



Breast-Specific Gamma Imaging in Breast Cancer Screening

유방감마스캔을 이용한 유방암 검진

Eun Suk Cha, MD*

Department of Radiology, Ewha Womans University, School of Medicine, Seoul, Korea

The sensitivity and specificity of breast cancer screening with mammography in dense breasts are very low, and increasing attention has been paid to breast density and screening in high-risk groups. Therefore, a supplemental screening modality is needed. Mammography and supplementary ultrasound screening are mainly based on the differences between cancerous and normal breast parenchyma on an anatomical basis, whereas breast-specific gamma imaging is a functional imaging approach examining the physiological phenomena of blood flow and mitochondrial activity, which are increased in cancer cells. The purpose of this review is to discuss the diagnostic methods, clinical results, clinical application, and considerations of breast cancer screening with breast-specific gamma imaging using ^{99m}Tc -sestamibi.

Index terms Breast Neoplasm; Screening; Breast Density; Molecular Imaging; Gamma Camera

서론

유방암은 전 세계적으로 가장 흔한 여성 암이며 한국 여성에서도 두번째로 많이 발생하는 암이다(1, 2). 유방암의 초기 진단은 치료와 예후에 영향을 주며 정기적인 유방암 검진으로 유방암 사망률이 감소되었다(3). 영상을 이용한 유방암 검사 방법 중 현재까지 가장 널리 사용되고 있는 검사법은 유방촬영술이다. 유방촬영술은 유방 실질의 치밀도에 따른 민감도 및 특이도가 다양하며 특히 치밀 유방에서의 유방촬영술의 민감도 및 특이성이 낮다(4). 또한 유방 실질의 높은 치밀도는 유방암 발생의 위험을 높인다는 연구결과가 있다(5, 6). 이에 3차원 디지털 유방 토모신테시스, 유방초음파, 유방자기공명영상 및 유방감마스캔 검사 등이 보조적으로 사용된다. 영상을 이용한 암 검진 및 진단에 있어서는 기본적으로 임상적 이득과 최소한의 위해, 보편화된 판독 기준, 조직검사의 편의성 및 적당한 검사 가격 등에 관한 사항이 먼저 논의되어야 한다. 최근 검진의 임상적 이득과 위해를 평가할 때 위해를 좀더 중하게 평가하고 각 개인의 검진에 대한 가치, 선호도 및 충분히 제공된 정보에 근거하여

Received December 7, 2018

Revised January 11, 2019

Accepted January 13, 2019

*Corresponding author

Eun Suk Cha, MD

Department of Radiology,
 Ewha Womans University,
 School of Medicine,
 1071 Anyangcheon-ro,
 Yangcheon-gu, Seoul 07985,
 Korea.

Tel 82-2-2650-5977

Fax 82-2-2650-5302

E-mail escha@ewha.ac.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.

ORCID iD

Eun Suk Cha

<https://>

orcid.org/0000-0001-9588-2074

개인이 의사 결정을 내릴 수 있도록 하는 것이 보편화 되는 경향이다(7, 8). 유방촬영술이나 초음파검사는 주로 유방암과 정상 유방 실질의 해부학에 근거한 영상검사인데 비해 방사성동위원소를 이용한 유방감마영상은 생리학적인 기반으로 혈류와 미토콘드리아 활성화에 의해 방사선 축적이 되는 것으로 암세포에서의 증가된 혈류와 미토콘드리아 활성화에 의해서 유방암을 진단한다(9-12). 방사성동위원소를 이용한 유방전용 기기의 기계적인 개발로 저용량의 방사성동위원소를 사용하게 되었고 과거 고용량 사용시와 대등한 민감도와 특이도를 보이고 또 1 cm 이하의 크기가 작은 유방암의 진단에도 높은 진단 민감도를 보여 관심이 늘어나고 있다(13-15).

본 종설에서는 유방암 검사에서 ^{99m}Tc -sestamibi를 이용한 유방감마영상의 검사방법, 임상연구 결과 및 적용, 영상 판독 기준 및 유방암 검진에서의 고려사항과 문제점에 대하여 알아보려고 한다.

역사(History)

^{99m}Tc -sestamibi 심관류스캔에 사용되는 방사성동위원소로 정상 유방조직보다 유방암에 선택적으로 축적되어 이를 이용하여 유방암검사의 목적으로 Khalkhali 등(16)이 처음으로 1994년에 연구 보고하였다. 1990년대 초창기에는 Single head 감마카메라와 sodium iodide (NaI) 검출기로 구성되었다. 이후 2000년대에 와서 고해상도 감마카메라(single or dual head) 개발, cadmium zinc telluride (CZT) 검출기가 개발되고 감마카메라의 민감도 개선, 콜리메이터 장착, 획득변수(acquisition parameter)의 최적화와 유방을 카메라에 가깝게 위치할 수 있게 기기를 최적화하게 되어 이전보다 저용량의 방사성동위원소를 사용할 수 있게 되었다(15). 유방영상에 주로 사용되는 방사성 동위원소는 ^{99m}Tc -sestamibi (^{99m}Tc -methoxyisobutylisonitrile, 140 keV, 반감기 6시간)와 ^{18}F -FDG (^{18}F -fluorodeoxyglucose, 511 keV, 반감기 2시간)이다. ^{99m}Tc -sestamibi를 이용한 검사를 유방감마영상이라고 하며 혈류와 미토콘드리아의 활성화에 의해서 방사성추적자가 섭취되며 ^{18}F -FDG를 이용한 검사는 양전자방출유방촬영술(positron emission mammography)이며 증가된 대사활성화에 의해 암세포에 방사성추적자 섭취되어 관찰된다(17-21).

유방감마영상 기기

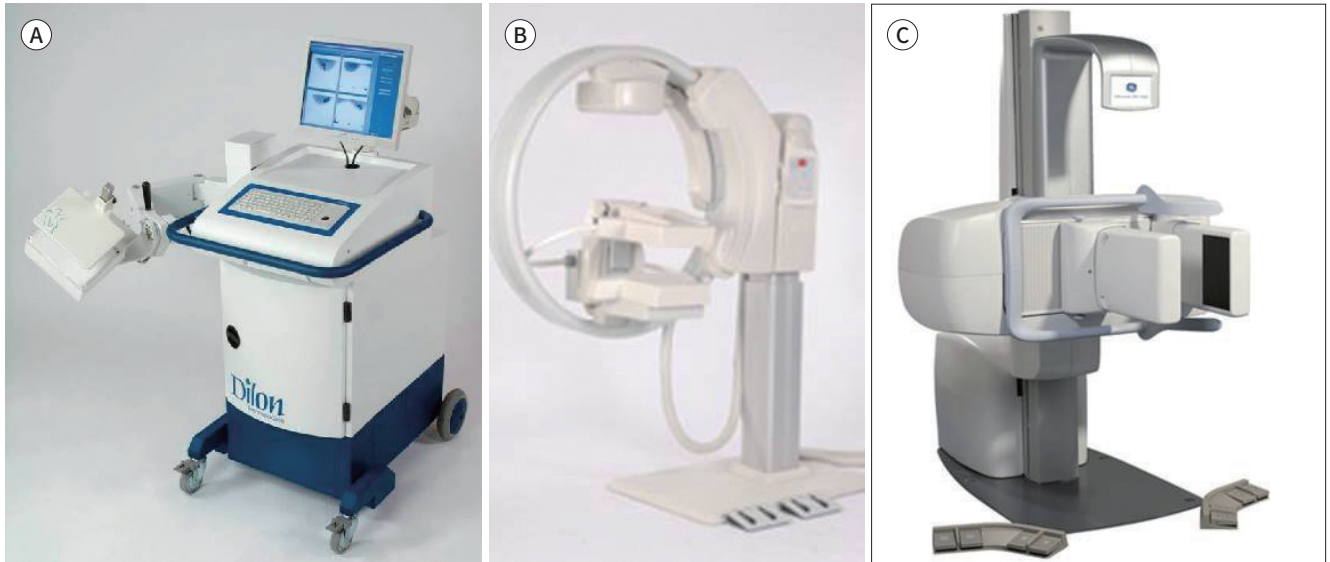
현재 사용되는 유방감마영상기기는 single-headed gamma camera with NaI scintillating-crystal detector system (Dilon Diagnostics, Newport News, VA, USA) (Fig. 1A)과 dual-head gamma camera with CZT detector system [GE Healthcare (Milwaukee, WI, USA) & Gamma Medica, Inc. (Salem, NH, USA)] (Fig. 1B, C)으로 두 종류의 검사장비가 있다. 이중 single-headed gamma camera with NaI scintillating-crystal detector system을 사용하는 검사를 유방특이감마영상(Breast Specific Gamma Imaging; 이하 BSGI)이라 하며 20 × 20 cm 영상 영역(field of view), 3.3 mm 픽셀 크기로 구성되었으며 dual-head CZT detector systems을 사용하는 검사를 분자유방영상(molecular breast imaging)이라고 하며 이는 25 × 16 cm 영상영역

Fig. 1. Three different breast-specific gamma imaging systems.

A. Dilon Diagnostics 6800 (Dilon Diagnostics).

B. Gamma Medica LumaGEM 3200S (Gamma Medica Inc.).

C. GE Healthcare Discovery NM750b (GE Healthcare).



역, 2.5 mm 픽셀 크기(GE Healthcare)와 20 × 16 cm 영상영역, 1.6 mm 픽셀 크기(Gamma Medica, Inc.)로 구성되어 있다(14, 19, 21). 유방특이감마영상과 분자유방영상은 같은 의미로 불려져 유방감마영상이라고 해도 된다.

검사방법

검사는 원칙적으로 유방실질이 생리적으로 활동이 적은 시기인 난포기(follicular phase, 2~14 일)에 시행하며(17) 검사 3시간 전부터 금식하고 몸을 따뜻하게 한 후 검사를 시행한다(21). Single-headed gamma camera with NaI scintillating-crystal detector system (Dilon Diagnostics)를 이용한 검사는 15~30 mCi (555~1100 megabecquerels; 이하 MBq)양의 동위원소를 정맥 주사 한 후 5분에서 10분 후 촬영하며 한 개의 영상을 얻는데 10분 정도 시간이 소요되어 검사는 총 40분 정도 시간이 소요된다(22). Dual-head gamma camera with CZT detector system (GE Healthcare & Gamma Medica, Inc.)을 이용한 검사에서는 최근 5~10 mCi 저용량을 사용할 수 있으며, 정맥주사 후 5분 이내로 촬영을 시작하며 한 검사 당 7분 정도로 30분 이내로 검사를 할 수 있다(20). 유방촬영술과 같은 방법으로 약간 유방을 압박한 후 상하측 및 내외사측으로 양쪽 유방을 촬영한다(17, 18).

임상 연구 결과

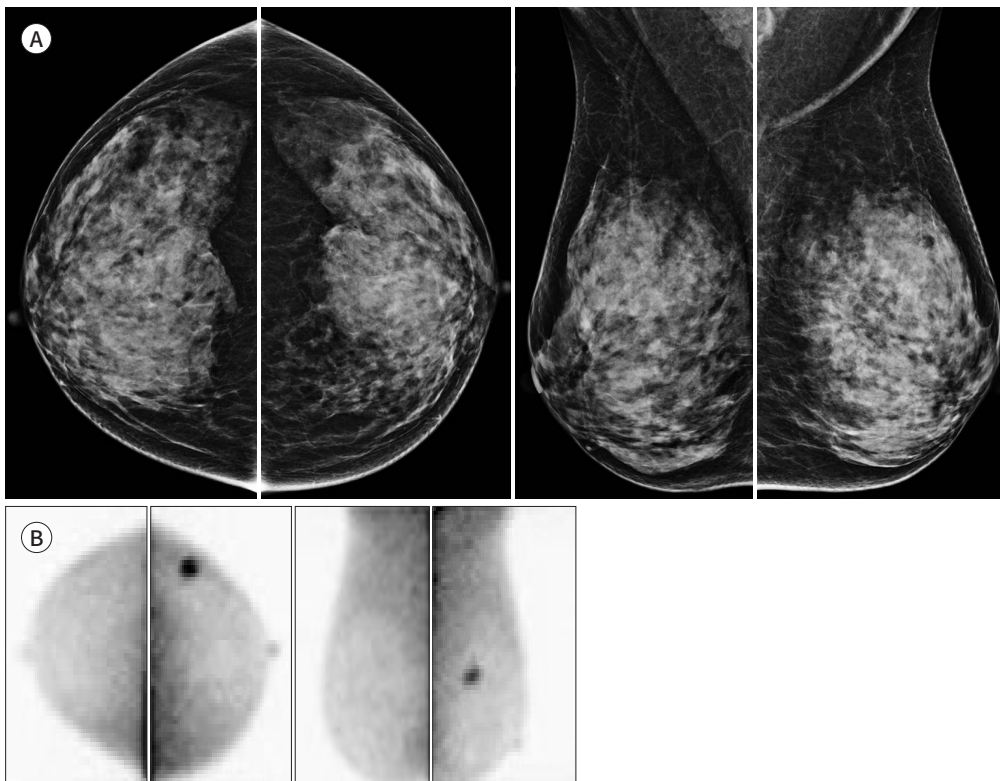
전향적 연구로 한 센터에서 진행된 두 개의 연구는 치밀유방 여성에서 유방촬영술의 보조적 검사로 유방감마영상 검사를 시행하였다. 처음 연구는 936명의 여성을 대상으로 20 mCi ^{99m}Tc -ses-

tamibi 용량으로 single head NaI detector를 이용하였다. 두번째 연구는 1585명에서 8 mCi ^{99m}Tc -sestamibi의 저용량으로 dual head CZT detector를 사용하여 검사하였다. 두개의 연구에서 유사한 소환율(5.9%와 6.6%)을 보였고, 유방감마영상소견에서 보인 병소의 조직 검사에서 양성 결과 또한 28%와 33%로 유사함을 보였다(18-20). 같은 연구에서 유방암 발견율은 유방촬영술(3.2/1000)보다 3배(9.6/1000) 높았으며 dual head camera기기의 작은 병소(1 cm 크기 이하)에 대한 민감도는 82%로 single head기기에서 68%에 비해 높았다(23, 24). 107명의 환자에서 110개의 유방 악성병변과 364개의 양성병변 총 474개의 병소에 대해 시행한 BSGI, 유방촬영술, 초음파의 민감도는 94.45, 93.64 그리고 98.18%였고 특이도는 90.93, 90.66, 87.09%였다(25). Park 등(26)은 유방감마영상과 유방촬영술 소견을 분석한 결과 유방감마영상의 민감도는 85.7%라고 보고하였다. Shermis 등(27)은 디지털 유방촬영술로 유방암 검진을 받은 결과 정상 판정을 받은 1696명의 치밀유방 여성을 대상으로 보조적 검사로 유방감마영상을 시행한 경우를 후향적으로 분석한 결과에서 1000명당 7.7명 증가된 암 발견율(incremental cancer detection rate)을 보였다. 유방감마영상의 민감도는 유방실질의 치밀도에 의해 영향을 받지 않아 치밀유방에서 유방촬영술보다 유방암 발견율이 높다(28, 29) (Fig. 2). 유방감마스캔의 침윤성 유방암에 대한 민감도는 97%, 상피내암에 대한 민감도는 93.8%로 유방자기공명영상 검사와 비슷하다(23, 30, 31). 유방암으로 진단 받은 치밀유방 여성 66명의 97개 병소에 대해 유방자기공명영상과 BSGI를 비교 분석한

Fig. 2. A 48-year-old woman with invasive ductal carcinoma in left breast.

A. Mammography of both breasts shows extremely dense breast without mass or microcalcification.

B. Breast-specific gamma imaging shows abnormal focal intense uptake in the mid-outer region of the left breast.



결과에서 보면 민감도는 유방자기공명영상은 92.3% BSGI는 88.8%이나 특이도에서는 유방자기공명영상 39.4% BSGI는 90.1%로 유방자기공명영상의 민감도가 매우 낮은 것을 보고하였다(32).

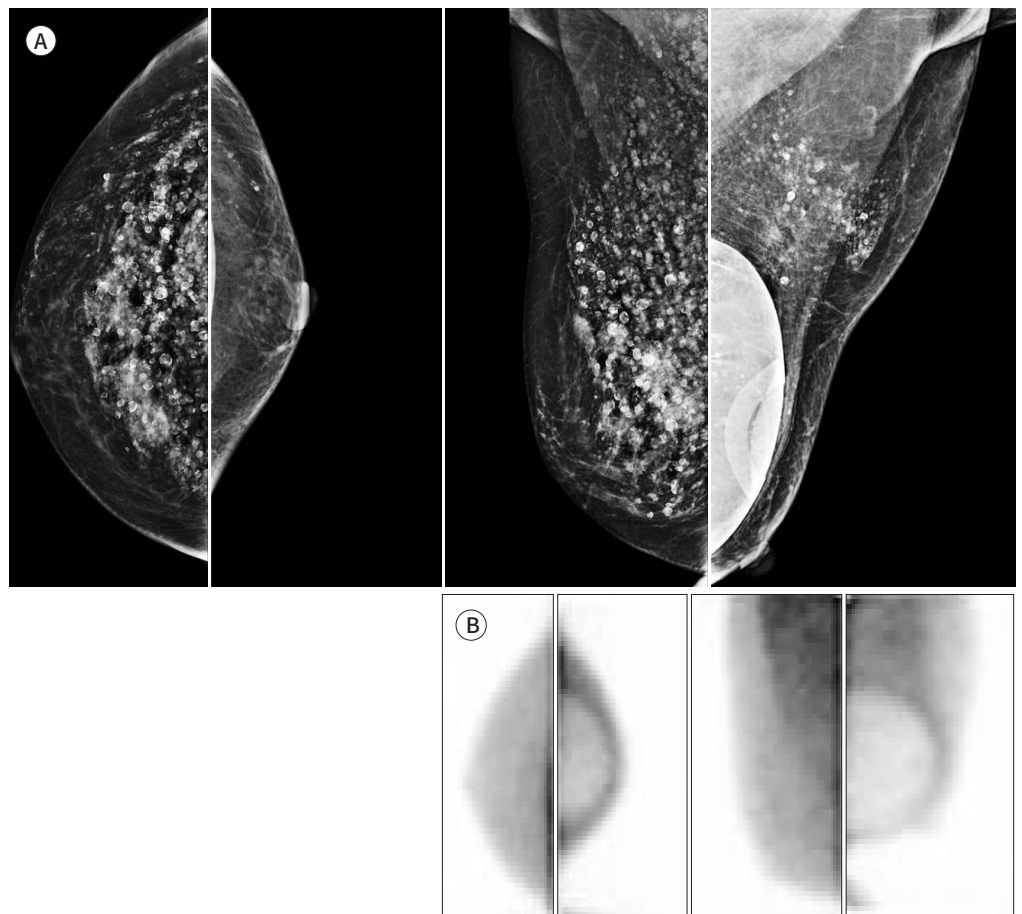
방사선조사량

유방감마영상에서 가장 우려되는 점은 정맥 주입된 방사성동위원소의 전신 방사선노출에 의한 피폭이다. 2010년에 유방감마영상의 방사선량과 암 위험도에 대한 관심이 증가되었다. 555~1100 MBq (15~30 mCi)를 주입한 경우 추정 전신 방사선량(estimated whole body dose)은 8.9~9.4 mSv로 이는 2 view 유방촬영술(0.3~0.6 mSv)의 10배 정도이다. 유방에 미치는 방사선 조사량은 2 mSv로 디지털 토모신테시스의 mean glandular dose (3.7 mSv) 보다는 적은 양이다(33). 그러나 ^{99m}Tc -sestamibi 방사선의약품을 제거하는 장기들(대장, 소장, 콩팥, 방광, 쓸개)에 미치는 방사선량은 유방조직에 주는 방사선량의 10배에서 25배이다. Hendrick(33)은 유방감마영상검사로 한번 유방검사를 하는 것에 의한 암위험도는 40세 처음으로 유방촬영술을 시작하여 매년 유방

Fig. 3. A 68-year-old woman, underwent breast conserving surgery, with silicone injection mammoplasty and augmentation mammoplasty.

A. Mammography of both breasts shows postsurgical deformity in the left breast with bilateral silicone granuloma and left mammoplasty bag.

B. Breast-specific gamma imaging shows no abnormal uptake in both breasts.



촬영술을 평생 검사하는 것과 비슷하다고 지적하였다. 40세 여성에서 전신 방사선 조사로 인한 일반적인 암의 발생률은 ^{99m}Tc -sestamibi 유방감마영상인 유방촬영술보다 5~7배 높은 반면, 방사선 유도에 의한 유방암 대부분은 일반적인 유방암보다 치료 가능성이 적으므로 방사선 유발성 사망률은 유방촬영술에 의한 것보다 20배 더 높다(32-34). 저용량 5~10 mCi 사용시 전신 조사량은 2.3 mSv로 다른 방사선을 이용한 암검진 검사들과 비슷하다(6, 24, 33-36).

적응증

BSGI의 적응증은 유방자기공명영상의 적응증과 동일하다; 유방암 수술 전 병기결정 및 암침범 범위 결정, 선행화학요법의 치료 효과 판정, 유방 수술 후 재발암 발견, 원발성 암을 모르는 환자의 유방암 검사, MR을 시행하지 못하는 고위험군의 선별검사, 유방촬영술이나 유방초음파에서 애매모호한 경우 문제해결을 위한 보조적인 검사, 실리콘을 직접 주입한 유방의 유방암 검사이다(Fig. 3) (17, 37). National Comprehensive Cancer Network (NCCN) 가이드라인 version 3.2018에서 유방감마영상은 유방촬영술에서 치밀유방 여성의 초기 유방암 발견율이 높은 증거들은 있으나 아직은 일상적인 유방검진검사로 사용할 수 없다고 하였다(38). American College of Radiology에서는 최근 유방자기공명영상인 가능하지 않은 경우에 유방감마영상을 임상적으로 사용하도록 하였다(17).

현재 우리나라 심사평가원에서 유방감마영상검사에 대해 보험으로 인정하는 경우는 다음과 같다.

1) 유방암 고위험군의 조기 진단을 위해 시행하는 경우

*고위험군

- 40세 이상이면서 가족(first-degree relatives) 중에 유방암 유전자 변이가 있는 경우

- 40세 이상이면서 본인이나 가족(first-degree relatives) 중에 유방암 관련 유전 질환이 있는 경우

2) 파라핀이나 실리콘 주입을 통한 유방성형술 환자에서 유방암을 진단하는 경우

3) 유방촬영이나 초음파결과 상 BI-RADS category 4로 확인되어 2차적으로 시행하는 경우

4) 유방 수술 후 경과 관찰을 위한 추적검사로 시행하는 경우 등이다.

판독기준

판독은 유방영상을 전공한 영상의학 전문의가 하는 것을 권하고 있다. 우선 유방촬영술과 함께 분석하도록 한다. 유방촬영술 유방초음파 및 유방 자기공명영상과 유사하게 양쪽 유방 실질의 방사선추적자의 집적이 비슷하게 대칭적인 경우에 방사성추적자의 유방실질배경섭취(background breast parenchymal uptake, BPU)는 무(none), 경함(mild), 중함(moderate), 또는 심함(marked)으로 기술한다. 2010 guidelines of the Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) of the Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging에서 다음과 같이 나누었다(39).

병적으로는 유방실질배경섭취와 비교하여 mild, moderate or intense (11)로 표현한다. BI-RADS lexicon과 가능한 유사한 용어를 이용하여 판독할 수 있게 개발하여 5개로 구분하였다.

1) 정상(Normal study): 균등한 섭취(homogeneous uptake)

2) 양성(Benign): 군데군데 또는 흩어져서(patchy or diffusely uptake) 섭취된 경우이며 유방촬영술의 실질 분포와 비교하여 정상 변형으로 간주

3) 양성 가능성(Probable benign): 경도에서 중등도 정도의 군데군데 섭취 보이는 경우

4) 의증(Suspicious): 작은 국소 영역에서 증가된 섭취를 보인 경우(small focal areas of increased uptake)

5) 강한 악성 추정(Highly suggestive malignancy): 중등도에서 심한 정도의 국소 섭취면서 윤곽이 잘 보이는 경우(moderate to intense focal uptake with well-delineated contour)

그러나 다음과 같이 스코어 1, 2, 3은 정상범주 4, 5는 병적 범주로 판독하기도 한다(40).

Score 1: homogeneous uptake or without focal uptake

Score 2: benign finding with minimal, patchy uptake

Score 3: probable benign with minimal, patchy uptake

Score 4: probably abnormal with minimal patchy and some focal uptake

Score 5: abnormal finding with marked, focal uptake

향후 미래 발전

유방감마영상이 유방 선별검사의 역할을 하기 위해서는 적절한 검사 간격을 결정하는 것이 필수이며 유방촬영술의 보조적 검사의 역할이 아니라 유방촬영술과 호환적인 검사가 될 수 있도록 많은 연구가 이루어져야 한다. 전향적 다기관 연구를 통해 선별검사로 사용할 수 있는 정당성이 제시되어야 한다. 기계적인 면에서는 검출기 디자인, 갠트리 디자인 그리고 조직검사를 할 수 있는 연구가 진행되고 있다. 방사성추적자의 우수한 안전성 보고, 저렴한 가격과 이동성이 용이한 작은 검출기 등이 개발되어야 한다(20). PET-CT처럼 감마시스템과 CT, 감마 토모신테시스, 초음파가 탑재된 single head CZT 스캐너 등이 개발 중이다(18).

결론

영상을 이용한 유방암 검진 및 진단에 있어서 임상적 이득과 최소한의 위해, 보편화된 판독 기준, 조직검사의 편의성 및 적당한 검사 가격이 갖추어진 선별검사 방법과 함께 검사 받는 개인 당사자들에게 충분한 정보 제공을 함으로 개인이 의사결정 할 수 있게 하는 추세다. 유방암 선별검사로서 유방감마영상은 높은 민감도와 특이도가 검증되었으나 조직검사의 편의성 부족과 방사선 피폭의 위험이 아직도 문제로 남아있다. 한국 여성에서의 유방암 발생 호발 연령과 유방 밀도에서 치밀 유방의 비율이 서구와는 다르다. 이에 한국 여성에서의 유방암 검진 및 진단에 있어 유방감마영상의 임상적 효과와 유효성에 대한 연구가 필요하다.

Conflicts of Interest

The author has no potential conflicts of interest to disclose.

REFERENCES

1. Jung KW, Won YJ, Kong HJ, Oh CM, Cho H, Lee DH, et al. Cancer statistics in Korea: incidence, mortality, survival, and prevalence in 2012. *Cancer Res Treat* 2015;47:127-141
2. Kim SY, Kim EK. Benefits and harms of breast screening: focus on updated Korean guideline for breast cancer screening. *J Korean Soc Radiol* 2016;74:147-155
3. Myers ER, Moorman P, Gierisch JM, Havrilesky LJ, Grimm LJ, Gbate S, et al. Benefits and harms of breast cancer screening: a systematic review. *JAMA* 2015;314:1615-1634
4. Sardanelli F, Podo F, D'Agnolo G, Verdecchia A, Santaquilani M, Musumeci R, et al. Multicenter comparative multimodality surveillance of women at genetic-familial high risk for breast cancer (HIBCRIT study): interim results. *Radiology* 2007;242:698-715
5. Boyd NF, Guo H, Martin LJ, Sun L, Stone J, Fishell E, et al. Mammographic density and the risk and detection of breast cancer. *N Engl J Med* 2007;356:227-236
6. Kerlikowske K, Cook AJ, Buist DS, Cummings SR, Vachon C, Vacek P, et al. Breast cancer risk by breast density, menopause, and postmenopausal hormone therapy use. *J Clin Oncol* 2010;28:3830-3837
7. Ubel PA. Medical facts versus value judgments--toward preference-sensitive guidelines. *N Engl J Med* 2015;372:2475-2477
8. Moon YK. Primary modality of breast ultrasonography in breast screening. *J Br Screening* 2016;13:83-87
9. Sharma S, Sharma MC, Sarkar C. Morphology of angiogenesis in human cancer: a conceptual overview, histoprosthetic perspective and significance of neoangiogenesis. *Histopathology* 2005;46:481-489
10. Delmon-Moingeon LI, Piwnica-Worms D, Van den Abbeele AD, Holman BL, Davison A, Jones AG. Uptake of the cation hexakis(2-methoxyisobutylisocyanide)-technetium-99m by human carcinoma cell lines in vitro. *Cancer Res* 1990;50:2198-2202
11. Sampalis FS, Denis R, Picard D, Fleischer D, Martin G, Nassif E, et al. International prospective evaluation of scintimammography with (99m)technetium sestamibi. *Am J Surg* 2003;185:544-549
12. Zhou M, Johnson N, Gruner S, Ecklund GW, Meunier P, Bryn S, et al. Clinical utility of breast-specific gamma imaging for evaluating disease extent in the newly diagnosed breast cancer patient. *Am J Surg* 2009;197:159-163
13. Berg WA. Nuclear breast imaging: clinical results and future directions. *J Nucl Med* 2016;57 Suppl 1:46S-52S
14. Hsu DF, Freese DL, Levin CS. Breast-dedicated radionuclide imaging systems. *J Nucl Med* 2016;57 Suppl 1:40S-45S
15. Huppe AI, Mehta AK, Brem RF. Molecular breast imaging: a comprehensive review. *Semin Ultrasound CT MR* 2018;39:60-69
16. Khalkhali I, Mena I, Jouanne E, Diggles L, Venegas R, Block J, et al. Prone scintimammography in patients with suspicion of carcinoma of the breast. *J Am Coll Surg* 1994;178:491-497
17. Shermis RB, Redfern RE, Burns J, Kudrolli H. Molecular breast imaging in breast cancer screening and problem solving. *Radiographics* 2017;37:1309-1327
18. Narayanan D, Berg WA. Dedicated breast gamma camera imaging and breast PET: current status and future directions. *PET Clin* 2018;13:363-381
19. Khalkhali I, Iranliha S, Diggles LE, Cutrone JA, Mishkin FS. Scintimammography: the new role of technetium-99m Sestamibi imaging for the diagnosis of breast carcinoma. *Q J Nucl Med* 1997;41:231-238
20. Avril N, Rosé CA, Schelling M, Dose J, Kuhn W, Bense S, et al. Breast imaging with positron emission tomography and fluorine-18 fluorodeoxyglucose: use and limitations. *J Clin Oncol* 2000;18:3495-3502
21. O'Connor MK, Hruska CB, Tran TD, Swanson T, Connors AL, Jones K, et al. Factors influencing the uptake of ^{99m}Tc-sestamibi in breast tissue on molecular breast imaging. *J Med Nucl Technol* 2015;43:13-20
22. Rhodes DJ, Hruska CB, Phillips SW, Whaley DH, O'Connor MK. Dedicated dual-head gamma imaging for breast cancer screening in women with mammographically dense breasts. *Radiology* 2011;258:106-118
23. Rhodes DJ, Hruska CB, Connors AL, Tortorelli CL, Maxwell RW, Jones KN, et al. Molecular breast imaging at reduced radiation dose for supplemental screening in mammographically dense breasts. *AJR Am J Roent-*

genol 2015;204:241-251

24. Hruska CB. Molecular breast imaging for screening in dense breasts: state of the art and future directions. *AJR Am J Roentgenol* 2017;208:275-283
25. Lee A, Chang J, Lim W, Kim BS, Lee JE, Cha ES, et al. Effectiveness of breast-specific gamma imaging (BSGI) for breast cancer in Korea: a comparative study. *Breast J* 2012;18:453-458
26. Park JY, Yi SY, Park HJ, Kim MS, Kwon HJ, Park NH, et al. Breast-specific gamma imaging: correlations with mammographic and clinicopathologic characteristics of breast cancer. *AJR Am J Roentgenol* 2014;203:223-228
27. Shermis RB, Wilson KD, Doyle MT, Martin TS, Merryman D, Kudrolli H, et al. Supplemental breast cancer screening with molecular breast imaging for women with dense breast tissue. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207:450-457
28. Rechtman LR, Lenihan MJ, Lieberman JH, Teal CB, Torrente J, Rapelyea JA, et al. Breast-specific gamma imaging for the detection of breast cancer in dense versus nondense breasts. *AJR Am J Roentgenol* 2014;202:293-298
29. Hruska CB, Conners AL, Jones KN, O'Connor MK, Moriarty JP, Boughey JC, et al. Diagnostic workup and costs of a single supplemental molecular breast imaging screen of mammographically dense breasts. *AJR Am J Roentgenol* 2015;204:1345-1353
30. Weigert JM, Bertrand ML, Lankowsky L, Stern LH, Kieper DA. Results of a multicenter patient registry to determine the clinical impact of breast-specific gamma imaging, a molecular breast imaging technique. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198:W69-W75
31. Kuhn KJ, Rapelyea JA, Torrente J, Teal CB, Brem RF. Comparative diagnostic utility of low-dose breast specific gamma imaging to current clinical standard. *Breast J* 2016;22:180-188
32. Kim BS. Usefulness of breast-specific gamma imaging as an adjunct modality in breast cancer patients with dense breast: a comparative study with MRI. *Ann Nucl Med* 2012;26:131-137
33. Hendrick RE. Radiation doses and cancer risks from breast imaging studies. *Radiology* 2010;257:246-253
34. Hendrick RE, Pisano ED, Averbukh A, Moran C, Berns EA, Yaffe MJ, et al. Comparison of acquisition parameters and breast dose in digital mammography and screen-film mammography in the American College of Radiology Imaging Network digital mammographic imaging screening trial. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:362-369
35. O'Connor MK, Li H, Rhodes DJ, Hruska CB, Clancy CB, Vetter RJ. Comparison of radiation exposure and associated radiation-induced cancer risks from mammography and molecular imaging of the breast. *Med Phys* 2010;37:6187-6198
36. Hendrick RE, Tredennick T. Benefit to radiation risk of breast specific gamma imaging compared with mammography in screening asymptomatic women with dense breasts. *Radiology* 2016;281:583-588
37. Brem RF, Fishman M, Rapelyea J, Young H, Teal C, Kelly T. Breast specific gamma imaging with ^{99m}Tc-sestamibi and magnetic resonance imaging in the diagnosis of breast cancer – a comparative study. *Breast J* 2007;13:465-469
38. National Comprehensive Cancer Network. NCCN guidelines for detection, prevention, & risk reduction. Available at: https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/. Accessed Dec 1, 2018
39. Goldsmith SJ, Parsons W, Guiberteau MJ, Stern LH, Lankowsky L, Weigert J, et al. SNM practice guideline for breast scintigraphy with breast-specific gamma-camera 1.0. *J Nucl Med Technol* 2010;38:219-224
40. Lee SJ, Choi YY, Kim C, Chung MS. Correlations between tumor to background ratio on breast-specific gamma imaging and prognostic factors in breast cancer. *J Korean Med Sci* 2017;32:1031-1037

유방감마스캔을 이용한 유방암 검진

차 은 숙*

치밀유방에서의 유방촬영술은 민감도와 특이도가 매우 낮으며 유방의 치밀도와 고위험군에서의 유방암 검진에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 유방촬영술의 보조적인 영상검사가 필요하다. 유방촬영술이나 초음파검사는 주로 유방암과 정상 유방 실질의 해부학에 근거한 영상검사인데 비해 방사성동위원소를 이용한 유방감마영상은 생리학적인 기반으로 암세포에서 증가된 혈류와 미토콘드리아 활성화에 의해 유방암을 진단한다. 본 종설에서는 ^{99m}Tc -sestamibi를 이용한 유방감마영상의 유방암 검진에 관한 검사방법, 임상연구 결과, 임상 적용, 영상 판독 기준 및 유방암 검진에서의 문제점에 관하여 알아보려고 한다.

이화여자대학교 의과대학 영상학과