images to three-dimensional images. Three-dimensional images include spoiled gradient echo images, and numerous advanced techniques have been implemented. Among the fat suppression techniques, mDixon technique has recently been in the spotlight.

Index terms Magnetic Resonance Imaging; Lymphography; Lymphoscintigraphy

서론



림프부종은 림프관의 손상으로 인한 림프액의 간질조직 축적의 결과이다. 말초림프부종은 내과적 치료로 호전될 수 있는 질환이지만 흔히 만성부종으로 진행하며, 반복적인 감염을 일으키거나 코끼리 피부와 같은 변화, 심각한 장애 유발, 그리고 드물게 치명적인 림프관육종(stewart-treves syndrome)과 같은 후유증을 남기기도 한다(1). 말초림프부종은 주로 유방암과 산부인과계통 암의 치료와 연관되어 발생한다. 유방암의 수술 후 상지 림프부종의 발생 비율은 2~65%까지 다양한데, 주로 임파선절제나 임파선 방사선치료 후에 생기며 산부인과 암의 경우 약 11.1~50% 발생한다(2-4).

Pathogenesis

임파선제거나 방사선조사는 중심림프관을 파괴시키거나 막히게 하여 구심성배출을 억제하여 림프관 내 압력을 높이며 림프관의 병리적 변화를 가져온다(5). 이에 따른 림프부종은 고단백질용액이 간질조직에 축적되어, 염증반응을 유발하고, 지방세포 증식과 섬유조직의 침착, 그리고 감염에 취약하게 만든다(Fig. 1) (6).

림프계통은 용액, 지방산, 그리고 면역세포를 전달하는 수동적인 역할뿐만 아니라 면역반응을 조절하는 능동적 역할도 수행한다. 그리고 면역 미세환경의 변화에 영향을 받으며 면역반응부전은 림프계통의 기능장애를 유발한다(7, 8).

ORCID iDs

Sang Hoon Lee 
[https://
orcid.org/0000-0002-7089-536X](https://orcid.org/0000-0002-7089-536X)
Joon Pio Hong 
[https://
orcid.org/0000-0002-6208-9704](https://orcid.org/0000-0002-6208-9704)

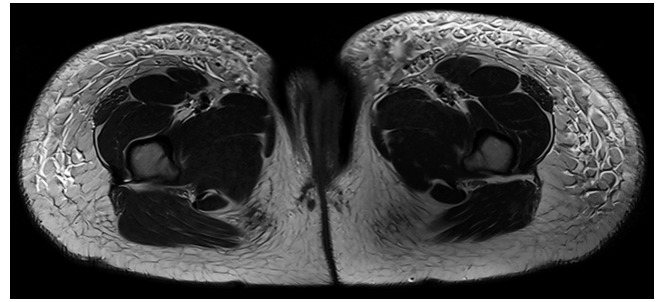


Fig. 1. Lymphedema of both thighs. A 19-year-old woman with a leg swelling for 10 years and chylothorax for 2 years. T2-weighted image shows extensive subcutaneous edema, fat hypertrophy, and suspicious fibrosis.

Surgery

2000년에 Koshima 등(9)이 0.8 mm 미만의 임파선을 정맥과 문합시키는 초세밀수술을 발표한 후부터 림프부종의 수술적 치료가 다시 각광받기 시작하여 최근에는 림프부종을 완화시키는 재건 수술이 늘어나고 있으며, 림프관-정맥 문합(lymphatico-venular anastomosis; 이하 LVA)과 림프 절이식(vascularized lymph node transfer) 수술이 주로 이루어지고 있다(10). 이차적 림프부종의 빠른 치료는 수술적 효과를 높인다고 알려져 있다(11).

Imaging

림프부종의 영상화는 림프부종이 불명확하거나 예후와 치료를 고려하는데 있어서 보다 명확한 진단이 필요할 때 시행한다. 림프부종이 불명확한 경우는 병적인 비만, 지방이상증, 내분비 기능장애, 정맥기능부족, 인지되지 않은 외상, 반복되는 감염, 종양, 정맥기형 등이 있다(1). 늘어나고 있는 림프부종 수술로 인하여 MRI에 대한 수요가 현재 확대되고 있는 실정이다.

임상적으로 이용할 수 있는 영상기술로는 bioelectric impedance spectroscopy, lymphoscintigraphy, indocyanine green lymphography (이하 ICGL), 그리고 MRI가 있다. Direct lymphangiography는 CT나 MRI가 개발되기 전에 7~80년대에 주로 이용되었으며 임파선이나 림프절전이를 보기 위해 개발되었다(12, 13). Blue dye를 발가락 사이 피부에 주사하여 림프관을 찾아서 피부를 절개한 후 30-gauge 주사침을 삽입한 후 iodinated oil을 서서히 주사하여 연속적인 X-ray를 얻었으며 24시간 후에는 임파선영상을 얻었다. 그러나 침습성으로 인한 환자의 불편함과 폐색전증, 폐부종 등과 같은 드물지만 위험한 합병증으로 인해 현대적인 영상기법으로 대체되었다.

Bioelectric impedance spectroscopy는 전기적 저항을 이용하며 사지의 세포외용액의 양을 측정한다. Lymphoscintigraphy는 림프부종을 진단하는데 가장 많이 쓰이는 진단법이며 임파선의 섭취 여부와 림프관 혹은 피부역류(dermal backflow) 등을 관찰하는데 쓰이나 ICGL이나 MRI보다 진단의 민감도와 특이도가 떨어진다고(Figs. 2, 3) (14, 15). 그리고 MRI가 림프관의 이상 여부를 보는데 lymphoscintigraphy 보다 더 높은 민감도를 보이며 임파선을 관찰하는 데는 MRI보다 lymphoscintigraphy가 더 높은 특이도를 보여 더 많은 임파선을 보여준다(16). ICG는 전초림프절생검(sentinel node biopsy)에 흔히 쓰이고 있으며(17) ICGL은 ICG를 피하조직 내에 주사하여 표면에 있는 림프관들을 형광으로 관찰하는 방법으로 lymphoscintigraphy에 비해 비용이 적게 들며,

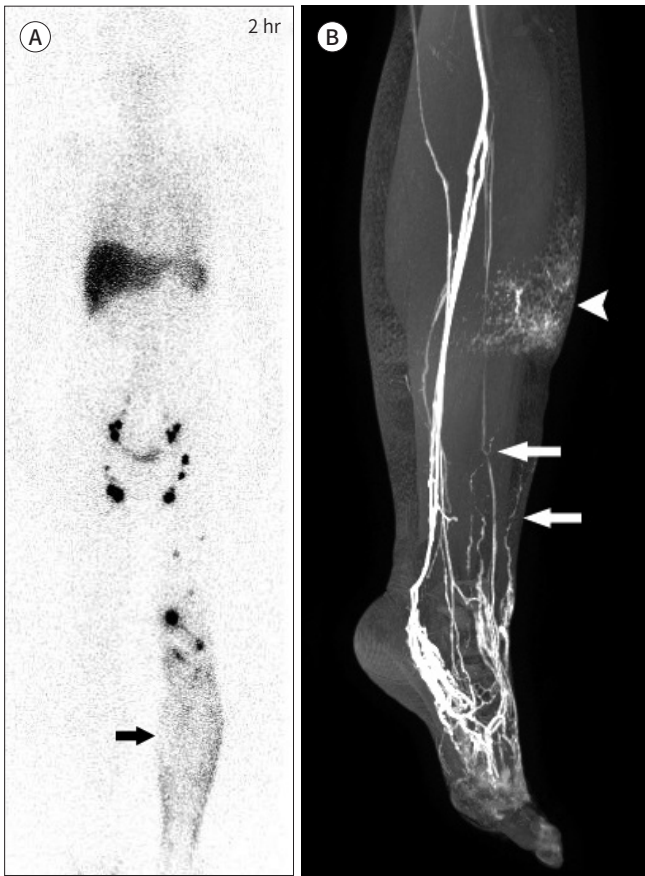


Fig. 2. A 49-year-old woman with lymphedema for 20 years having no history of surgical intervention. **A.** Lymphoscintigraphy shows dermal backflow of left lower leg (arrow). **B.** Maximum intensity projection image using T1 weighted fast field echo-MDixon technique shows three lymphatic vessels (arrows) and dermal backflow (arrowhead) at left lower leg.

덜 침습적이다(18). 그러나 MRI가 깊은 림프혈류를 관찰하는데 ICGL보다 더 적합하고, MRI는 조직의 구성 성분을 평가하는데 유용하다(16, 19, 20). ICG는 수술실에서 육안으로 직접 확인이 가능한 조영제여서 LVA 수술 중 실시간 형광영상으로 적합하여 많이 쓰이고 있다(21).

MR Lymphangiography

MRI는 높은 대조도와 해상도로 임파선과 림프절을 영상화하는데 가장 적합한 영상기기이다. Lymphoscintigraphy는 하나하나의 림프관을 보여주는데 부적합하며(16) ICGL은 투과력이 2cm 까지여서 한계가 있다(22). MR lymphangiography (이하 MRL)는 깊이와 피하조직의 상태에 상관없이 림프관을 보여주며, 림프관이 보이지 않는 환자의 경우 만성림프부종일 경우가 흔한데 이 경우 섬유화와 지방조직비대를 영상으로 보여준다(10). MRL은 1.5 Tesla (이하 T) 혹은 3.0 T에서 획득이 가능하다.

림프관은 MRL에서 구부러져 보이고, 염주모양이고, 불규칙적이며, 비연속적인 모양으로 보이며, 보통 시간이 갈수록 진하게 보여 정맥과 구분이 된다(23). 피부역류(dermal backflow)는 피부 조직으로 스며드는 gadolinium (이하 Gd) 조영제의 점진적이고 광범위한 확산을 보이는 부위로 진단할 수 있다(24).

Fig. 3. Lymphedema of right lower extremity: a 63 year-old woman.

A. Lymphoscintigraphy shows no lymphatic vessel on 1 minute after injection (left); 1 hour (middle) and 2 hour (right) delayed images show extensive dermal backflow (arrows) and a few lymph node uptakes at inguinal area.

B, C. MIP image, 10 minutes after injection (**B**) shows multiple lymphatic vessels at lower leg and distal thigh, right (arrows). A more prominent dermal back flow and lymphatic vessels (arrows) 30 minutes after the injection (**C**). The T1FFE-mDixon technique is used in these images.

D. MPR axial image shows lymphedema and dilated lymphatic vessels of right lower leg. Left leg appears to be normal. MIP images are better than axial images to differentiate between the veins and lymphatics. Dermal backflow appears as a thickening of the skin and enhancement (arrows). Our institution routinely provided 3 mm reconstructed images of whole acquired area for anatomic information.

ANT = anterior, MIP = maximum intensity projection, MPR = multiplanar reformation, T1FFE = T1 weighted fast field echo



Contrast Agent

Gd 조영제를 손과 발의 지간 피부 내 주사로 주입하며, 지간 4곳에 골고루 주사한다. 보통 4~5 mL의 조영제와 0.5~1 mL의 lidocaine 혹은 mepivacaine을 섞어서 주사한다(16). 흔히 0.5 mmol/mL의 Gd 조영제를 쓰나 농도가 높은 1 mmol/mL의 조영제를 쓰기도 하며(25-28) 두 조영제를 비교한 논문은 없다. 림프관조영술에 필요한 조영제는 4 nm보다 커야 림프관에 효과적으로 잔류할 수 있다. 4 nm보다 작은 조영제는 간질조직으로 확산되어 모세혈관을 거쳐 정맥으로 들어가서 림프관과 정맥이 동시에 영상에 보이게 되는 단점이 있다(29, 30). 실험적인 조영제가 연구되고 있는

데 Gadofosveset는 인간혈청알부민(human serum albumin)과 결합하여 임파선과 림프절 영상에서 gadolinium-diethylenetriamine pentaacetic acid (이하 Gd-DTPA) 보다 우수한 성능을 동물실험에서 보여주었다(31). Gadofosveset-human serum albumin (HSA) 복합체는 고분자 조영제로서 핵의학영상에서 이용하는 sulfur colloid나 알부민과 비견될 만하다. 또한 Gd-labeled dendrimer가 MRL를 시행하는데 있어서 고분자 조영제로서 좋은 결과를 동물영상에서 보여주었다(32).

Ferumoxytol과 Gd-DTPA 두 조영제를 이용하여 정맥혈관의 조영증강을 억제하고 임파선만 보이게 하는 영상기법이 최근에 선보였다(33). Ferumoxytol은 철결핍성 빈혈의 치료제로 개발된 약으로, 심각한 과민반응으로 15분 이상의 주입 시간을 요하는 약이기 때문에 영상의 목적으로 사용에는 아직 허가되지 않은 제한이 있다(34).

MR Technique

가장 큰 위상배열코일(phased-array coil)을 사용하여 영상을 획득한다. 본원에서는 하지는 4부위로 나누어 발에서 골반까지 영상을 획득하고, 상지는 3부위로 나누어 손에서 액와부위까지 영상을 획득하지만 기계와 코일의 능력에 따라서 하지는 서혜부까지 3부위로 나누어 찍는 경우가 더 흔하다(23, 24). 최신 기기는 하지 전체를 덮는 코일이 개발되어 수월하게 검사할 수 있지만 한 개의 코일만을 이용할 때는 나누어서 찍어야 한다(24).

MRL은 고해상도 등방성(isotropic) 영상획득이 중요한데, 영상후처리로 multiplanar reformation과 maximum intensity projection (이하 MIP)을 하여 영상평가를 하는데 특히 MIP 영상은 림프관 평가에 필수적이다(Figs. 2, 3). MRL에서는 3D 영상으로 주로 isovoxel 영상으로 획득하는데 간혹 관상면으로(coronal plane) 2 mm slice로 획득하는 경우도 있다. Fig. 3D의 경우 축상면 영상을 3 mm slice로 재구성한 것으로, 해부학적 정보를 제공하기 위해 축상면 혹은 관상면으로 재구성해 기본 영상으로 보여준다. Isovoxel은 여러 평면으로 재구성해서 보여주는데 장점이 있다.

Lohrmann 등(24)에 의하면 하지는 조영제 주입 후 45분, 상지는 55분 후에 가장 강하게 조영증강이 되었다고 보고하고 있다. 또한 정맥은 시간이 갈수록 약해지는 신호강도를 보이는데 반해 림프관은 시간이 갈수록 강해지는 신호강도를 보인다고 한다. 저자의 경험으로는 최신영상기법으로는 30분 지연영상에서 보이는 림프관의 정보나 1시간 지연영상에서 보이는 정보가 차이를 보이지 않아서 시간적 제한을 고려해서 30분 지연영상까지만 획득하고 있다. Liu 등(35)에 의하면 림프관의 굵기는 2 mm 미만이 31%, 2~5 mm가 50%, 5~8 mm는 19%이었고, 관찰되는 림프관의 숫자는 1~2개가 40%, 3~20개 36%, 20개 이상이 24%였다.

전통적인 MRL 영상은 heavily T2-weighted turbo spin echo image (이하 T2WI) 영상과 fat-suppressed T1-weighted 3D spoiled gradient-echo (이하 SPGR, GE) 혹은 fast low angle shot (이하 FLASH, SIEMENS), T1 weighted fast field echo (이하 T1FFE, Philips) 이다(36). Heavily T2WI는 예전부터 사용되던 방법으로서 3D T2WI 영상으로 활용되기도 하는데(35), 용액이 고여 있는 림프관을 보여주며, Gd 제제의 피하주사는 사용이 제한되어 있어(37) 조영제를 주사하지 않고서도 볼 수 있다는 장점이 있으나 정상적인 림프관은 보이지 않고 확장되어 있을 경우에만 보여

사용에 제한이 있다(38).

T1-weighted 3D image는 조영증강을 이용한 MRL 영상의 특징상 림프관을 잘 보여준다. 그러나 상지나 하지 전체를 획득하는데 30분 가까이 걸리는 단점이 있어 많이 이용되지는 않는다(Fig. 4) (27). Fig. 4C, D에서 보듯이 intermediate-weighted 3D 영상은 3D T1WI 영상보다 림프관을 보여 주는데 한계가 있다.

SPGR 혹은 FLASH는 전통적으로 많이 쓰이는 방법으로 여러 논문들에서 활용되어 왔다(Fig. 5) (28, 36). Volumetric interpolated breath-hold examination (이하 VIBE) Controlled Aliasing In Parallel Imaging Results In Higher Acceleration (이하 CAIPIRINHA) 기법은 주로 복부나 흉부의 MRI와 중앙림프관을 평가하는데 이용되는 기법으로서(39), VIBE는 SPGR과 같은 기법이고 CAIPIRINHA는 3D 영상에서 aliasing artifact를 줄여주는 기법으로 기존의 parallel 기법보다 향상된 signal-to-noise과 인공물의 감소를 보여준다(40). VIBE는 FLASH의 변형된 형태로서 FLASH와 비교하여 볼 때 말초정맥의 영상품질이 VIBE에서 더 뛰어났다는 보고가 있다(41).

Fig. 4. A 51-year-old man with a lymphedema that had developed two years ago, and had suffered from an episode of heart failure.

A. 3D T1WI coronal image shows dilatation of lymphatic vessel (arrows).

B. MIP image shows multiple lymphatic vessels of lower leg and thigh, extension to inguinal area (arrows).

C. 3D intermediate-weighted FSE shows lymphatic vessel (arrows), but is faint compared with 3D T1WI.

D. MIP image using 3D intermediate-weighted FSE shows multiple lymphatic vessels of lower leg and thigh (arrows), no visible proximal thigh and inguinal lymphatics.

FSE = fast spin echo, MIP = maximum intensity projection, T1WI = T1 weighted image

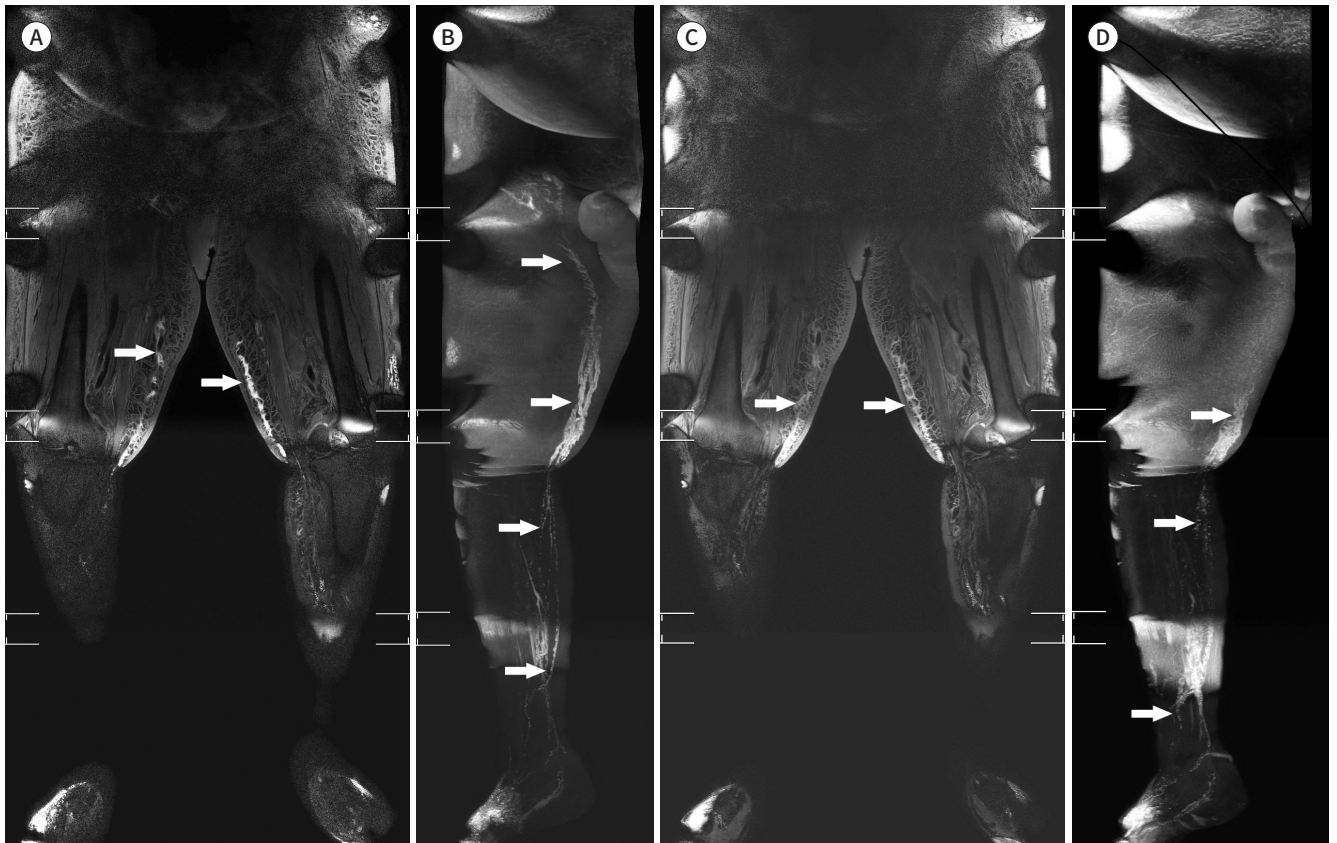


Fig. 5. A 62-year-old woman underwent surgical intervention 20 years ago due to an endometrial cancer, and had developed lymphedema 18 years ago.

A-G. FLASH technique was applied. Each image was acquired at intervals of 8 minutes. **(A)** to **(G)** shows lymphatic vessels at right lower leg (arrows). Lymphatics are best delineated at 32 minutes after injection **(D)** and after that show plateau of visualization of lymphatics. FLASH = fast low angle shot

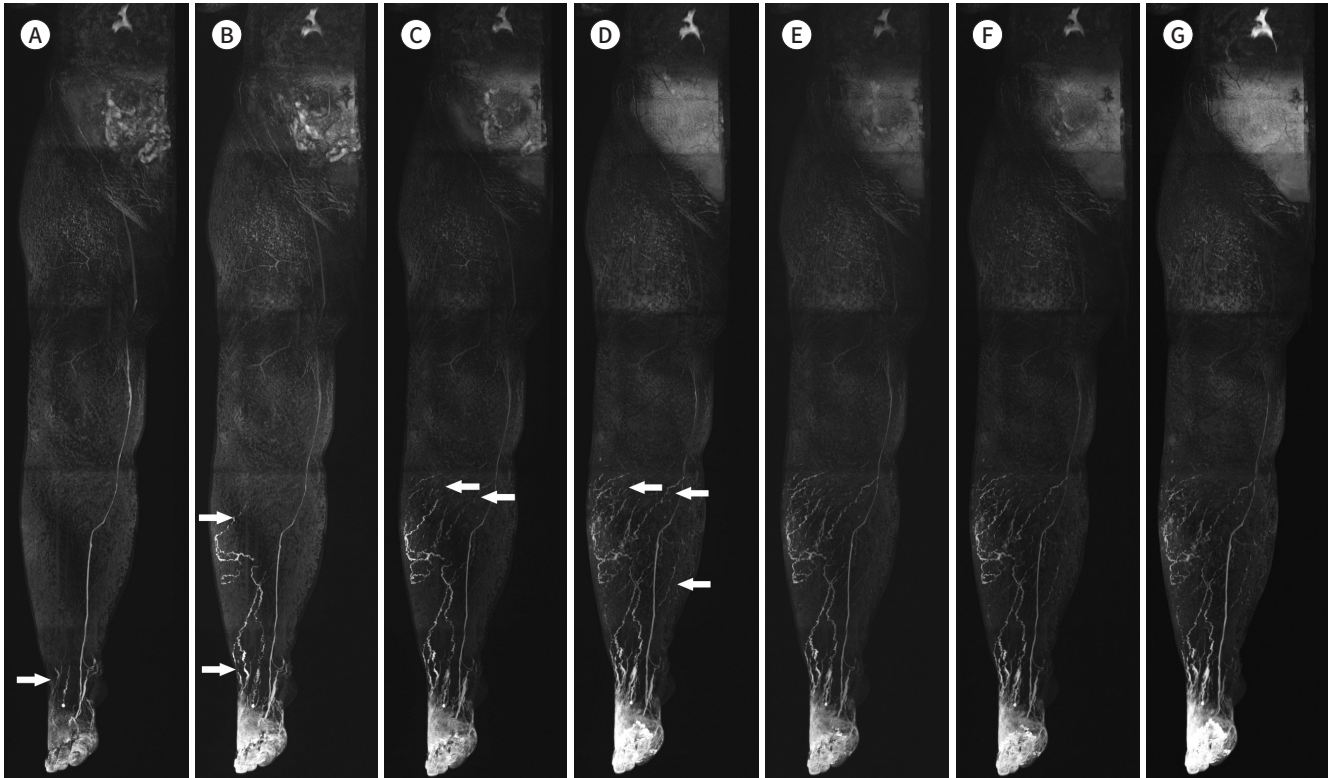


Fig. 6. A 60-year-old woman was surgically treated 3 years ago due to a breast cancer, and subsequently developed a lymphedema in the left arm. We used the VIBE-CAIPIRINHA technique.

A. The lymphatic vessels are delineated faintly at left forearm and around the elbow (arrows) 10 minutes after injection.

B. The lymphatic vessels are delineated more extensively (arrows) 1 hour after injection.

CAIPIRINHA = Controlled Aliasing In Parallel Imaging Results In Higher Acceleration, VIBE = volumetric interpolated breath-hold examination

Table 1. Imaging Techniques of MR Lymphangiography

	VIBE-CAIPIRINHA	FLASH (SPGR)	3D T1FFE mDixon
Repetition time (ms)	7.4	3.4	4.3
Echo time (ms)	3.8	1.3	1.4/2.5
Voxel size (mm ³)	0.8 × 0.8 × 2	0.8 × 0.8 × 2	1 × 1 × 1
Field of view (mm)	320 × 320 (upper) 300 × 300 (lower)	320 × 320 (upper) 300 × 300 (lower)	450 (FH) × 300 (RL) × 200 (AP)
NEX	1	1	1
Imaging time*	6 min 36 sec (upper) 8 min 23 sec (lower)	7 min 24 sec (upper) 7 min 40 sec (lower)	4 min 30 sec (upper) 8 min 20 sec (lower)

*Upper extremity has been divided into three parts including the axillary area, upper arm, and lower arm, while the lower extremity was divided into four parts including the pelvis, upper thigh, knee, and lower leg. AP = anterior to posterior, CAIPIRINHA = Controlled Aliasing In Parallel Imaging Results In Higher Acceleration, FH = feet to high, FLASH = fast low angle shot, NEX = number of excitations, RL = right to left, SPGR = spoiled gradient echo, T1FFE = T1 weighted fast field echo, VIBE = volumetric interpolated breath-hold examination

VIBE 영상에서는 짧은 repetition time으로 인해 거의 모든 조직이 어둡게 표현되나 조영제는 강한 신호강도를 보인다(Fig. 6) (24).

MR lymphangiography는 지방억제영상이 필수적인데 비균일한 지방억제는 림프관의 조영증강을 차폐하여 좋지 않은 영상을 만들므로 균일한 지방억제가 필요하다(16). 지방억제 영상기법으로 mDixon 방법은 최신 기법으로 균일한 지방억제에 유용하며 기존의 T1FFE 영상에 mDixon 기법을 적용한 영상이 최근 각광받고 있다(33, 42, 43). VIBE, CAIPIRINHA, FLASH, T1FFE-mDixon 기법의 획득 시간은 비슷하다(Table 1). 저자의 경험으로는 1 mm isovoxel로 충분한 SNR을 만들어주며 균일한 지방억제를 보여주는 T1FFE-mDixon 기법이 가장 최신 기법으로 그 활용이 확대될 것으로 기대된다(Figs. 2, 3).

림프부종과 림프관을 영상화하는데 MRL은 가장 뛰어난 영상이며 최근 그 활용이 증가하고 있다. T2WI는 부종과 해부학적 정보를 보는데 국한되며, 삼차원 영상이 MRL의 기본 영상으로 SPGR에서부터 그 변형된 기법인 VIBE, CAIPIRINHA 기법, 그리고 T1FFE-mDixon 기법으로 진화되어 왔다. MIP는 MRL의 필수적인 기법으로 림프관을 한눈에 보여준다.

Author Contributions

Conceptualization, L.S.H.; data curation, L.S.H.; formal analysis, L.S.H.; funding acquisition, L.S.H.; investigation, all authors; methodology, all authors; project administration, L.S.H.; resources, all authors; software, L.S.H.; supervision, L.S.H.; validation, L.S.H.; visualization, all authors; writing—original draft, L.S.H.; and writing—review & editing, L.S.H.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

REFERENCES

1. Executive Committee. The diagnosis and treatment of peripheral lymphedema: 2016 consensus document of the International Society of Lymphology. *Lymphology* 2016;49:170-184
2. Ki EY, Park JS, Lee KH, Hur SY. Incidence and risk factors of lower extremity lymphedema after gynecologic

surgery in ovarian cancer. *Int J Gynecol Cancer* 2016;26:1327-1332

3. Hayes SC, Janda M, Ward LC, Reul-Hirche H, Steele ML, Carter J, et al. Lymphedema following gynecological cancer: results from a prospective, longitudinal cohort study on prevalence, incidence and risk factors. *Gynecol Oncol* 2017;146:623-629
4. Shah C, Vicini FA. Breast cancer-related arm lymphedema: incidence rates, diagnostic techniques, optimal management and risk reduction strategies. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011;81:907-914
5. Mihara M, Hara H, Hayashi Y, Narushima M, Yamamoto T, Todokoro T, et al. Pathological steps of cancer-related lymphedema: histological changes in the collecting lymphatic vessels after lymphadenectomy. *PLoS One* 2012;7:e41126
6. Ciudad P, Sabbagh MD, Agko M, Huang TCT, Manrique OJ, Román C, et al. Surgical management of lower extremity lymphedema: a comprehensive review. *Indian J Plast Surg* 2019;52:81-92
7. Karpanen T, Alitalo K. Molecular biology and pathology of lymphangiogenesis. *Annu Rev Pathol* 2008;3:367-397
8. Kim H, Kataru RP, Koh GY. Regulation and implications of inflammatory lymphangiogenesis. *Trends Immunol* 2012;33:350-356
9. Koshima I, Inagawa K, Urushibara K, Moriguchi T. Supermicrosurgical lymphaticovenular anastomosis for the treatment of lymphedema in the upper extremities. *J Reconstr Microsurg* 2000;16:437-442
10. Neligan PC, Kung TA, Maki JH. MR lymphangiography in the treatment of lymphedema. *J Surg Oncol* 2017;115:18-22
11. Garza RM, Chang DW. Lymphovenous bypass for the treatment of lymphedema. *J Surg Oncol* 2018;118:743-749
12. Barrett T, Choyke PL, Kobayashi H. Imaging of the lymphatic system: new horizons. *Contrast Media Mol Imaging* 2006;1:230-245
13. Zaleska MT, Olszewski WL. Imaging lymphatics in human normal and lymphedema limbs-usefulness of various modalities for evaluation of lymph and edema fluid flow pathways and dynamics. *J Biophotonics* 2018;11:e201700132
14. Keo HH, Gretener SB, Staub D. Clinical and diagnostic aspects of lymphedema. *Vasa* 2017;46:255-261
15. Mihara M, Hara H, Araki J, Kikuchi K, Narushima M, Yamamoto T, et al. Indocyanine green (ICG) lymphography is superior to lymphoscintigraphy for diagnostic imaging of early lymphedema of the upper limbs. *PLoS One* 2012;7:e38182
16. Notohamiprodjo M, Weiss M, Baumeister RG, Sommer WH, Helck A, Crispin A, et al. MR lymphangiography at 3.0 T: correlation with lymphoscintigraphy. *Radiology* 2012;264:78-87
17. Landau MJ, Gould DJ, Patel KM. Advances in fluorescent-image guided surgery. *Ann Transl Med* 2016;4:392
18. Akita S, Mitsukawa N, Kazama T, Kuriyama M, Kubota Y, Omori N, et al. Comparison of lymphoscintigraphy and indocyanine green lymphography for the diagnosis of extremity lymphoedema. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2013;66:792-798
19. Liu NF, Yan ZX, Wu XF. Classification of lymphatic-system malformations in primary lymphoedema based on MR lymphangiography. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2012;44:345-349
20. Lee BB, Antignani PL, Baroncelli TA, Boccardo FM, Brorson H, Campisi C, et al. IUA-ISVI consensus for diagnosis guideline of chronic lymphedema of the limbs. *Int Angiol* 2015;34:311-332
21. Seki Y, Kajikawa A, Yamamoto T, Takeuchi T, Terashima T, Kurogi N. Real-time Indocyanine green videolymphography navigation for lymphaticovenular anastomosis. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2019;7:e2253
22. Ogata F, Narushima M, Mihara M, Azuma R, Morimoto Y, Koshima I. Intraoperative lymphography using indocyanine green dye for near-infrared fluorescence labeling in lymphedema. *Ann Plast Surg* 2007;59:180-184
23. Mitsumori LM, McDonald ES, Neligan PC, Maki JH. Peripheral magnetic resonance lymphangiography: techniques and applications. *Tech Vasc Interv Radiol* 2016;19:262-272
24. Lohrmann C, Foeldi E, Speck O, Langer M. High-resolution MR lymphangiography in patients with primary and secondary lymphedema. *AJR Am J Roentgenol* 2006;187:556-561
25. Fink C, Bock M, Kiessling F, Delorme S. Interstitial magnetic resonance lymphography with gadobutrol in rats: evaluation of contrast kinetics. *Invest Radiol* 2002;37:655-662
26. Dimakakos E, Koureas A, Skiadas V, Kostapanagiotou G, Katsenis K, Arkadopoulos N, et al. Interstitial magnetic resonance lymphography with gadobutrol in rabbits and an initial experience in humans. *Lymphology* 2006;39:164-170

27. Jeon JY, Lee SH, Shin MJ, Chung HW, Lee MH. Three-dimensional isotropic fast spin-echo MR lymphangiography of T1-weighted and intermediate-weighted pulse sequences in patients with lymphoedema. *Clin Radiol* 2016;71:e56-e63
28. Bae JS, Yoo RE, Choi SH, Park SO, Chang H, Suh M, et al. Evaluation of lymphedema in upper extremities by MR lymphangiography: comparison with lymphoscintigraphy. *Magn Reson Imaging* 2018;49:63-70
29. Alazraki NP, Styblo T, Grant SF, Cohen C, Larsen T, Waldrop S, et al. Sentinel node staging of early breast cancer using lymphoscintigraphy and the intraoperative gamma detecting probe. *Radiol Clin North Am* 2001;39:947-956, viii
30. Kobayashi H, Brechbiel MW. Dendrimer-based macromolecular MRI contrast agents: characteristics and application. *Mol Imaging* 2003;2:1-10
31. Nakajima T, Turkbey B, Sano K, Sato K, Bernardo M, Hoyt RF, et al. MR lymphangiography with intradermal gadofosveset and human serum albumin in mice and primates. *J Magn Reson Imaging* 2014;40:691-697
32. Kobayashi H, Kawamoto S, Bernardo M, Brechbiel MW, Knopp MV, Choyke PL. Delivery of gadolinium-labeled nanoparticles to the sentinel lymph node: comparison of the sentinel node visualization and estimations of intra-nodal gadolinium concentration by the magnetic resonance imaging. *J Control Release* 2006;111:343-351
33. Ripley B, Wilson GJ, Lalwani N, Briller N, Neligan PC, Maki JH. Initial clinical experience with dual-agent relaxation contrast for isolated lymphatic channel mapping. *Radiology* 2018;286:705-714
34. Finn JP, Nguyen KL, Hu P. Ferumoxytol vs. gadolinium agents for contrast-enhanced MRI: thoughts on evolving indications, risks, and benefits. *J Magn Reson Imaging* 2017;46:919-923
35. Liu NF, Lu Q, Jiang ZH, Wang CG, Zhou JG. Anatomic and functional evaluation of the lymphatics and lymph nodes in diagnosis of lymphatic circulation disorders with contrast magnetic resonance lymphangiography. *J Vasc Surg* 2009;49:980-987
36. Mitsumori LM, McDonald ES, Wilson GJ, Neligan PC, Minoshima S, Maki JH. MR lymphangiography: how i do it. *J Magn Reson Imaging* 2015;42:1465-1477
37. Weiss M, Burgard C, Baumeister R, Strobl F, Rominger A, Bartenstein P, et al. Magnetic resonance imaging versus lymphoscintigraphy for the assessment of focal lymphatic transport disorders of the lower limb: first experiences. *Nuklearmedizin* 2014;53:190-196
38. Cellina M, Oliva G, Menozzi A, Soresina M, Martinenghi C, Gibelli D. Non-contrast magnetic resonance lymphangiography: an emerging technique for the study of lymphedema. *Clin Imaging* 2019;53:126-133
39. Kim EY, Hwang HS, Lee HY, Cho JH, Kim HK, Lee KS, et al. Anatomic and functional evaluation of central lymphatics with noninvasive magnetic resonance lymphangiography. *Medicine (Baltimore)* 2016;95:e3109
40. Wright KL, Harrell MW, Jesberger JA, Landers L, Nakamoto DA, Thomas S, et al. Clinical evaluation of CAIP-IRINHA: comparison against a GRAPPA standard. *J Magn Reson Imaging* 2014;39:189-194
41. Boettcher J, Pfeil A, Wolf G, Hansch A. Magnetic resonance venography of the upper venous system with blood pool contrast agent: comparison of two different T1-weighted sequences. *Clin Imaging* 2013;37:245-250
42. Eggers H, Brendel B, Duijndam A, Herigault G. Dual-echo Dixon imaging with flexible choice of echo times. *Magn Reson Med* 2011;65:96-107
43. Pieper CC, Schild HH. Interstitial transpedal MR-lymphangiography of central lymphatics using a standard MR contrast agent: feasibility and initial results in patients with chylous effusions. *Rofo* 2018;190:938-945

자기공명영상 림프관조영술

이상훈^{1*} · 홍준표²

림프부종의 수술적 치료는 최근 늘어나고 있으며 그에 따른 림프관 평가를 위해 자기공명영상 획득이 증가하고 있다. 전통적인 T2 강조영상에서부터 삼차원 영상에 이르기까지 많은 발전이 이루어지고 있는 분야이다. 삼차원 영상으로는 spoiled gradient echo 영상이 있고 그 변형기법들이 시행되고 있으며 영상에 필수적인 지방억제기법은 최근 mDixon 기법이 각광 받고 있다.

울산대학교 의과대학 서울아산병원 ¹영상의학과, ²성형외과