



Medical Institutions' Adherence to the PI-RADS v2 Minimum Technical Standards for Prostate MRI in Korea

국내 전립선 자기공명영상검사의 PI-RADS v2 최소 요구 조건 준수 비율 조사

Youngwoo Kwon, MD , Moon Hyung Choi, MD* , Seung Eun Jung, MD

Department of Radiology, Seoul St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Purpose To evaluate the adherence rate to Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2 (PI-RADS v2) minimum technical standards of prostate magnetic resonance imaging (MRI) in Korean medical institutions.

Materials and Methods This study included 103 prostate MRI examinations from 85 outside medical institutions performed from March 2015 to January 2018. The difference in adherence rate to minimal technical standards of PI-RADS v2 was compared using a Fisher's exact test between subgroups divided by the magnetic strength of MRI machine, type of medical institution and presence of genitourinary radiologist.

Results Diffusion-weighted imaging (DWI) was obtained frequently in examinations performed in a 3-T machine, in university hospitals and in medical institutions where genitourinary radiologist work in than the others ($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p = 0.003$). Many minimum technical standards of PI-RADS v2 showed significantly lower adherence rate in a 1.5-T machine, in a non-university hospital and in a medical institution without genitourinary radiologist than the others.

Conclusion The frequency of obtaining DWI and the adherent rate to some of the PI-RADS v2 minimum technical standards were significantly higher in 3-T machines, university hospitals and medical institutions with a genitourinary radiologist.

Index terms Magnetic Resonance Imaging; Prostate; Standards

Received June 7, 2018

Revised July 12, 2018

Accepted August 4, 2018

*Corresponding author

Moon Hyung Choi, MD
Department of Radiology,
Seoul St. Mary's Hospital,
College of Medicine,
The Catholic University of Korea,
222 Banpo-daero, Seocho-gu,
Seoul 06591, Korea.

Tel 82-2-2258-1459

Fax 82-2-599-6771

E-mail cmh@catholic.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 iDs

Moon Hyung Choi

<https://orcid.org/0000-0001-5962-4772>

Youngwoo Kwon

<https://orcid.org/0000-0003-0068-4142>

서론

국내에서 전립선암은 지속적으로 증가하고 있으며 2007년에서 2013년 사이에 발생률은 2배, 유병률은 3배 증가하였다(1). 자기공명영상(magnetic resonance imaging; 이하 MRI) 기법의 발전에 힘입어 전립선암의 진단 및 병기 확인에 있어서 전립선 MRI는 필수적인 역할을 하게 되었으며, 특히 T2강조영상, 확산강조영상, 역동적 조영증강영상이 포함된 multiparametric MRI가 가장 흔히 사용된다(2-4).

과거에는 전립선 MRI의 시행, 판독, 보고 방식이 매우 다양하여, 최적화된 영상의 획득과 판독에 대한 합의가 없었다. 이에 대해 일관성 있고 표준화된 검사 및 판독을 위하여 Prostate Imaging-Reporting and Data System version 1 (이하 PI-RADS v1)이 2012년에 발표되었고, PI-RADS v1의 문제점을 보완하여 2015년에 PI-RADS v2가 발표되었다(5, 6). PI-RADS v2는 전립선 MRI에서 발견된 이상 소견이 임상적으로 의미 있는 전립선암(clinically significant prostate cancer)일 가능성이 얼마나 있는지를 표준화된 방식으로 보고하는 것을 제안하고 있다. 이와 함께, 전립선 MRI의 좋은 화질과 적절한 검사 방법이 정확한 판독에 중요한 전제 조건이므로 영상의 획득과 관련된 구체적인 검사 조건들이 제시되어 있다. PI-RADS v2에서는 T1 강조영상, T2 강조영상, 확산강조영상, 역동적 조영증강영상을 모두 필수적으로 포함하도록 권고하고 있으며, 확산강조영상의 경우 현성확산계수(apparent diffusion coefficient) 값과 높은 b 값을 이용한 영상을 포함하도록 권고하였다. 특히 T2 강조영상은 축상(axial), 관상(coronal), 시상(sagittal) 영상을 얻는 것이 일반적이라고 기술하였다(6). 하지만 미국에서 시행된 연구에서 의료기관 및 장비에 따라 권고 사항의 준수 비율이 다름이 입증되었다(7). 이 연구에서는 3.0T 장비에서 T2 강조영상의 평면 내 해상도와 확산강조영상의 interslice gap의 준수 비율이 1.5T 장비보다 높았다. 이 연구는 일부 PI-RADS v2의 최소 요구 조건이 지나치게 엄격한 기준으로 지정된 것 같다는 의견을 제시하면서도, 판독과의 관련성이 입증된 조건들의 중요성도 언급하였다. 검사의 종류에 따라 일관된 수가가 책정되어 있는 우리나라의 의료 시스템에서는 표준화된 영상의 획득은 영상의학적인 측면뿐 아니라 사회적인 측면에서도 중요하다. 또한 PI-RADS v2의 최소 요구 사항을 모두 준수한 검사에 대해 현재의 보험 수가가 적절한지에 대한 고민도 필요하다.

이 연구의 목적은 국내의 의료기관들이 PI-RADS v2의 최소 요구 사항을 얼마나 잘 준수하는지를 알아보는 것이다.

대상과 방법

본 연구는 후향적 연구이며, 본원의 임상연구심사위원회가 연구를 승인하였다(KC18RESI0304). 2015년 3월 1일부터 2018년 1월 31일 사이에 타 의료기관에서 시행된 후 본원으로 전원되어 데이터베이스에 등록된 전립선 MRI를 대상으로 연구를 시행하였다. 이 중 동일 의료기관의 동일한 장비에서 시행된 검사들의 경우 가장 최근에 시행된 조영증강검사를 연구에 포함시켰고 다른 검사들은 제외하였다. 같은 기관에서 보내진 검사에 조영증강검사와 비조영증강검사가 모두 있는 경

우 조영증강검사를 선택하였다. 동일 의료기관에서 시행되었더라도 서로 다른 장비를 이용한 검사는 각각 다른 검사로 간주하여 연구에 포함하였다. 외부 병원에서 시행한 검사 중 전립선 또는 골반 MRI라고 기술된 검사들을 모두 확인하여 전립선 이외의 골반 구조물 또는 골반 뼈에 대한 MRI는 전립선 검사로 간주하지 않았다. 연구 기간에 시행된 외부 병원 전립선 MRI는 총 220건으로 그중 수술 후 영상 10건, 동일 기관의 동일 장비를 이용한 검사 98건, 외국 병원에서 시행된 검사 9건을 제외하여 총 85개 의료기관의 103개 장비로 시행된 MRI가 연구에 포함되었다. 환자의 평균 연령은 68.6 ± 8.7 세(중간값, 69세; 범위, 40~92세)였다. 환자의 전립선 특이 항원의 평균은 37.2 ± 165.2 ng/mL(중간값, 8.8 ng/mL; 범위, 0.89~1505 ng/mL)였다. 전립선 MRI를 시행한 원인은 조직검사 후의 병기 평가가 92명, 조직검사 전 선별검사가 10명, 미상이 1명이었다. 조영증강을 시행하지 않은 검사는 10건이었고 이 중 4건은 선별검사용이었다. 전체 환자 중 94명이 전립선암으로 진단되었다. 글리슨 점수 6, 7 (3+4), 7 (4+3), 8, 9, 10점이 각각 30, 11, 15, 21, 5, 2명이었다고, 10명은 조직검사 결과를 알 수 없었다.

영상의학과 의사 한 명이 연구에 포함된 검사를 후향적으로 검토하여 MRI의 구성 시퀀스 및 검사 조건에 대해 기재하였고, 다른 영상의학과 의사가 이에 대해 중복으로 검토하였다. MRI의 구성 시퀀스는 PI-RADS v2의 점수 판단에 포함되는 T2 강조영상, 확산강조영상, 역동적 조영증강영상의 시행 여부에 대해 기재하였다. PI-RADS v2에서 명시한 검사 조건은 아래와 같고, 이 중 23개 항목(T2 강조영상 6 항목, 확산강조영상 11 항목, 역동적 조영증강영상 6 항목)을 선정하였다.

- T2-weighted imaging (이하 T2WI)
 - Slice thickness: 3 mm, no interslice gap
 - Field of view (이하 FOV): 전립선과 정낭이 포함된 12~20 cm
 - In plane dimension: ≤ 0.7 mm (phase) $\times \leq 0.4$ mm (frequency)
- Diffusion-weighted imaging
 - Repetition time (이하 TR): ≥ 3000 msec; echo time (이하 TE): ≤ 90 msec
 - Slice thickness: ≤ 4 mm, no interslice gap
 - Location of slice: should match or be similar to those used for T2WI
 - FOV: 16–22 cm
 - In plane dimension: ≤ 2.5 mm phase and frequency
 - Highest b-value: 800–1000 sec/mm²
 - Lowest b-value: 50–100 sec/mm²
 - Additional high b-value: ≥ 1400 sec/mm²
- Dynamic contrast-enhanced imaging
 - TR: < 100 msec; TE: < 5 msec
 - Slice thickness: 3 mm, no interslice gap

- Location of slice: should match or be similar to those used for T2WI
- In plane dimension: $\leq 2 \text{ mm} \times \leq 2 \text{ mm}$

검사 조건에 포함된 항목은 절편 두께, 절편 간격, 검사 범위(FOV), 공간 해상도, 반복 시간(TR), 에코 시간(TE) 등으로 영상에 포함된 다이콤 헤더 정보를 참고하였다. 확산강조영상과 역동적 조영증강영상이 T2 강조영상과 동일한 평면에서 얻어졌는지에 대한 항목은 두 영상이 동일한 평면에서 영상 획득을 시작하여 동일한 절편 두께와 절편 간격으로 검사가 시행된 경우에 충족한 것으로 판단하였다. 역동적 조영증강영상 관련 항목들의 준수 여부는 역동적 조영증강영상이 있는 경우에만 분석하였다.

본 연구에서 자기공명영상검사 장비의 자장은 1.5T와 3.0T로 구분하였다. 병원 종별은 의원, 병원, 종합병원, 대학병원으로 분류하였다. 상급 종합병원은 따로 분류하지 않았고, 대학병원을 일차적으로 분류한 후 나머지 기관은 각 종별 기준에 따라 의원, 병원, 종합병원으로 구분하였다. 비뇨생식기 분야 영상학과 전문의는 대한 비뇨생식기 영상의학회 정회원이면서 해당 의료기관의 홈페이지에 자신의 전문 분야로 비뇨생식기 영상의학이 포함된 경우로 정의하였다.

본 연구에서 통계 분석은 SPSS version 24 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 시행하였고, 유의수준(p value) 0.05 미만인 경우 통계학적으로 유의한 것으로 판단하였다. 평가 항목의 준수 여부는 각 집단 내에서 백분율로 표시하였고, 장비 자장, 대학병원 여부, 비뇨생식기 영상의학과 전문의 여부에 따른 두 집단 간의 차이는 피셔의 정확한 검정(Fisher's exact test)을 이용하여 분석하였다.

결과

본 연구에 포함된 85개 기관의 103대 MRI 장비의 특징은 Table 1과 같다. 전체 의료기관 중 대학병원이 63.1%를 차지했고, 비뇨생식기 분야 영상학과 전문의가 근무하는 경우는 39.8%였다. MRI 자장은 3.0T 장비가 69.9%였다. 조영증강을 시행한 검사는 전체의 90.3%였고, 역동적 조영증강영상을 얻는 경우는 51.5%였다. 직장 내 코일을 사용한 검사는 한 건이었다.

PI-RADS v2에서 권고하는 영상 시퀀스는 세 평면의 T2 강조영상, 확산강조영상, 역동적 조영증강영상으로, 연구에 포함된 전체 검사 중 각각의 영상이 포함된 경우가 94.2%, 88.3%, 51.5%로 나타났다. 3.0T 장비에서, 대학병원에서, 비뇨생식기 분야 영상학과 전문의가 있는 기관에서 그렇지 않은 경우보다 유의하게 높은 빈도로 확산강조영상을 획득하였다. 역동적 조영증강영상의 시행 빈도는 비뇨생식기 분야 전문의가 있는 경우에 유의하게 높았다(Table 2).

모든 조건을 준수한 검사는 총 4건으로 같은 의료기관의 서로 다른 장비들로 시행된 검사들이었다. 자장에 따른 검사 조건 준수에 대한 분석에서 1.5T 장비가 유의하게 낮은 비율로 준수한 항목은 총 8가지로, 5가지 항목이 확산강조영상에 대한 항목이었다(Table 3). 특히 1.5T 장비에서 FOV를 권고대로 찍은 비율은 25% 이하로 나타났다. 대학병원과 비대학병원 사이에 유의한 차이를 보이는 항목은 T2강조영상의 평면 내 해상도(위상 부호화 방향), 확산강조영상의 FOV(주파수

Table 1. Characteristics of Medical Institutions and Machines in This Study

	Number (Percentage)
Types of medical institutions	
Clinic	6 (5.8)
Hospital	3 (2.9)
General hospital	29 (28.2)
University hospital	65 (63.1)
Number of radiologists	
1	15 (14.6)
2-8	30 (29.1)
9-16	28 (27.2)
≥ 17	30 (29.1)
Genitourinary radiologist	
Absence	62 (60.2)
Presence	41 (39.8)
Number of machines per institution	
1	74 (87.1)
2	5 (5.9)
3	5 (5.9)
4	1 (1.1)
Vendor	
Philips healthcare	45 (43.7)
Siemens healthineers	38 (36.9)
GE healthcare	13 (12.6)
Canon medical systems	7 (6.8)
Magnetic field strength	
1.5T	31 (30.1)
3.0T	72 (69.9)
Contrast-enhancement	
No contrast-enhancement	10 (9.7)
Dynamic contrast-enhancement	53 (51.5)
Multiphase contrast-enhancement	28 (27.2)
Single phase contrast-enhancement	12 (11.7)

부호화 방향), 역동적 조영증강영상의 에코 시간이었다(Table 4). 절편 간격은 T2 강조영상에서는 두 군 모두 92% 이상 권고를 준수하여 차이가 없었으나 확산강조영상과 역동적 조영증강영상에서는 두 군 모두 50% 이하의 준수율을 보여 유의한 차이가 없었다. 비뇨생식기 영상의학과 의사가 근무하는 기관에서 유의하게 높은 비율로 준수한 항목은 8가지였는데, 낮은 b 값으로 50~100 sec/mm²가 사용된 비율이 다른 군 간 비교와 달리 유의한 차이를 보였다($p = 0.016$) (Table 5).

고찰

전립선 MRI의 표준화된 검사와 판독을 위해 PI-RADS가 발표되었고, 개정된 PI-RADS v2는 전

세계적으로 확산되어 사용되고 있다. PI-RADS v2에서는 병변의 발견과 위치 확인, 특성 확인, 전립선암 위험도 계층화를 위해 검사와 관련된 최소 요구 사항을 제시하였다. PI-RADS v2는 이전에 발표된 논문들과 전문가 의견 합의를 바탕으로 정해진 것으로 검사의 최소 요구 사항은 적절한 화

Table 2. Differences in Proportion of MRIs Obtaining Essential Sequences

	Magnetic Strength			University Hospital			GU Radiologist		
	3.0T (n = 72)	1.5T (n = 31)	p-Value	Yes (n = 65)	No (n = 38)	p-Value	Presence (n = 41)	Absence (n = 62)	p-Value
T2WI, three plane	68 (94.4)	29 (93.5)	1.000	62 (95.4)	35 (92.1)	0.667	39 (95.1)	58 (93.5)	1.000
DWI	71 (98.6)	20 (64.5)	< 0.001	65 (100)	26 (68.4)	< 0.001	41 (100.0)	50 (80.6)	0.003
DCEI	42 (58.3)	11 (35.5)	0.052	36 (55.4)	17 (44.7)	0.315	27 (65.9)	26 (41.9)	0.026

Data is presented as number (percentage).

DCEI = dynamic contrast-enhanced imaging, DWI = diffusion-weighted imaging, GU = genitourinary, MRI = magnetic resonance imaging, T2WI = T2-weighted imaging

Table 3. Differences in Adherence Rate to PI-RADS v2 according to Magnetic Strength of MRI Machines

Parameters	Recommendation	3.0T (n = 72)	1.5T (n = 31)	p-Value
T2WI				
Thickness	3 mm	56 (77.8)	20 (64.5)	0.221
Interslice gap	No gap	67 (93.1)	30 (96.8)	0.665
FOV (frequency)	12–20 cm	56 (77.8)	20 (64.5)	0.221
FOV (phase)	12–20 cm	58 (80.6)	21 (67.7)	0.204
In plane resolution (frequency)	≤ 0.4 mm	63 (87.5)	30 (96.8)	0.275
In plane resolution (phase)	≤ 0.7 mm	51 (70.8)	6 (19.4)	< 0.001
Diffusion-weighted imaging				
Location of slice	Match or similar to T2W	41 (58.6)	5 (25.0)	0.011
TR	≥ 3000 msec	66 (94.3)	17 (85.0)	0.181
TE	≤ 90 msec	61 (87.1)	16 (80.0)	0.475
Thickness	≤ 4 mm	64 (91.4)	16 (80.0)	0.220
Interslice gap	No gap	32 (45.7)	5 (25.0)	0.125
FOV (frequency)	16–22 cm	50 (71.4)	4 (20.0)	< 0.001
FOV (phase)	16–22 cm	51 (72.9)	5 (25.0)	< 0.001
In plane resolution (frequency)	≤ 2.5 mm	67 (95.7)	16 (80.0)	0.041
In plane resolution (phase)	≤ 2.5 mm	66 (94.3)	14 (70.0)	0.007
High b-value	800–1000 sec/mm ²	64 (91.4)	15 (75.0)	0.062
Additional high b-value	≥ 1400 sec/mm ²	6 (8.6)	0 (0)	0.331
Low b-value	50–100 sec/mm ²	27 (38.6)	7 (35.0)	1.000
Dynamic contrast-enhanced imaging				
Location of slice	Match or similar to T2W	13 (31.0)	6 (54.5)	0.173
TR	< 100 msec	42 (100)	11 (100)	-
TE	< 5 msec	38 (90.5)	4 (36.4)	0.001
Thickness	3 mm	37 (88.1)	3 (27.3)	< 0.001
Interslice gap	No gap	14 (33.3)	6 (54.5)	0.296
In plane resolution	≤ 2 mm × ≤ 2 mm	42 (100)	11 (100)	-

Data is presented as number (percentage).

FOV = field of view, MRI = magnetic resonance imaging, PI-RADS v2 = Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2, TE = echo time, TR = repetition time, T2WI = T2-weighted imaging

Table 4. Differences in Adherence Rate to PI-RADS v2 between University and Non-University Hospital

Parameters	Recommendation	University Hospital (n = 65)	Non-University Hospital (n = 38)	p-Value
T2WI				
Thickness	3 mm	48 (73.8)	28 (73.7)	1.000
Interslice gap	No gap	60 (92.3)	37 (97.4)	0.409
FOV (frequency)	12–20 cm	51 (78.5)	25 (65.8)	0.171
FOV (phase)	12–20 cm	54 (83.1)	25 (65.8)	0.056
In plane resolution (frequency)	≤ 0.4 mm	58 (89.2)	35 (92.1)	0.742
In plane resolution (phase)	≤ 0.7 mm	45 (69.2)	12 (31.6)	< 0.001
Diffusion-weighted imaging				
Location of slice	Match or similar to T2WI	36 (56.3)	10 (38.5)	0.164
TR	≥ 3000 msec	59 (92.2)	24 (92.3)	1.000
TE	≤ 90 msec	56 (87.5)	21 (80.8)	0.510
Thickness	≤ 4 mm	57 (89.1)	23 (88.5)	1.000
Interslice gap	No gap	28 (42.2)	10 (38.5)	0.816
FOV (frequency)	16–22 cm	43 (67.2)	11 (42.3)	0.035
FOV (phase)	16–22 cm	44 (68.8)	12 (46.2)	0.057
In plane resolution (frequency)	≤ 2.5 mm	61 (95.3)	22 (84.6)	0.186
In plane resolution (phase)	≤ 2.5 mm	59 (92.2)	21 (80.8)	0.145
High b-value	800–1000 sec/mm ²	59 (92.2)	20 (76.9)	0.072
Additioanl high b-value	≥ 1400 sec/mm ²	5 (7.8)	1 (3.8)	0.668
Low b-value	50–100 sec/mm ²	24 (37.5)	10 (38.5)	1.000
Dynamic contrast-enhanced imaging				
Location of slice	Match or similar to T2WI	10 (27.8)	9 (2.9)	0.124
TR	< 100 msec	36 (100)	17 (100)	-
TE	< 5 msec	32 (88.9)	10 (58.8)	0.025
Thickness	3 mm	30 (83.3)	10 (58.8)	0.086
Interslice gap	No gap	12 (33.3)	8 (47.1)	0.375
In plane resolution	≤ 2 mm × ≤ 2 mm	36 (100)	17 (100)	-

Data is presented as number (percentage).

FOV = field of view, PI-RADS v2 = Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2, TE = echo time, TR = repetition time, T2WI = T2-weighted imaging

질을 유지하기 위한 노력을 반영한 것이다. 최소 요구 사항이 모두 학문적 근거를 갖는 것은 아니지만, 현재까지의 논의 중 가장 구체적인 조건들을 제시하고 있어 검사의 적절성을 평가하기 위한 좋은 지표로 생각된다. 따라서 이번 연구에서는 이를 기준으로 국내 검사의 현황에 대해 평가하였다. 이번 연구에서는 장비 자장이 낮은 경우, 대학병원이 아닌 경우, 비뇨생식기 영상학과 전문의가 근무하지 않는 경우에 유의하게 낮은 빈도로 확산강조영상을 획득함을 알 수 있었다. 각 시퀀스의 구체적인 검사 조건의 준수 여부도 각 집단 간 비교에서 유의한 차이를 보이는 항목이 많았다. 이는 현재 국내에서 시행 중인 전립선 MRI가 다양한 방법으로 시행되고 있음을 보여 주었다.

PI-RADS v2에 따르면 전립선에서 발견된 이상 소견이 주변부(peripheral zone)와 이행부

Table 5. Differences in Adherence Rate to PI-RADS v2 according to whether GU Radiologist Is Present or Absent

Parameters	Recommendation	Presence (n = 41)	Absence (n = 62)	p-Value
T2WI				
Thickness	3 mm	32 (78.0)	44 (71.0)	0.497
Interslice gap	No gap	39 (95.1)	58 (93.5)	1.000
FOV (frequency)	12–20 cm	35 (85.4)	41 (66.1)	0.039
FOV (phase)	12–20 cm	35 (85.4)	44 (71.0)	0.102
In plane resolution (frequency)	≤ 0.4 mm	36 (87.8)	57 (91.9)	0.514
In plane resolution (phase)	≤ 0.7 mm	29 (70.7)	28 (45.2)	0.015
Diffusion-weighted imaging				
Location of slice	Match or similar to T2WI	27 (67.5)	19 (38.0)	0.006
TR	≥ 3000 msec	36 (90.0)	47 (94.0)	0.695
TE	≤ 90 msec	37 (92.5)	40 (80.0)	0.113
Thickness	≤ 4 mm	36 (90.0)	44 (88.0)	1.000
Interslice gap	No gap	21 (52.5)	16 (32.0)	0.056
FOV (frequency)	16–22 cm	31 (77.5)	23 (46.0)	0.003
FOV (phase)	16–22 cm	31 (77.5)	25 (50.0)	0.009
In plane resolution (frequency)	≤ 2.5 mm	39 (97.5)	44 (88.0)	0.127
In plane resolution (phase)	≤ 2.5 mm	38 (95.0)	42 (84.0)	0.175
High b-value	800–1000 sec/mm ²	3 (7.5)	3 (6.0)	1.000
Additional high b-value	≥ 1400 sec/mm ²	35 (87.5)	44 (88.0)	1.000
Low b-value	50–100 sec/mm ²	21 (52.5)	13 (26.0)	0.016
Dynamic contrast-enhanced imaging				
Location of slice	Match or similar to T2WI	10 (37.0)	9 (34.6)	1.000
TR	< 100 msec	27 (100)	26 (100)	-
TE	< 5 msec	25 (92.6)	17 (65.4)	0.019
Thickness	3 mm	24 (88.9)	16 (61.5)	0.028
Interslice gap	No gap	7 (25.9)	13 (50.0)	0.093
In plane resolution	≤ 2 mm × ≤ 2 mm	27 (100)	26 (100)	-

Data is presented as number (percentage).

FOV = field of view, GU = genitourinary, PI-RADS v2 = Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2, TE = echo time, TR = repetition time, T2WI = T2-weighted imaging

(transition zone) 중 어디에 있는지에 따라 우선적으로 고려해야 하는 시퀀스(primary determining sequence)가 다르고, 주변부 병변은 확산강조영상을, 이행부 병변은 T2 강조영상을 우선적으로 고려하도록 되어 있다. 따라서 전립선암이 가장 빈번하게 발생하는 주변부의 병변에 대한 판단을 위해서는 확산강조영상이 반드시 필요하다. 확산강조영상이 주변부 전립선암의 발견에 매우 중요한 시퀀스라는 것은 이전의 연구들에서 공통적으로 입증되었고(3, 8-10), 확산강조영상에서 추출되는 현성확산계수가 전립선암의 악성도를 예측하는 데에도 도움이 된다는 연구들도 있다(11-13). 그러나 이번 연구에서는 전체 검사 중 88.3%에서 확산강조영상이 시행되었다. 특히 1.5T 장비(64.5%)에서 3.0T 장비(98.6%)보다 유의하게 낮은 비율로 확산강조영상을 획득하였다. 검사 조건에 대한 분석에서 평면 내 해상도(in plane resolution)의 조건을 충족하는 비율이 1.5T 장비에서 유의하게 낮았다. 적절한 조건으로 촬영한다면 1.5T와 3.0T 장비 모두 사용 가능하지만,

1.5T 장비에서 적절한 영상 획득을 위해 더 많은 주의를 기울여야 할 것으로 보인다.

대학병원과 비뇨생식기 영상의학과 전문의가 근무하는 기관에서는 확산강조영상을 100% 촬영하였으나 나머지 기관들은 유의하게 낮은 비율로 확산강조영상을 얻었으므로 확산강조영상의 중요도에 대한 인식이 확산되지 않은 것으로 보인다. 특히 비뇨생식기 분야 전문의의 근무 여부에 따라서만 유의한 차이를 보인 항목이 낮은 b 값의 층측 여부인데, PI-RADS v2에서는 관류(perfusion)의 영향을 줄이기 위해 $b = 0$ 보다는 $b = 50 \sim 100 \text{ sec/mm}^2$ 를 사용하도록 권고하고 있다. 이는 전문 영역에 따라 전립선 MRI 최신 지견에 대한 관심의 차이를 반영한다고 생각된다. 낮은 b 값의 권고 준수 비율은 장비의 자장이나 병원 규모에 따른 차이는 없었는데, 이는 각 두 군에서 모두 준수 비율이 40% 이하였기 때문이다. 확산강조영상에서 나타난 또 다른 문제점은 $b = 1400 \text{ sec/mm}^2$ 영상을 직접 획득하거나 계산을 하여 얻은 경우는 6건에 불과하다는 점이다. PI-RADS v2에서는 높은 b value를 $800 \sim 1000 \text{ sec/mm}^2$ 로 권고하면서도 1400 sec/mm^2 의 영상을 얻는 것도 추가적으로 권고하고 있으나(14, 15), 장비나 검사 시간, 소프트웨어의 제한 등으로 인해 현실적으로는 $b = 1400 \text{ sec/mm}^2$ 영상을 얻는 데에 어려움이 있는 것으로 생각된다.

전체 103개 검사 중 역동적 조영증강영상이 포함된 검사는 51.5%에 불과하였다. 역동적 조영증강영상은 비뇨생식기 영상의학과 전문의가 근무하는 기관에서 유의하게 높은 비율로 획득하였다. 3.0T 장비와 대학병원은 1.5T 장비와 비대학병원보다 각각 더 높은 비율로 역동적 MRI를 획득하였으나 통계학적 유의성은 없었다. 조영증강을 시행하지 않은 검사는 9.7%였고, 조영제 투여 후에 한 번 영상을 얻거나(single-phase) 동맥기, 정맥기 등으로 나누어 몇 번의 영상을 얻는 경우(multiphase)가 각각 27.2%, 11.7%로 확인되었다. 역동적 조영증강영상은 PI-RADS에서 권고하는 기본 시퀀스로, 시간의 흐름에 따른 조영증강 여부를 객관적으로 평가할 수 있다(16). 전립선암은 정상 조직에 비하여 더 강한 조영증강과 조기 조영증강(early enhancement)을 보이는데(17), 이는 종양에 신생혈관이 형성되면서 혈관의 수와 투과성이 증가하기 때문이다(18-20). 최근에는 선별검사의 목적으로 시행하는 전립선 MRI에서 역동적 조영증강영상의 필요성에 대한 논란이 있고, 조영증강을 하지 않아도 병변을 잘 발견할 수 있다는 연구들이 있다(21, 22). 역동적 조영증강영상을 얻기 위해서는 검사 시간과 비용이 증가하므로, 선별검사에서는 조영증강검사를 일부러 시행하지 않는 기관들이 증가하고 있다(23). 따라서 선별검사를 위한 비조영증강 전립선 MRI가 확산된 후에는 역동적 조영증강영상의 유무가 표준화된 검사 시행 여부를 판단하는 기준이 될 수 없을 것이다.

T2 강조영상에서는 집단 간 분석에서 공통적으로 유의한 차이를 보인 항목은 위상 부호화(phase encoding) 방향의 평면 내 해상도였고, 대부분의 항목은 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 T2 강조영상은 대부분의 기관에서 적절하게 시행되고 있는 것으로 파악되었다. T2 강조영상 중 다평면 영상 획득에 대한 분석에서도 90% 이상의 기관이 세 평면의 T2 강조영상을 얻고 있었다. T2 강조영상을 세 개 평면에서 얻는 것은 PI-RADS v2에서 권고하고 있으며 일반적으로도 흔히 사용된다(6, 24). 병변의 일차적인 평가에는 축상(axial) 영상이 가장 기본적인지만, 주변 장기와 병변의 관련성을 파악하기 위해서는 여러 평면의 영상을 얻는 것이 유리하다(24).

확산강조영상과 역동적 조영증강영상을 T2 강조영상과 동일하거나 비슷한 평면에서 얻어야 한

다는 조건과 관련하여 이번 검사에서는 동일한 평면에서 영상을 얻는 경우만 이를 준수한 것으로 고려하였다. 확산강조영상의 경우 3.0T 장비와 비노생식기 영상의학과 전문의가 있는 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 T2 강조영상과 동일한 평면에서 영상을 획득한 비율이 높았다. 실제 판독에 있어 여러 시퀀스 영상을 동일한 평면에서 획득한 경우 병변의 위치를 확인하는 것이 용이하기 때문에 이와 관련된 권고가 있는 것으로 생각된다. 하지만, 실제로는 절편 두께가 감소하면 신호 잡음비(signal-to-noise ratio)가 감소하기 때문에 낮은 자장의 장비에서 이를 준수하기 어려웠을 가능성이 있다. 역동적 조영증강영상이 T2 강조영상과 동일한 평면에서 획득되었는지에 대한 분석은 세부 그룹 비교에서 모두 유의한 차이를 보이지 않았는데, 이 항목을 준수한 검사가 103개 영상검사 중 19개뿐이었기 때문으로 생각된다.

우리나라의 보험 제도에서 MRI에 대한 급여가 확대되고 있기 때문에, 적절한 수준의 MRI 검사가 시행되는 것이 중요하다. 특정 검사에 대한 수가가 일정하게 정해져 있는 현재의 보험 제도가 그대로 유지된다면, 진단적인 가치가 충분한 검사와 불충분한 검사가 동일한 수가를 받게 될 것이기 때문이다. 검사의 질이 낮은 경우 정확한 진단이 어려워 환자에게 해가 될 수 있다. 부적절한 화질로 검사가 시행된 경우 추후에 추가적인 검사를 시행해야 할 가능성이 높고, 이로 인해 의료비 지출이 상승되므로 사회적인 문제도 제기될 수 있다. 따라서 우리나라의 현실에 적용할 수 있는 검사 기준을 마련하고, 검사 기준 준수 여부가 수가에 반영되어야 적절한 검사 화질이 유지될 수 있을 것이다.

이번 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 이 연구는 후향적 연구로, 본 기관에 의뢰된 외부 검사만을 대상으로 연구를 진행하여 의뢰한 의료기관이 지역적인 편차를 보일 수 있다. 상급 종합병원에 환자를 의뢰할 때 접근성이 중요한 요소이기 때문에, 지역별로 각 지역의 거점 병원으로 의뢰를 하게 된다. 따라서 본 기관으로의 접근이 용이하지 않은 지역의 의료기관에서 시행된 검사가 포함되지 않았을 가능성이 있다. 둘째, 각 영상검사의 검사 조건 관련 항목은 영상 및 다이콥 헤더에 표시된 정보를 이용하여 수집되었기 때문에 영상 및 다이콥 헤더에 포함되지 않은 항목은 누락되었다. 이 문제를 해결하기 위해서는 다른 의료기관의 영상의학과 전문의를 대상으로 영상검사의 프로토콜에 대한 구체적인 설문조사를 시행해야 하므로, 더 정확한 조사를 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 셋째, 영상검사의 프로토콜 준수 여부에 따른 진단 정확도의 차이에 대한 평가를 시행하지 않았다. 최적화된 영상검사가 진단에 중요한 전제 조건이지만, 진단 정확도는 다양한 요소가 반영되기 때문이다.

결론적으로 전립선 MRI에서 확산강조영상의 획득 비율과 PI-RADS v2 최소 요구 사항의 준수 비율이 3.0T 장비, 대학병원, 비노생식기 영상의학과 전문의 소속 의료기관에서 높았다. 이는 장비와 인력에 따라 전립선 MRI 방법의 차이가 있음을 보여주며, 양질의 영상 획득과 판독을 위해서 국내에서도 적절한 기준을 확립하고 이를 준수하는 것이 필요하다.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Acknowledgments

본 연구는 2017년 보건 의료 기술 연구 개발 사업(첨단 의료 기술 개발), 보건 의료 정보화를 위한 진료 정보 교류 기반 구축 및 활성화(과제 고유 번호: H114C2756) 연구의 지원을 받음.

REFERENCES

1. Han HH, Park JW, Na JC, Chung BH, Kim CS, Ko WJ. Epidemiology of prostate cancer in South Korea. *Prostate Int* 2015;3:99-102
2. Arumainayagam N, Ahmed HU, Moore CM, Freeman A, Allen C, Sohaib SA, et al. Multiparametric MR imaging for detection of clinically significant prostate cancer: a validation cohort study with transperineal template prostate mapping as the reference standard. *Radiology* 2013;268:761-769
3. de Rooij M, Hamoen EH, Futterer JJ, Barentsz JO, Rovers MM. Accuracy of multiparametric MRI for prostate cancer detection: a meta-analysis. *AJR Am J Roentgenol* 2014;202:343-351
4. Shukla-Dave A, Hricak H. Role of MRI in prostate cancer detection. *NMR Biomed* 2014;27:16-24
5. Dickinson L, Ahmed HU, Allen C, Barentsz JO, Carey B, Futterer JJ, et al. Magnetic resonance imaging for the detection, localisation, and characterisation of prostate cancer: recommendations from a European consensus meeting. *Eur Urol* 2011;59:477-494
6. Weinreb JC, Barentsz JO, Choyke PL, Cornud F, Haider MA, Macura KJ, et al. PI-RADS prostate imaging - Reporting and data system: 2015, Version 2. *Eur Urol* 2016;69:16-40
7. Esses SJ, Taneja SS, Rosenkrantz AB. Imaging facilities' adherence to PI-RADS v2 minimum technical standards for the performance of prostate MRI. *Acad Radiol* 2018;25:188-195
8. Delongchamps NB, Rouanne M, Flam T, Beuvon F, Liberatore M, Zerbib M, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection and localization of prostate cancer: combination of T2-weighted, dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted imaging. *BJU Int* 2011;107:1411-1418
9. Ren J, Yang Y, Zhang J, Xu J, Liu Y, Wei M, et al. T(2)-weighted combined with diffusion-weighted images for evaluating prostatic transition zone tumors at 3 Tesla. *Future Oncol* 2013;9:585-593
10. Turkbey B, Pinto PA, Mani H, Bernardo M, Pang Y, McKinney YL, et al. Prostate cancer: value of multiparametric MR imaging at 3 T for detection—histopathologic correlation. *Radiology* 2010;255:89-99
11. Jyoti R, Jain TP, Haxhimolla H, Liddell H, Barrett SE. Correlation of apparent diffusion coefficient ratio on 3.0T MRI with prostate cancer Gleason score. *Eur J Radiol Open* 2018;5:58-63
12. Sokmen BK, Sokmen D, Ucar N, Ozkurt H, Simsek A. The correlation between biological activity and diffusion-weighted MR imaging and ADC value in cases with prostate cancer. *Arch Ital Urol Androl* 2017;89:277-281
13. Woo S, Kim SY, Cho JY, Kim SH. Preoperative evaluation of prostate cancer aggressiveness: using ADC and ADC ratio in determining Gleason score. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207:114-120
14. Kitajima K, Takahashi S, Ueno Y, Yoshikawa T, Ohno Y, Obara M, et al. Clinical utility of apparent diffusion coefficient values obtained using high b-value when diagnosing prostate cancer using 3 tesla MRI: comparison between ultra-high b-value (2000 s/mm²) and standard high b-value (1000 s/mm²). *J Magn Reson Imaging* 2012;36:198-205
15. Tamada T, Kanomata N, Sone T, Jo Y, Miyaji Y, Higashi H, et al. High b value (2000 s/mm²) diffusion-weighted magnetic resonance imaging in prostate cancer at 3 Tesla: comparison with 1000 s/mm² for tumor conspicuity and discrimination of aggressiveness. *PLoS One* 2014;9:e96619
16. Fennessy FM, Fedorov A, Penzkofer T, Kim KW, Hirsch MS, Vangel MG, et al. Quantitative pharmacokinetic analysis of prostate cancer DCE-MRI at 3T: comparison of two arterial input functions on cancer detection with digitized whole mount histopathological validation. *Magn Reson Imaging* 2015;33:886-894
17. Engelbrecht MR, Huisman HJ, Laheij RJ, Jager GJ, Van Leenders GJ, Hulsbergen-Van De Kaa CA, et al. Discrimination of prostate cancer from normal peripheral zone and central gland tissue by using dynamic contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 2003;229:248-254
18. Bigler SA, Deering RE, Brawer MK. Comparison of microscopic vascularity in benign and malignant prostate tissue. *Hum Pathol* 1993;24:220-226
19. Nicholson B, Schaefer G, Theodorescu D. Angiogenesis in prostate cancer: biology and therapeutic opportunities. *Cancer Metastasis Rev* 2001;20:297-319
20. Siegal JA, Yu E, Brawer MK. Topography of neovascularity in human prostate carcinoma. *Cancer* 1995;75:

2545-2551

21. Di Campli E, Delli Pizzi A, Seccia B, Cianci R, D'Annibale M, Colasante A, et al. Diagnostic accuracy of biparametric vs multiparametric MRI in clinically significant prostate cancer: comparison between readers with different experience. *Eur J Radiol* 2018;101:17-23
22. Jambor I, Kähkönen E, Taimen P, Merisaari H, Saunavaara J, Alanen K, et al. Prebiopsy multiparametric 3T prostate MRI in patients with elevated PSA, normal digital rectal examination, and no previous biopsy. *J Magn Reson Imaging* 2015;41:1394-1404
23. Pahwa S, Schiltz NK, Ponsky LE, Lu Z, Griswold MA, Gulani V. Cost-effectiveness of MR imaging-guided strategies for detection of prostate cancer in biopsy-naive men. *Radiology* 2017;285:157-166
24. Hegde JV, Mulkern RV, Panych LP, Fennessy FM, Fedorov A, Maier SE, et al. Multiparametric MRI of prostate cancer: an update on state-of-the-art techniques and their performance in detecting and localizing prostate cancer. *J Magn Reson Imaging* 2013;37:1035-1054

국내 전립선 자기공명영상검사의 PI-RADS v2 최소 요구 조건 준수 비율 조사

권영우 · 최문형* · 정승은

목적 이 연구의 목적은 국내의 의료기관들이 Prostate Imaging-Reporting and Data System version 2 (이하 PI-RADS v2)의 최소 요구 사항을 얼마나 잘 준수하는지를 알아보는 것이다.

대상과 방법 이 연구는 2015년 3월부터 2018년 1월 사이에 타 의료기관에서 시행되어 본원에 등록된 전립선 자기공명영상검사(magnetic resonance imaging; 이하 MRI) 중 총 85개 기관의 103대 장비로 시행된 검사를 포함하였다. 장비의 자장, 대학병원 여부, 비뇨생식기 영상 의학과 전문의 유무에 따라 필수 시퀀스 획득 여부, PI-RADS v2 최소 요구 사항 23 항목에 대한 준수 비율의 차이를 Fisher's exact test를 이용해 분석했다.

결과 확산강조영상 획득 여부는 장비 자장, 대학병원 여부, 비뇨생식기 영상 의학과 전문의 존재 유무에 따라 유의한 차이가 있었다. 역동적 조영증강영상은 비뇨생식기 영상 의학과 전문의가 근무하는 기관에서 유의하게 높은 비율로 시행하였다. PI-RADS v2 최소 요구 사항 중 여러 항목이 1.5 T 장비, 비대학병원, 비뇨생식기 영상 의학과 전문의가 없는 병원에서 유의하게 낮은 준수 비율을 보였다.

결론 전립선 MRI에서 확산강조영상의 획득 비율과 PI-RADS v2 최소 요구 사항의 준수 비율이 3.0 T 장비, 대학병원, 비뇨생식기 영상 의학과 전문의 소속 의료기관에서 높았다.

가톨릭대학교 의과대학 서울성모병원 방사선과학교실