

대한유방영상의학회/대한유방검진의학회 지원 다기관 연구 보고서

지원프로그램	다기관 연구		연구관리번호		KSBI & KSFBFS- 2020-01
연구 과제명	국 문	확산강조 자기공명영상(DWI)의 guideline과 표준 판독 lexicon 개발 및 진단 유용성 검증			
	영 문	Diffusion-weighted MRI(DWI) guideline and standard readout lexicon development and diagnostic validation			
연구책임자	성 명	강봉주 (姜奉周)			
	소 속	가톨릭대학교 서울성모병원 영상의학과			
	주 소	서울시 서초구 반포대로 222			
	직 위	교수	전공	유방영상의학	
연구비	2,000 만원	연구기간	2020년 3월 1일 ~ 2021년 2월 28일		
공동 연구자 및 참여기관	신희정 (서울아산병원) 김민정 (연대 세브란스병원) 문우경, 이수현 (서울대병원) 고경란 (국립암센터) 고은숙 (삼성서울병원) 윤보라 (분당서울대병원) 김태희 (아주대병원) 이정민 (서울성모병원)				

본 연구과제는 대한유방영상의학회/대한유방검진의학회의 지원 (KSBI & KSFBFS- 2020-01)을 받아 수행되었습니다.

본 결과보고서에 사용된 표와 연구결과 내용물은 출판물 (iMRI 2022; 26: 83-95)에 사용된 표와 그림을 발췌하였음을 밝힙니다.

I. 연구 결과 요약문

본 연구의 목적은 영상 품질을 개선하고 해석 결과의 변동성을 줄이기 위해 확산 가중 MRI(DW-MRI)의 표준화된 획득 및 판독에 대한 지침을 수립하고 제공하고자 함. 첨단 기술과 후처리를 더한 고화질 DW-MRI의 표준 프로토콜의 목적은 의료를 위한 임상 정보의 구축, 활성화, 교환에 관련된 의료 영상 정보 교환의 효율성을 높이는 것임. 조직화된 판독 양식은 DW-MRI의 해석을 보다 쉽고 친숙하게 만들 수 있음. 본 연구에서는 DW-MRI의 기본 원리, 최적화된 영상 획득, 표준화된 판독 지침, DW-MRI 영상에서 위음성 및 위양성 사례를 간략히 살펴보고 사용자가 보다 친숙해질 수 있도록 표준 해석 양식과 다양한 사례의 예를 제시함.

II. 연구내용 및 결과

1. 연구 과제의 개요 및 목적

이 연구에서는 문헌조사와 다기관 전문가 의견을 통하여, 확산강조 자기공명영상(DWI) 촬영 기본 protocol

과 QC(질관리)에 대한 guideline 개발하고, DWI 내의 background diffusion signal(조영증강 MRI의 BPE와 유사개념)을 포함하여 DWI에서 보이는 병변의 정성적 기술 등에 관한 표준 판독 lexicon을 정리하며, 개발된 guideline 및 각 lexicon의 진단 유용성을 검증하고자 함.

2. 연구배경 및 필요성

1) 연구 배경: 국제적으로 Partridge 등의 연구를 중심으로 ADC data acquisition 및 QC (quality control, 질관리) issue 등 DWI의 영상최적화에 대한 관심과 연구가 증가되고 있음. ISMRM in Paris에서 발표되었듯이 ACRIN6702 DWI multicenter study 참여기관에서 영상화질 불량 1/3에서 발견되어 분석불가 판정을 받음. 국내에서도 실제 3-4분이면 DWI를 얻을 수 있어 많은 기관에서 DWI를 조영증강 MRI에 추가하여 시행하고 있으나 최종화질은 그 질분석을 하기 어렵고, 오래된 MRI 기기의 경우 DWI QC가 쉽지 않음. 이러한 이유로 인하여 아직 유방영상의학 리더들에게도 DWI 단독검사의 유용성에 대한 주장은 설득력이 약하고, 또한, 본격적인 DWI

Table 1. Requirements for Diagnostic, Screening Breast DW-MRI, and Optimized Acquisition Protocol

Parameter	Diagnostic Examination*	Screening Examination [‡]
Equipment		
Magnet field strength	≥1.5 T	3.0 T
Type of coil	≥4 channels	16 or 18 channels
Acquisition parameter		
In-plane resolution	≤2x2 mm ²	≤1.3x1.3 mm ²
Slice thickness	≤4 mm	≤3 mm
Number of b values	2	3
Lowest b value	0-50 s/mm ²	0 s/mm ²
High b value	800 s/mm ²	800 and 1200 s/mm ²
Post-processing		
ADC map	low b and 800 s/mm ²	0 and 800 s/mm ²
MIP	not required	axial and sagittal MIP
Optimized acquisition protocol	Magnetic field strength (≥1.5T) Coil: Dedicated breast coil Axial DWI before contrast injection B value = 0 and more than one high b values (800-1500 s/mm ²) Less than 3 mm in thickness and less than 1.5 mm ² in-plane pixel resolution Maximum intensity projection (MIP) and fusion image (if possible)	

* Recommendation of the European Society of Breast Radiology (EUSOBI)

[‡] Recommended in Korean multicenter screening DW MRI study group

ADC = apparent diffusion coefficient, MIP = maximum intensity projection

검진의 전향적 연구 계획은 미국이나 유럽에는 아직 없음. 최근 Amornsiripanitch 등의 연구를 통하여, DWI가 치밀유방 여성의 유방촬영술에서 보이지 않는 악성 종양을 식별 할 수 있는 가능성을 보여주면서 검사시간이 짧고 조영증강 없는 대안적인 유방암 선별 도구로 그 가능성이 증명됨. 또한, 조영증강 MRI로 고위험여성의 유방암 선별검사를 시행하는 많은 국가에서, 최근 대두되는 gadolinium toxicity에 대한 우려 때문에 병이 없는 여성을 대상으로 매년 조영증강 MRI로 유방암 검진을 하는 것을 부담스러워하고 일반 여성들이나 의사들도 이에 대한 우려를 하고 있어, DWI로 유방암 선별 검사에 이용하려는 가능성이 점차 대두되고 있음. 특히, DWI screening 다기관 연구가 우리나라에서 시작되었고, 국가보험정책상 DWI가 일부 유방암 환자에서 추가수가를 받게 됨으로써 국내에서도 DWI에 대한 관심이 높아지고 있음.

확산강조 자기공명영상은 조직 내 물분자의 브라운 운동(brownian motion)에 의한 확산 정도를 영상화하는 비조영 MRI검사 방법임. 확산은 분자가 처해 있는 물리적 환경에 따라 다르며 고형조직보다는 액체조직에서, 그리고 점도가 낮거나 온도가 높을 수록 잘 일어남. 생체 내 물 분자의 확산운동은 조직마다 서로 다를 뿐 아니라 병적인 조직에서는 그 정도가 변화하는데, 밀도가 높은 세포와 혈관의 경우 물 분자의 확산이 제한되며 밀도가 낮은 세포나 세포막에 결합이 있는 경우 세포외 공간에서 물 분자의 자유 확산운동이 일어남. 확산강조영상에서 유방암은 양성 종양이나 정상 유방조직에 비해 제한된 확산을 보임.

DWI의 검사시간은 3-4분으로 짧고, DWI와 역동적 조영증강dynamic contrast-enhanced, DCE MRI를 함께 판독하면 특이도를 20%이상 향상시킨다고 알려짐 (ACRIN6702 trial). 현재 우리나라의 대부분 병원에서 유

Table 2. Interpretation Lexicon and Interpretation Criteria

MRI Sequence	Classification	Terms		Suspicious or Non-suspicious criteria
High b value DWI	Background Diffusion Signal (BDS)	Minimal/Mild/Moderate/Marked		
		Symmetric or Asymmetric		
		Focus		
		Focus/foci		
	Mass	Shape	Oval/Round	Non-suspicious
			Irregular	Suspicious
		Margin	Circumscribed	Non-suspicious
			Not circumscribed	Suspicious
		Internal signal characteristics	Homogeneous	Non-suspicious
			Heterogeneous/Rim	Suspicious
ADC map	Diffusion level	Distribution	Focal/Regional/Diffuse	Non-suspicious
			Linear/Segmental	Suspicious
		Internal signal characteristics	Homogeneous	Non-suspicious
			Heterogeneous	Suspicious
		Very high	$> 2.1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	Non-suspicious
			$1.7 - 2.1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	Non-suspicious
		Intermediate	$1.3 - 1.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	Non-suspicious
			$0.9 - 1.3 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	Suspicious
Lesion location	Detail Which breast (right, left, or bilateral)	Location: Quadrant, clock face, subareolar, central, axillary tail, axilla	Depth: anterior, middle, posterior,	Distance from nipple, skin, or chest wall (in cm) as appropriate
Lesion size at ADC map or high b value DWI	ADC map is calculated from b=0 and 800 mm^2/sec DWI	Measure in at least 2 dimensions	- X: Longest measurement on axial image best depicts lesion (AP or Trans)	- Y: Measurement orthogonal to X using same image (Trans or AP)

방 MRI 검사 시 조영증강 전에 확산강조영상을 같이 획득하고 있음.

몇몇 연구에서 DWI를 이용한 비조영 MRI 검사의 진단 정확도가 유방촬영이나 초음파와 비교하여 우수하고 조영제를 사용하는 DCE MRI검사보다 낮거나 비슷한 정도라는 보고도 있었으나, 이 연구들은 유방촬영술, 초음파 또는 조영증강 DCE MRI에서 이상 소견을 보인 환자만을 대상으로 DWI를 시행한 후 진단 성적을 후향적으로 분석하였기에 각 검사들의 진단정확도로 받아들이기에는 문제가 있어 좀더 연구가 필요함.

DWI는 조영제를 사용하지 않고도 병변의 기능적인 정보를 제공할 수 있다는 장점이 있으나 영상의 공간해상도가 낮아 DWI 만으로는 기존의 유방 MRI에서 발견되는 작은 크기의 유방암을 발견하기가 쉽지 않다는 제한점이 있었음. 최근, DWI의 낮은 해상도를 보완하기 위해 T1강조영상과의 융합영상(fusion image)과 b-value 1000으로 획득한 확산강조영상의 최대 강도 투사 영상(maximum intensity projection, MIP)을 영상획득 및 판독에 이용한 연구들이 있었고 그 결과 DWI의 정확도를

높일 수 있었음이 보고됨.

최근 발표된 유럽유방영상의학회(EUSOBI) 가이드라인과 Partridge와 Shin의 Radiology 리뷰 논문에서는 ADC value 정략적 측정을 위해 b value 800을, 암 발견(검진)을 위해서는 b-value 1200을 각각 추천하고 있음.

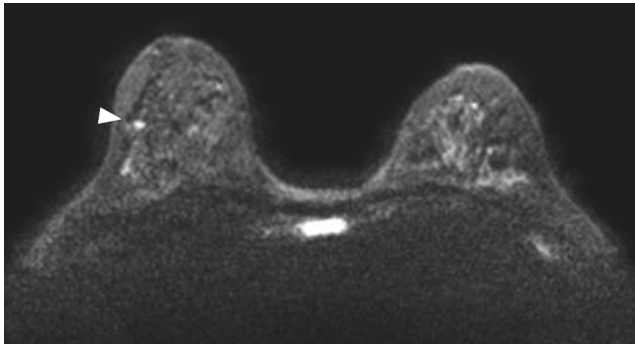
2) 연구의 필요성과 중요성: DWI의 중요성, 필요성 및 관심이 증폭되고 있으나, 아직까지는 조영증강 MRI에 비해 DWI 촬영 기본 protocol과 QC(질관리)에 대한 guideline이 없고, background diffusion signal, DWI 내의 병변의 정성적 기술 등에 관한 표준 판독 lexicon이 정립되어 있지 않아, 문헌조사와 다기관 전문가 의견을 통한 guideline 개발 및 각 lexicon의 진단 유용성 검증이 필요하고 이러한 논의가 시작되어야 할 시기로 생각됨.

3) 연구의 독창성: 현재 ACR BI-RADS, MRI 부분에 DWI의 background diffusion signal, DWI 내의 병변의 정성적 기술 등에 관한 표준 판독 lexicon이 정립되어 있지 않음.

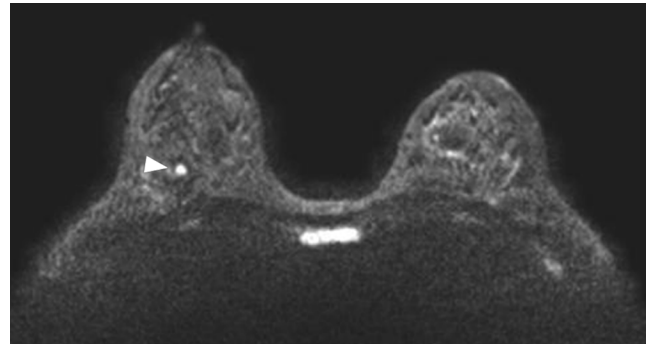
최근에 나온 Diagnostic Imaging, Breast (Berg et al. 2019)에서는 Breast PET lexicon에 background

Table 3. Definition and Examples of Assessment

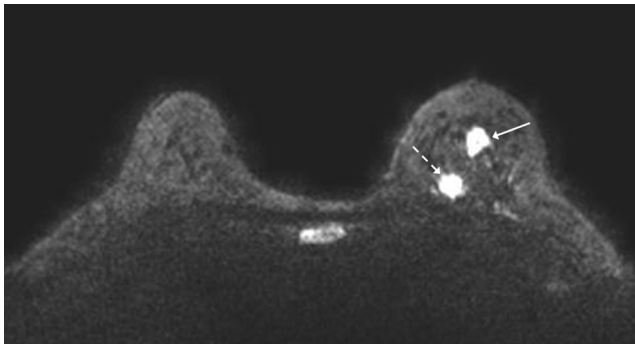
Category 0: Incomplete assessment, additional imaging needed	
Category 1: Negative, routine follow-up	No lesion found
Category 2: Benign, routine follow-up	No suspicious finding or typical benign findings Mass/Focus: oval/round and homogeneous - ADC >1.3 Nonmass: focal or regional, homogeneous - ADC >1.3
Category 3: Probable benign, short-interval (6-month) follow-up	Probable fibroadenoma, complicated cyst or fibrocystic change with suspicious findings in only 1 criterion Mass/Focus: oval/round and homogeneous - ADC ≤ 1.3 Mass/Focus: oval/round, rim or heterogenous - ADC > 1.3 Mass/Focus: irregular and homogeneous - ADC > 1.3 Nonmass: focal or regional, homogeneous - ADC ≤ 1.3 Nonmass: focal or regional, heterogenous - ADC > 1.3 Nonmass: segmental or linear, homogeneous - ADC > 1.3
Category 4: Suspicious abnormality, tissue diagnosis	A combination of suspicious and non-suspicious findings with more than 2 suspicious criteria Mass/Focus: oval/round, rim or heterogenous - ADC ≤ 1.3 Mass/Focus: irregular and homogeneous - ADC ≤ 1.3 Mass/Focus: irregular, rim or heterogenous - ADC > 1.3 Nonmass: focal or regional, heterogenous - ADC ≤ 1.3 Nonmass: segmental or linear, homogeneous - ADC ≤ 1.3 Nonmass: segmental or linear, heterogenous - ADC > 1.3
Category 5: Highly suggestive of malignancy, tissue diagnosis	Typical characteristic findings of breast cancer in all criteria Mass/Focus: irregular, rim or heterogenous - ADC ≤ 1.3 Nonmass: segmental or linear, heterogenous - ≤ 1.3
Category 6: Known biopsy-proven malignancy, appropriate action should be taken	



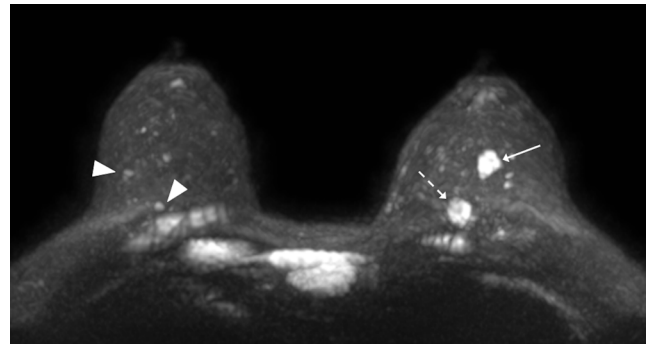
a



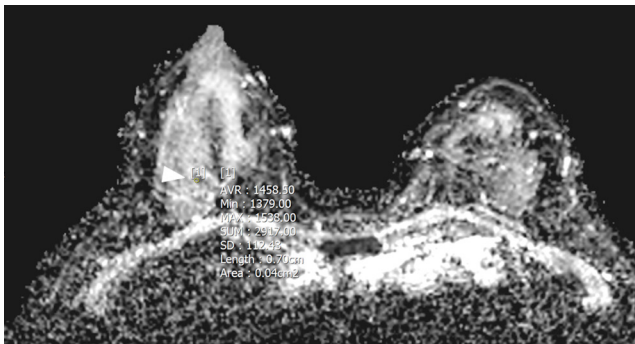
b



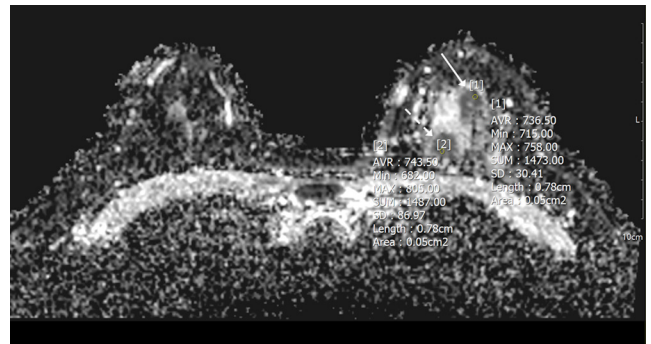
c



d



e



f

Indication for examination: preoperative evaluation (known biopsy-proven malignancy).

MR sequence: DWI (b=0, 800, 1200) / ADC map / DWI MIP

Amount of fibroglandular tissue (FGT): d. extreme fibroglandular tissue

Background parenchymal signal (BPS): mild, symmetric

Findings:

1) A 1.6-cm, oval, not circumscribed, heterogeneous, high SI mass (bx. proven IDC) at the middle portion (distance from nipple: 4.3 cm) in the 12 o'clock direction of the left breast. ADC value is very low ($0.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$).

- Category 6, known biopsy proven malignancy

2) A 1.3-cm, irregular, not circumscribed, heterogeneous, high SI mass at the upper portion (distance from nipple: 6.1 cm) in the 11 o'clock direction of the left breast. The ADC value is very low ($0.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$).

- Category 5, highly suggestive of malignancy

3) Several, oval, circumscribed, homogeneous, high SI masses/foci in the right breast. The ADC values are intermediate ($1.3\text{-}1.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$).

- Category 2, benign finding

Assessment category: Category 5, highly suggestive of malignancy, biopsy recommended

g

Fig. 1. A 45-year-old woman underwent breast diffusion weighted MRI for preoperative evaluation (biopsy proven left invasive ductal carcinoma). (a-c) On diffusion weighted images ($b = 1200 \text{ s}/\text{min}^2$ in a-c) and (d) a maximal intensity projection image, two suspicious high SI masses (arrows, dashed arrows) were visible in the left breast and several high SI masses/foci (arrowheads) were visible in the right breast. (e, f) The apparent diffusion coefficient values of the apparent diffusion coefficient map show low signal intensity ($< 0.9 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) at two suspicious masses in the left breast (arrow, dashed arrow), but, show intermediate signal intensity ($1.3\text{-}1.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) at several masses/foci in the right breast (arrowhead). (g) The reading form of this case.

parenchymal uptake(BPU), lesion type, lesion location, lesion intensity, lesion size 등이 나와 있어, 이에 대한 고찰과 DWI에의 응용을 통하여 좀더 과학적이며 실용적인 lexicon을 개발할 수 있을 것으로 기대됨.

3. 연구 내용 및 방법

1) 사전준비로 참여 병원과 전문가들을 대상으로 현재 영상검사 프로토콜 고찰 및 DWI guideline 및 lexicon developing에 관한 논의를 계획함.

2) 문헌 고찰 등을 통한 전문가 그룹의 프로토콜과 질관리를 포함한 DWI guideline 및 lexicon을 개발함.

3) 개발된 protocol과 guideline에 따라, DWI와 조영증강 MRI 획득하고 DWI lexicon에 따른 병변을 분석함.

4) 결과 분석 후, guideline 및 lexicon 제안 및 발표, lexicon 유용성을 검증함.

4. 기대성과

비조영 MRI 검사인 확산강조 자기공명영상(DWI)의 영상검사에 대한 프로토콜, 질관리의 guideline을 제시하고, 판독 lexicon을 통일하여 사용함과 동시에 그 유용성을 검증한 자료를 제시할 수 있음. 앞으로 보험을 포함한 국가정책의 근거 혹은 다양한 DWI 연구의 기반이 될 수 있음.

5. 연구 결과 요약 정리

유방 DW-MRI는 유방의 DCE-MRI를 보완하는 핵심 영상 기법으로 부상하고 있음. DW-MRI는 더 많은 양의 환자 처리량을 허용하는 안전하고 빠르며 조영제를 쓰지 않는 기술이므로 높은 진단 정확도("고가치 영상")를 유지하면서 비용 효율적임. 이는 유방암 검진에서 DW-MRI의 가능성을 보여주며 양성 및 악성 유방 병변의 정확한 감별 진단 및 선행 화학요법에 대한 유방암 반응의 모니터링에 사용될 수 있음. DWI의 가장 큰 장점은 조영제가 필요 없다는 것임.

DW-MRI는 스크리닝 또는 진단 영상을 위한 독립 영상으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 비조영 영상인 T1 및 T2WI 분석을 사용하여 형태에 대한 추가 분석이 가능함. DCE-MRI와 함께 용하면 특이도가 증가하고 유방 실질 조영의 영향을 덜 받으므로 서로를 보완할 수 있을 것으로 예상됨.

첨단 기술과 후처리를 더한 고해상도 DW-MRI는 센티미터 이하 작은 암을 더 잘 진단하고 병변의 특성을 확인할 수 있어 위음성 및 위양성 결과를 줄일 수 있음. 최적화된 획득 프로토콜 및 표준 판독 어휘는 DW-MRI의 이미지 품질을 개선하고 판독 결과의 변동성을 줄일 수 있음. (Tables 1-3, Figure 1).

III. 연구성과

논문 발표: Bong Joo Kang, Min Jung Kim, Hee Jung Shin, Woo Kyung Moon, Acquisition and Interpretation Guidelines of Breast Diffusion-Weighted MRI (DW-MRI): Breast Imaging Study Group of Korean Society of Magnetic Resonance in Medicine Recommendations, iMRI 2022;26:83-95

References

1. Lehman CD, Blume JD, Weatherall P, Thickman D, Hylton N, Warner E, et al. Screening women at high risk for breast cancer with mammography and magnetic resonance imaging. *Cancer* 2005;103:1898-1905
2. Saslow D, Boetes C, Burke W, Harms S, Leach MO, Lehman CD, et al. American Cancer Society guidelines for breast screening with MRI as an adjunct to mammography. *CA: a cancer journal for clinicians* 2007;57:75-89
3. Mann RM, Kuhl CK, Kinkel K, Boetes C. Breast MRI: guidelines from the European society of breast imaging. *European radiology* 2008;18:1307-1318
4. Lee SH, Shin HJ, Moon WK. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the breast: standardization of image acquisition and interpretation. *Korean Journal of Radiology* 2021;22:9
5. Amornsiripanitch N, Bickelhaupt S, Shin HJ, Dang M, Rahbar H, Pinker K, et al. Diffusion-weighted MRI for unenhanced breast cancer screening. *Radiology* 2019;293:504-520
6. Shin HJ, Lee SH, Park VY, Yoon JH, Kang BJ, La Yun B, et al. Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging for Breast Cancer Screening in High-Risk Women: Design and Imaging Protocol of a Prospective Multicenter Study in Korea. *Journal of Breast Cancer* 2021;24:218
7. Radovic N, Ivanac G, Divjak E, Biondic I, Bulum

- A, Brkljacic B. Evaluation of Breast Cancer Morphology Using Diffusion-Weighted and Dynamic Contrast-Enhanced MRI: Intermethod and Interobserver Agreement. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 2019;49:1381-1390
8. Durur-Subasi I. DW-MRI of the breast: a pictorial review. *Insights into imaging* 2019;10:61
9. Baltzer P, Mann RM, Lima M, Sigmund EE, Clauser P, Gilbert FJ, et al. Diffusion-weighted imaging of the breast—a consensus and mission statement from the EUSOBI International Breast Diffusion-Weighted Imaging working group. *European radiology* 2020;30:1436-1450
10. Durur-Subasi I, Durur-Karakaya A, Karaman A, Seker M, Demirci E, Alper F. Is the necrosis/wall ADC ratio useful for the differentiation of benign and malignant breast lesions? *The British journal of radiology* 2017;90:20160803
11. Brandão AC, Lehman CD, Partridge SC. Breast magnetic resonance imaging: diffusion-weighted imaging. *Magnetic Resonance Imaging Clinics* 2013;21:321-336
12. Woodhams R, Ramadan S, Stanwell P, Sakamoto S, Hata H, Ozaki M, et al. Diffusion-weighted imaging of the breast: principles and clinical applications. *Radiographics* 2011;31:1059-1084
13. Pereira FPA, Martins G, de Oliveira RdVC. Diffusion magnetic resonance imaging of the breast. *Magnetic Resonance Imaging Clinics* 2011;19:95-110
14. Partridge SC, McDonald ES. Diffusion weighted magnetic resonance imaging of the breast: protocol optimization, interpretation, and clinical applications. *Magnetic Resonance Imaging Clinics* 2013;21:601-624
15. Baltzer PA, Benndorf M, Dietzel M, Gajda M, Camara O, Kaiser WA. Sensitivity and specificity of unenhanced MR mammography (DWI combined with T2-weighted TSE imaging, ueMRM) for the differentiation of mass lesions. *European radiology* 2010;20:1101-1110
16. Yabuuchi H, Matsuo Y, Sunami S, Kamitani T, Kawanami S, Setoguchi T, et al. Detection of non-palpable breast cancer in asymptomatic women by using unenhanced diffusion-weighted and T2-weighted MR imaging: comparison with mammography and dynamic contrast-enhanced MR imaging. *European radiology* 2011;21:11-17
17. Trimboli RM, Verardi N, Cartia F, Carbonaro LA, Sardanelli F. Breast cancer detection using double reading of unenhanced MRI including T1-weighted, T2-weighted STIR, and diffusion-weighted imaging: a proof of concept study. *American Journal of Roentgenology* 2014;203:674-681
18. McDonald RJ, McDonald JS, Kallmes DF, Jentoft ME, Murray DL, Thielen KR, et al. Intracranial gadolinium deposition after contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 2015;275:772-782
19. Telegrafo M, Rella L, Ianora AAS, Angelelli G, Moschetta M. Unenhanced breast MRI (STIR, T2-weighted TSE, DWIBS): An accurate and alternative strategy for detecting and differentiating breast lesions. *Magnetic resonance imaging* 2015;33:951-955
20. Bickelhaupt S, Laun FB, Tesdorff J, Lederer W, Daniel H, Stieber A, et al. Fast and noninvasive characterization of suspicious lesions detected at breast cancer X-ray screening: capability of diffusion-weighted MR imaging with MIPs. *Radiology* 2016;278:689-697
21. McDonald ES, Hammersley JA, Chou S-HS, Rahbar H, Scheel JR, Lee CI, et al. Performance of DWI as a rapid unenhanced technique for detecting mammographically occult breast cancer in elevated-risk women with dense breasts. *American Journal of Roentgenology* 2016;207:205-216
22. Shin HJ, Chae EY, Choi WJ, Ha SM, Park JY, Shin KC, et al. Diagnostic performance of fused diffusion-weighted imaging using unenhanced or postcontrast T1-weighted MR imaging in patients with breast cancer. *Medicine* 2016;95
23. Kang JW, Shin HJ, Shin KC, Chae EY, Choi WJ, Cha JH, et al. Unenhanced magnetic resonance screening using fused diffusion-weighted imaging and maximum-intensity projection in patients with a personal history of breast cancer: role of fused DWI for postoperative screening. *Breast Cancer Research and Treatment* 2017;165:119-128
24. Kang JW, Shin HJ, Shin KC, Chae EY, Choi WJ, Cha JH, et al. Unenhanced magnetic resonance screening using fused diffusion-weighted imaging and maximum-intensity projection in patients with a personal history of breast cancer: role of fused DWI for postoperative screening. *Breast Cancer Research and Treatment* 2017;165:119-128
25. Hahn SY, Ko ES, Han B-K, Lim Y, Gu S, Ko EY. Analysis of factors influencing the degree of

- detectability on diffusion-weighted MRI and diffusion background signals in patients with invasive breast cancer. *Medicine* 2016;95
26. Hee Jung Shin WKM, Nita Amornsiripanitch, Savannah Partridge. *Iima/Partridge/Le Bihan: Diffusion MRI of the Breast: Elsevier, 2021*
27. Kim JY, Suh HB, Kang HJ, Shin JK, Choo KS, Nam KJ, et al. Apparent diffusion coefficient of breast cancer and normal fibroglandular tissue in diffusion-weighted imaging: the effects of menstrual cycle and menopausal status. *Breast cancer research and treatment* 2016;157:31-40
28. Ha SM, Chang JM, Lee SH, Kim ES, Kim S-Y, Cho N, et al. Diffusion-weighted MRI at 3.0 T for detection of occult disease in the contralateral breast in women with newly diagnosed breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment* 2020;182:283-297
29. Partridge SC, DeMartini WB, Kurland BF, Eby PR, White SW, Lehman CD. Quantitative diffusion-weighted imaging as an adjunct to conventional breast MRI for improved positive predictive value. *American journal of Roentgenology* 2009;193:1716-1722
30. Partridge SC, DeMartini WB, Kurland BF, Eby PR, White SW, Lehman CD. Differential diagnosis of mammographically and clinically occult breast lesions on diffusion-weighted MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine* 2010;31:562-570
31. Partridge SC, Nissan N, Rahbar H, Kitsch AE, Sigmund EE. Diffusion-weighted breast MRI: Clinical applications and emerging techniques. *Journal of magnetic resonance imaging* 2017;45:337-355
32. Jeong EH, Choi EJ, Choi H, Park EH, Song JS. Prediction of axillary lymph node metastasis in early breast cancer using dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and diffusion-weighted imaging. *Investigative Magnetic Resonance Imaging* 2019;23:125-135
33. Zhang L, Tang M, Min Z, Lu J, Lei X, Zhang X. Accuracy of combined dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and diffusion-weighted imaging for breast cancer detection: a meta-analysis. *Acta radiologica* 2016;57:651-660
34. Rahbar H, Zhang Z, Chenevert TL, Romanoff J, Kitsch AE, Hanna LG, et al. Utility of diffusion-weighted imaging to decrease unnecessary biopsies prompted by breast MRI: a trial of the ECOG-ACRIN cancer research group (A6702). *Clinical Cancer Research* 2019;25:1756-1765
35. Baltzer PA, Bickel H, Spick C, Wengert G, Woitek R, Kapetas P, et al. Potential of noncontrast magnetic resonance imaging with diffusion-weighted imaging in characterization of breast lesions: intraindividual comparison with dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Investigative radiology* 2018;53:229-235
36. Pinker K, Moy L, Sutton EJ, Mann RM, Weber M, Thakur SB, et al. Diffusion-weighted Imaging with Apparent Diffusion Coefficient Mapping for Breast Cancer Detection as a Stand-Alone-Parameter: Comparison with Dynamic Contrast-enhanced and Multiparametric Magnetic Resonance Imaging. *Investigative radiology* 2018;53:587
37. Youk JH, Son EJ, Chung J, Kim J-A, Kim E-k. Triple-negative invasive breast cancer on dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted MR imaging: comparison with other breast cancer subtypes. *European radiology* 2012;22:1724-1734