

발 간 등 록 번 호
11-1352159-001276-01

의료방사선시리즈No.17

국민의 내일을 위한 정부혁신
보다 나은 정부

진단참고수준 가이드라인

유방촬영

2019. 9.



보건복지부
질병관리본부

목차

PART I 배경 및 목적 | 1

- 1. 배경 1
- 2. 목적 1

PART II 의료피폭에서의 방사선방어 | 2

- 1. 의료 방사선방어의 원리 2
- 2. 진단참고수준 (DRL) 2

PART III 국내외 진단참고수준 현황 | 5

- 1. 국내 진단참고수준 현황 5
- 2. 국외 진단참고수준 현황 5

PART IV 유방촬영에서의 진단참고수준 확립 | 6

- 1. 측정 대상 의료기관 분포 현황 6
- 2. 측정 대상 장치 현황 7
- 3. 측정 방법 8
- 4. 촬영 조건 분석 11
- 5. 환자선량 측정 결과 14
- 6. 진단참고수준 20

PART V 참고문헌 | 22

배경 및 목적



1 배경

현대의학에서 X-선을 이용한 영상의학 검사는 필수적인 것으로 인식되고 있으며, 그 사용이 증가하고 있다. 우리나라에서 이루어지는 X-선 검사 건수는 2015년 한 해 동안 약 2억 6500만 건에 이르는 것으로 조사되었다. 하지만 진단목적의 영상의학 검사 또한 방사선인 X-선을 이용하는 것으로 여타 방사선과 마찬가지로 피폭에 의한 위험성을 수반하고 있다. 1980년대 미국인이 일인당 받는 방사선 유효선량은 3.6 mSv였으나, 2006년에는 6.2 mSv로 증가되었으며 이런 증가분의 대부분은 의료방사선에 의한 것으로 약 절반인 3 mSv를 차지하고 있다. 우리나라도 마찬가지로 의료방사선 사용 증가에 따라 의료방사선에 의한 선량이 증가하는 추세에 있으며, 2017년 연구에 의하면 2007년 우리나라 국민 1인당 의료방사선에 의한 유효선량은 0.93 mSv로 나타났으며, 2012년 1.2 mSv로, 2015년 1.38 mSv로 8년간 약 48 % 증가하였다.

이와 같은 의료 피폭은 환자에게 주는 이득이 방사선에 의한 위해보다 많기에 방사선량의 제한을 두고 있지는 않으나 전반적인 의료피폭 저감화를 위한 방법으로 진단참고수준(Diagnostic Reference Level, DRL)을 각 국가의 실정에 맞게 적용하도록 ICRP는 권고하고 있다.

이에 우리나라에서는 2006년부터 일반촬영을 비롯하여 유방촬영, 투시촬영, 중재시술, CT 및 치과촬영에 대한 진단참고수준을 확립하고 주기적인 개정을 위해 노력하고 있다.

2 목적

2007년 설정되었던 유방촬영에서의 진단참고수준을 개정하기 위해 2018년에 걸쳐 조사 및 연구를 진행하였으며 이를 바탕으로 유방촬영의 진단참고수준을 확립하였다.

의료기관에서 의료방사선 사용 수준을 확인하고 환자 의료피폭 저감에 기여할 수 있도록, 본 가이드라인이 적극 활용되기를 바란다.

의료피폭에서의 방사선방어



1 의료 방사선방어의 원리

의료 목적의 방사선 사용은 환자에게 높은 방사선피폭을 유발하지만, 이는 의도적이고 직접적으로 환자에게 이익(질병의 진단)을 제공하므로 다른 계획 피폭상황에서의 방사선 방어와는 다른 접근법이 요구된다.

의료 방사선 방어의 원리는 정당화(justification), 최적화(optimization), 방사선량의 제한(application of dose limits)로 이루어져 있다. 국제방사선방어위원회(ICRP, International Commission of Radiological Protection)은 의료영역에서 사용되는 방사선 선량은 환자 이익을 위해서 사용되어야 하고(justification), 최적화(optimization) 되어 있어야 한다고 명시하고 있다(ICRP 1990). 정당화의 원리는 방사선은 환자에 대한 이익이 방사선으로 인해 발생할 수 있는 잠재적인 위험보다 더 가치가 있을 때 사용되어야 함을 말하며, 최적화의 원칙은 ALARA(As low as reasonably achievable) 원리에 입각하여 합리적으로 선량이 쓰여져야 되어야 함을 말한다. 다시 말하면 피폭 발생 가능성, 피폭자 수 및 개인선량 크기가 경제적, 사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지해야 함을 의미한다. 일반인 혹은 작업종사자의 피폭허용량이 정해져 있는 반면에 정당화와 최적화를 이룬 의료방사선에 대해서는 방사선량의 제한을 두고 있지는 않다.

2 진단참고수준(DRL)

진단참고수준(DRL)에 대한 개념은 1991년 국제방사선방어위원회 보고서-60 (ICRP 1990)에서 처음 소개되었으며, 이어서 1996년 국제방사선방어위원회 보고서-73과 ICRP publication No. 73 (ICRP 1996)과 2001년 보조지침(ICRP 2001)을 통해서 의료분야에서 그 사용을 권고하였다. 또한 세계보건기구 (WHO), 국제원자력기구(IAEA) 등 6개 국제기구에서는 공동으로 1996년 의료 피폭 저감을 위한 진단 엑스선 검사 시 검사 부위별 환자가 받는 선량의 지침준위(Guidance Level)를 마련하여 국제기본안전기준115에서 권고하였다(IAEA 1996). 2007년에는 국제방사선방어위원회의 새로운 권고에 따라 ICRP publication No. 103과 No. 105이 발행되어 진단방사선 분야에서 의료영상을 목적으로 시행하는 방사선 검사에서 환자 방어를 위한 최적화를 위해 각 국가의 실정에 맞게 진단참고수준을 적용하도록 권고하였다(ICRP 2007a, ICRP 2007b).

이 외에도 미국의학물리학자협회 (American Association of Physicist in Medicine; AAPM) task group, 미국영상의학과 의사협회 (American College of Radiology; ACR) 등에서도 진단참고수준에 대한 지침을 제시하고 있다.

진단참고수준은 진단방사선 및 핵의학 분야의 검사 및 시술 과정에서 일상적인 목적으로 사용되는 환자 피폭선량이 비정상적으로 높은 지를 확인하기 위해 참고치로 사용되어 온 지표이다. 진단참고수준이 수립되어야 하는 첫 번째 이유는 같은 검사라도 시행하는 병원 및 국가마다 크게 다르다는 점에 있다. 만약 어떠한 시술이나 검사로 인해 환자가 받는 선량이 지속적으로 진단참고수준보다 높다면, 검토를 통해서 최적화가 제대로 되어있는지를 검토해야 한다. 이런 의미에서 진단참고수준은 방사선 방어에 있어서 최적화의 도구로 이용될 수 있으며, 또한 최적화 과정의 기본이 되는 전문적인 판단에 대한 보조적인 도구이다. 유럽에서는 유럽위원회(European Commissions; EC)를 주축으로 영상검사를 시행하는 데 있어서 기준을 마련할 것과, 의료적 목적의 방사선 통제를 위한 진단참고수준에 대한 내용을 담은 지침을 1997년에 마련하였다 (EC 1997). 유럽의 경우에는 미국보다는 규제적인 의미를 내포하고 있는데, 이 지침서에서 진단참고수준은 표준 치수의 환자의 특정한 검사에 관한 것으로 정의되어 있고, 이 값은 정상적으로 수행되는 표준 검사에서 넘지 않을 것으로 기대되는 수치라고 정하였다. 또한 진단적인 목적의 방사선 검사나 핵의학 검사에서만 진단참고수준을 적용하는 것을 허용하고 있지만, 방사선 치료에 대해서는 개개의 환자에 적용할 것을 제안하고 있지는 않다. 그렇지만, 방사선량이 지속적으로 진단참고수준보다 높다면 지역적인 검토가 필요하다고 말하고 있다. 진단참고수준은 전국의 의료기관별 진단용 방사선 검사에 대한 진단검사조건 및 환자 피폭선량 조사를 통해 설정된다. 이전에 전국 단위로 조사된 환자선량의 분포는 좌측으로 편향된 형태를 나타낸다. 대부분의 의료기관은 선량이 낮은 쪽에 분포하고 있지만 일부 의료기관은 선량이 비교적 높은 쪽에 분포하는 것으로 나타났다.

일반적으로 진단참고수준은 측정된 선량분포의 75 % 백분위 수준인 삼사분위에서 결정된다. 그러나 진단참고수준이 반드시 분포의 3사분위수에서 결정되어야만 하는 것은 아니다. 선량조사의 결과에 따라 전문가 집단에 의해서 3사분위수가 아닌 적절한 값을 채택할 수도 있다. 이 선량조사는 대단위, 소단위의 기관일 수도 있고, 공공기관 또는 민간기관일 수 있으며, 또한 입원환자 또는 외래환자를 포함한 조사일 수도 있다. 신뢰도가 높은 진단참고수준을 설정하기 위해서 선량조사는 그 구성이 탄탄하고, 실제로 시행되는 검사나 시술을 대표할 수 있어야 하며, 어느 한 지역, 환자군, 검사장치 등에 치우치지 않아야 한다. 또한 진단참고수준은 꼭 국가적일 필요는 없으며, 선량분포 조사의 범위에 따라 특정 기관이나 지역의 진단참고수준이 만들어질 수 있다. 그리고 진단참고수준은 일회성의 조사를 통해서 영구적으로 고정되는 값이 아니고, 지속적이고 주기적인 측정과 조사를 통해서 그 값을 갱신할 필요가 있다. 이는 검사나 시술에 기대하는 환자의 임상 상황이나, 영상 기법의 발전, 방사선 위험에 대한 인식의 변화 등이 시간에 따라서 변화하기 때문이다. 따라서 진단참고수준의 설정을 위한 선량분포 조사는 3년에서 5년 정도의 주기로 반복적으로 이루어져야 하며, 이를 바탕으로 진단참고수준 설정 값을 갱신할 필요가 있다.

의학적 검사나 시술에 있어서 지속적으로 진단참고수준보다 높은 방사선량은 합리적으로 정당화 될 수 없다. 진단참고수준을 기준으로 상위 25 %의 병원은 수립된 진단참고수준보다 높은 방사선량으로 검사나 시술을 시행하는 것이며, 이러한 기관들은 검사과정이나 장치의 검토를 통해서 최적화가 필요하다는 뜻이다. 진단참고수준이 좋은 검사, 나쁜 검사를 구분하기 위한 절대적인 지표가 아니기 때문에 주기적으로 선량분포조사를 하고 이를 통하여 진단참고수준을 재설정하면 앞서 설명한 것처럼 선량감소의 역할을 할 수 있다. 따라서 비정상적으로 높은 방사선량을 야기하는 시설이나 장치를 식별하여 최적화를 한다면, 방사선 검사로 인한 환자 피폭선량을 한 기관이나 지역, 국가적으로 줄일 수 있을 것이다. 기준보다 많은 양의 방사선량을 줄이도록 유도하여 전체적인 선량을 감소시키고 불필요한 방사선량에 노출되는 것을 막는 것뿐만 아니라, 이러한 넓은 범위의 선량분포를 제한 할 수 있다. 또한, 여기에 진단참고수준 설정의 궁극적인 의도 및 목표가 있는 것이다.

국가적인 차원에서 여러 의료기관을 대상으로 선량을 측정하고 이를 외국과 비교하며, 국가 단위의 진단참고수준을 수립하는 것은 의료기관으로 하여금 방사선 사용의 최적화를 할 수 있는 기반이 될 것이다. 이를 통해서 환자에 대한 피폭을 감소시킬 수 있으며, 영상의 질을 유지하여 진단의 정확성도 높일 수 있고, 전체적으로 국민 건강 증진에 긍정적인 효과를 가져 올 수 있을 것이다. 영국, 독일 등에서는 이미 자국의 실정에 맞는 환자선량 조사를 통하여 국가적인 진단참고수준을 수립하여 방사선량을 줄이고 있으며, 우리나라에서도 2008년의 흉부 엑스선 검사와 유방 엑스선 검사의 환자선량 조사 및 평가를 시작으로, 현재 질병관리본부에서 CT, 치과촬영, 투시촬영, 중재시술, 일발촬영 등 다양한 검사의 진단참고수준을 수립하여 권고하고 있다.

진단참고수준 설정을 통해 진단참고수준 이상의 환자선량을 야기하는 시설이나 장치를 식별하여 시정조치를 취할 수 있다. 이와 같은 시정조치를 통해 비교적 높은 환자선량을 보이는 기관은 선량 저감화를 위한 노력을 이행할 것이다. 결과적으로 진단참고수준의 설정은 환자선량을 감소하는데 큰 기여를 할 것이다. 또한, 일정 기간 후 다시 전국조사를 통해 진단참고수준 값이 감소된 것을 확인하면 선량의 최적화가 이루어지고 있다고 판단할 수 있다. 이러한 점에서 주기적인 진단참고수준 갱신을 위한 체계적인 로드맵의 설정과 이를 통한 전국적인 피폭선량 실태조사를 지속적으로 실시하는 것이 필요하다.

국내외 진단참고수준



1 국내 진단참고수준 현황

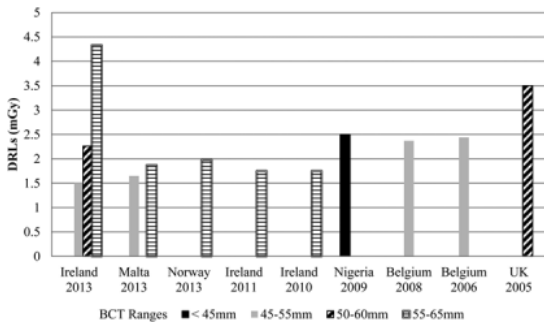
우리나라에서는 현재 질병관리본부를 중심으로 환자선량 조사 및 진단참고수준 설정, 그리고 의료방사선 최적화에 대한 연구 및 활동이 활발히 진행되고 있으며, 현재까지 다수 연구를 통해 검사종류별 진단참고수준을 제시하였다(식약처 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013). 이 중 유방촬영에서의 진단참고수준은 2007년에 처음 설정되었다.

〈표 1〉 우리나라 유방촬영 진단참고수준

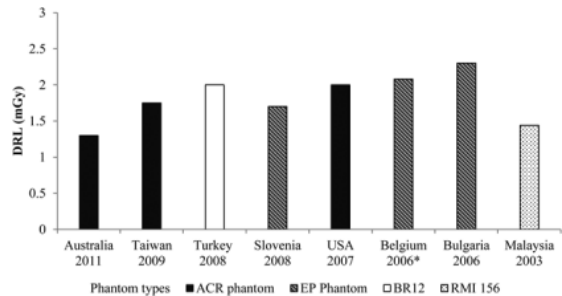
검사종류	수행연도	측정값(단위)	실측값	3사분위	DRL(mGy)
유방 상하위	2007	평균유선선량 (mGy)	1.16 [0.45-2.26]	1.359	1.36

2 국외 진단참고수준 현황

유방촬영장치의 경우 과거 필름 유방촬영장치에서 디지털 유방촬영장치로의 변화와 최근 3D 유방촬영장치(Breast Tomosynthesis)가 도입됨에 따라, 평균유선선량 및 진단참고수준에 관한 연구들이 발표되었다. 이러한 연구들은 실제 환자 데이터를 이용한 것과 유방 팬텀을 이용해 측정된 것들로 나뉘어 정리될 수 있으며, 이는 장치 회사와 기종, 환자 유방의 밀도 및 측정 시 눌린 두께 (breast compressed thickness: BCT), 그리고 검사에 이용된 팬텀에 따라 각각 다양한 결과를 보였다 [그림 1, 2].



[그림 1] 국가별 실제 환자에서 획득한 유방의 압박 두께별 진단참고수준(95 percentile)



[그림 2] 국가별 팬텀 연구에 따른 팬텀 타입별 진단참고수준(95percentile)

유방촬영에서의 진단참고수준 확립



질병관리본부에서는 2018년에 유방촬영에 대한 진단참고수준 확립을 위한 전국 단위 조사 및 연구를 진행하였다. 전국 176 개 병원, 176 대 장치에 대해 팬텀을 이용한 선량을 측정하였으며 개인정보를 제외한 실제 환자 데이터를 수집하였다.

1 측정 대상 의료기관 분포 현황

공문을 통한 자발적 참여, 학회 및 협회 추천, 그리고 직접 접촉을 통한 섭외 방법을 통하여 측정 의료기관을 선정하였으며 인구 비례에 맞추었다.

〈표 2〉에는 유방촬영에 대해 방사선량 측정 및 정보를 수집한 병원 수를 지역별, 의료기관 종별에 따라 나타내었다. 176 개 의료기관을 대상으로 선량 측정을 수행하였고, 약 490 명의 환자 선량정보를 수집하였다. 의료기관의 규모 분포는 상급종합병원이 29 개(16%), 종합병원 97 개(55%), 병의원 50 개(28%)로 나타났으며, 지역별 분포는 서울/인천/경기도는 86 개(49%), 강원/충청도는 23 개(13%), 전라도는 21 개(12%), 경상도는 43 개(24%), 제주도 3 개(2%)로 나타났다.

〈표 2〉 유방촬영 방사선량 측정 및 정보수집 대상 병원 수

지역구분	상급종합병원	종합병원	병의원	합계
서울/인천/경기	19	38	29	86
강원/충청도	2	14	7	23
전라도	3	15	3	21
경상도	5	27	11	43
제주도	.	3	.	3
합계	29	97	50	176

② 측정 대상 장치 현황

〈표 3〉에는 이번 연구에서 선량정보를 획득한 유방촬영장치가 설치된 의료기관 규모별 영상획득 방법 분포를 나타내었다. 유방촬영 영상획득방법은 필름-스크린(analogue), CR (computed radiography), DR(digital radiography) 방법이 있으며, 필름 공급의 어려움과 노후기기의 교체 등으로 이전에 사용하였던 필름-스크린 방식의 유방촬영은 점차 사라지는 추세에 있다.

조사대상 의료기관 중 상급종합병원에 설치된 전체 29 대의 장치 중 28 대(97 %)가 DR 형식이었으며, 종합병원은 97 대 중 79 대(81 %), 병의원은 50 대 중 33 대(66 %)로 병의원에서의 DR 형식의 비율이 낮았다. 필름-스크린을 사용하는 경우는 이번 조사대상에 포함되지 않았다.

〈표 3〉 유방촬영의 병원규모별 영상획득장치 현황

병원규모	Image Type		합계
	DR	CR	
상급종합	28	1	29
종합병원	79	18	97
병의원	33	17	50
합계	140	36	176

〈표 4〉에는 유방촬영기의 병원규모별 노후화에 따른 현황을 나타내었다. 사용연수 5 년 이하인 장치를 최신장치로 볼 때, 상급종합병원의 29 대 장치 중 12 대(41 %)가 최신 장치였으며, 종합병원은 97 대 중 34 대(35 %), 병의원은 50 대 중 15 대(30 %)로 병원 규모가 클수록 최신 장치를 사용하는 것으로 파악되었다.

〈표 4〉 유방촬영의 노후화에 따른 장치 현황

병원규모	Image Type			합계
	0-5년	6-10년	10년 초과	
상급종합	12	9	8	29
종합병원	34	43	20	97
병의원	15	17	18	50
합계	61	69	46	176

③ 측정 방법

1) 실측 항목

(1) 실측용

병원, 촬영실 방번호, 제조사, 모델명, 제조일자, 장치 검사일자, Image type (①DR, ②CR, ③Film), Target(①Mo, ②Rh, ③W, ④기타), 부가필터(①Mo__mm, ②Rh__mm, ③Al__mm, ④Cu__mm, ⑤기타__mm), 고유여과(①__mm Al, ②__mm Be), Generate wave form(① Three phase, ②Single phase, ③Inverter, ④기타), 검사조건(상하방향(CC)), Technical settings(AEC 여부, kVp, mAs, SID), Grid Ratio, Screen size, 반가층(HVL)(__mm Al), EAK(Entrance Air Kerma), ESD(Entrance Surface Dose) or ESE(Entrance Surface Exposure), AGD(Average Glandular Dose)

(2) 환자 데이터 확보용

병원, 제조사, 모델명, Image type (①DR, ②CR, ③Film), Target(①Mo, ②Rh, ③W, ④기타), 부가필터(①Mo__mm, ②Rh__mm, ③Al__mm, ④Cu__mm, ⑤기타__mm), Inherent Filtration(①__mm Al, ②__mm Be), Generate wave form(①Three phase, ②Single phase, ③Inverter, ④기타), 검사조건(상하방향(CC), 내외사방향(MLO)), Breast Thickness, Technical settings(AEC 여부, kVp, mAs, SID), Grid Ratio, Screen size, ESD(Entrance Surface Dose) or ESE(Entrance Surface Exposure), AGD(Average Glandular Dose), EI(Exposure Index)

(3) 실측표

이를 바탕으로 실측표 [그림 3, 4]를 제작하였다.

항목	촬영실 방번호	제조사	모델명	제조일자	장치 검사일자	Image type	Target	부가필터	Inherent Filtration	Generate wave form
검사조건	Technical settings				Grid Ratio	Screen size		방사선방향	ESD or ESE*	AGD*
상하방향 (CC)	① Yes () ② No ()	kVp	mAs	SID (cm)	①DR ②CR ③Film	① Mo ② Rh ③ W ④ 기타 ()	① Mo () mm ② Rh () mm ③ Cu () mm ④ 기타 () mm	① () mm Al ② () mm Be	① Three Phase ② Single Phase ③ Inverter ④ 기타 ()	
내외사방향 (MLO)	() mm	① Yes () ② No ()						① ESD () mGy ② ESE () mGy	() mGy	() mGy

■ 필수 입력 ■ Unfors 표시값 ■ 유방촬영장치 표시값
 *EAK (Entrance Air KERMA), ESD (Entrance Surface Dose), ESE (Entrance Surface Exposure), AGD (Average Glandular Dose)

[그림 3] 의료기관 방문 시 작성한 유방촬영 실측표

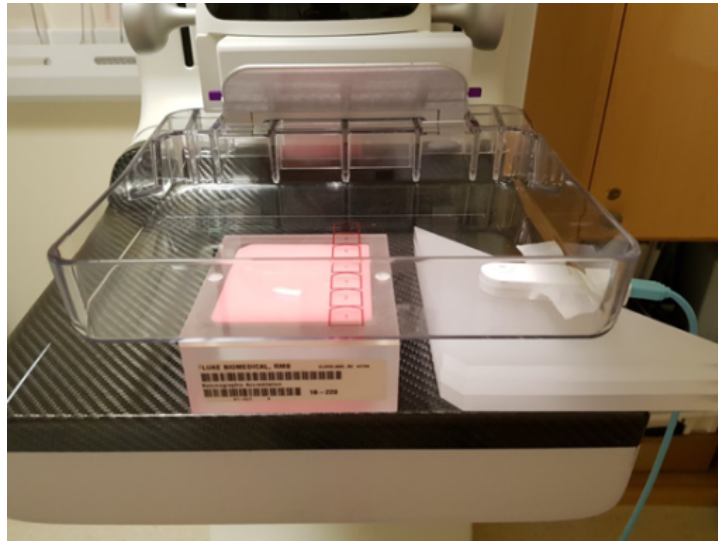
항목	제조사	모델명	Image type	Target	부가필터	Inherent Filtration	Generate wave form		
검사조건	Breast thickness				Technical Settings		ESD or ESE*	AGD*	EI*
상하방향 (CC)	() mm	① Yes () ② No ()	kVp	mAs	SID (cm)		① ESD () mGy ② ESE () mGy	() mGy	
내외사방향 (MLO)	() mm	① Yes () ② No ()					① ESD () mGy ② ESE () mGy	() mGy	

*ESD (Entrance Surface Dose), ESE (Entrance Surface Exposure), AGD (Average Glandular Dose), Exposure Index (EI)

[그림 4] 의료기관 방문 시 작성한 유방촬영 환자 데이터 표

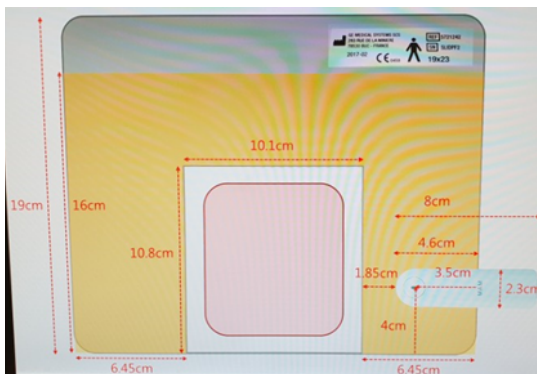
2) 측정장비

이번 연구에서 유방촬영용으로 사용한 팬텀은 4.2 cm 두께의 ACR 팬텀을 사용하였으며, 이 팬텀은 평소 유방촬영장치의 정도관리를 위해 사용이 보편화되어 있다 [그림 5].



[그림 5] ACR 팬텀을 사용한 유방촬영장치 정도관리

유리선량계는 파손의 우려가 있고 측정 준비에 시간이 소요되는 불편함이 있기 때문에, Unfors 서베이미터를 이용하여 측정하였으며 측정 위치를 일정하게 하여 측정오차를 최소화하고자 다음 [그림 6, 7]과 같은 고정대를 만들어 측정을 진행하였다.



[그림 6] 고정대 모식도



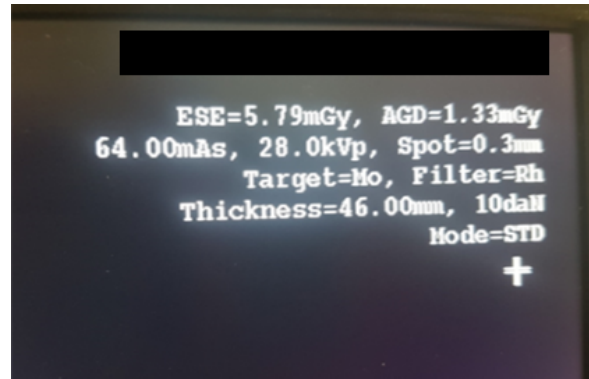
[그림 7] 고정대를 유방촬영장치에 위치한 모습

3) 의료기관 선량 실측 및 선량정보 획득

각 의료 기관을 방문하여 위의 실측표에 실제 사용하는 프로토콜을 작성 후 그것에 맞추어 실제와 같은 표준 촬영 기법으로 측정하였으며 [그림 8], 서버 화면을 통하여 환자의 개인 정보를 제외한 선량 관련 정보만을 수집하였다 [그림 9].



[그림 8] 유방촬영 선량 실측 방법

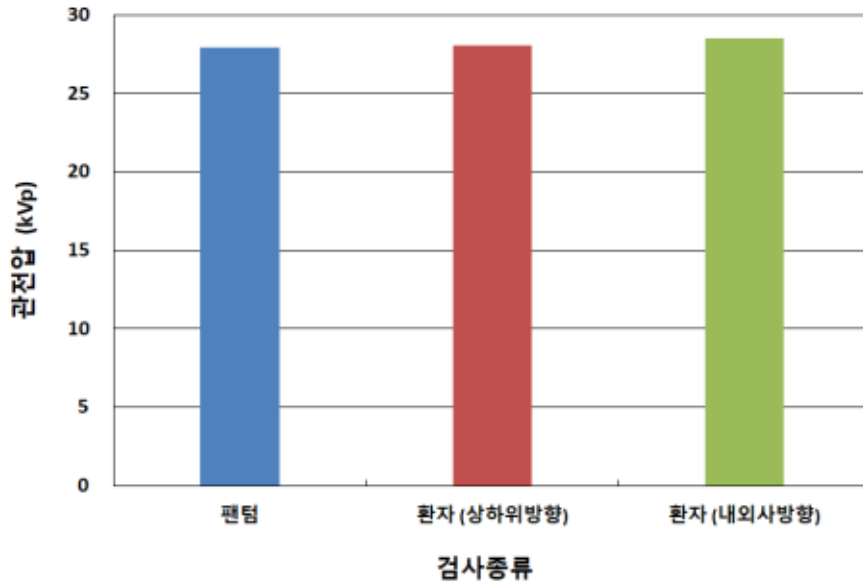


[그림 9] 유방촬영 환자선량 정보 수집 화면

4 촬영 조건 분석

1) 관전압 (kVp)

[그림 10]에는 조사방법 및 검사종류별 평균 관전압을 나타내었으며, 표 5에는 이에 대한 통계치를 나타내었다. 관전압의 경우 팬텀 및 환자영상 이용 시 모두 28 kVp 수준으로 큰 차이가 나타나지 않았다.



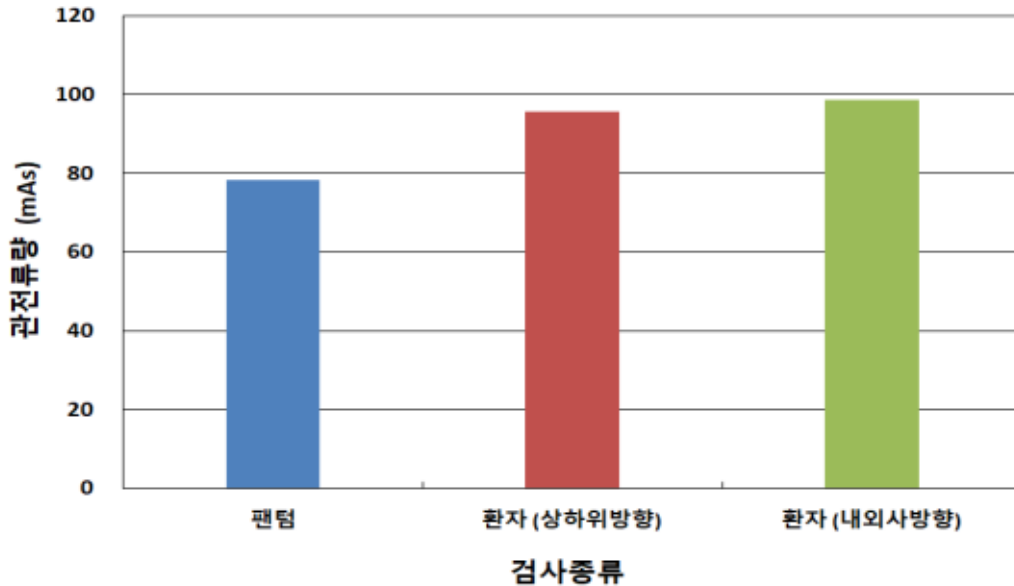
[그림 10] 조사방법 및 검사종류별 평균 관전압

<표 5> 유방촬영 검사종류 및 유방두께에 따른 관전압

조사방법 및 검사종류	관전압 (kVp)			
	평균	1사분위	중간값	3사분위
팬텀 (상하위방향촬영)	27.9	28	28	28
환자 (상하위방향촬영)	28.1	27	28	29
환자 (내외사방향촬영)	28.5	27	28	30

2) 관전류량 (mAs)

[그림 11]에는 조사방법 및 검사종류별 평균 관전류량을 나타내었으며, <표 6>에는 이에 대한 통계치를 나타내었다. 팬텀 이용 시 평균 관전류량은 78 mAs로 나타났으며, 상하위방향촬영, 내외사방향촬영 시 관전류량은 각각 96 mAs, 99 mAs로 환자영상 이용 시 높은 관전류량이 이용되었다.



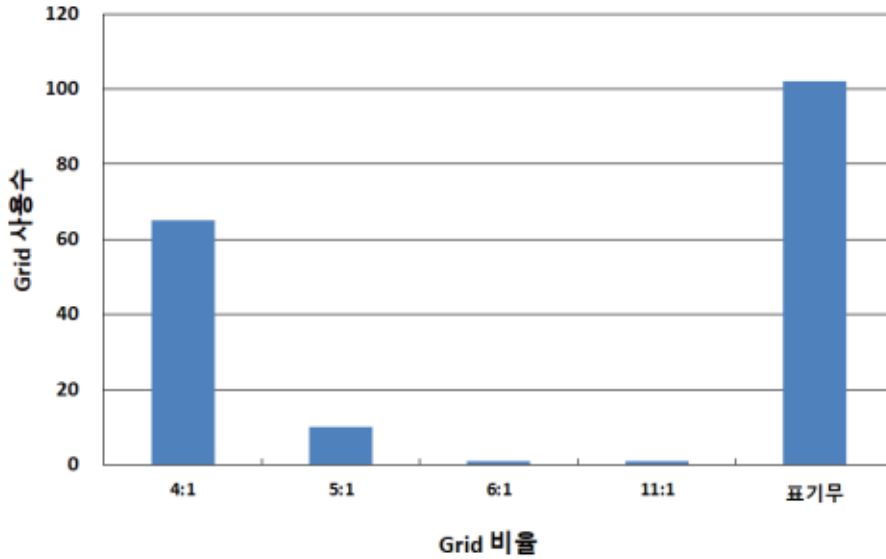
[그림 11] 조사방법 및 검사종류별 평균 관전류량

<표 6> 유방촬영 검사종류에 따른 관전류량

조사방법 및 검사종류	관전류량 (mAs)			
	평균	1사분위	중간값	3사분위
팬텀 (상하위방향촬영)	78	65	80	92
환자 (상하위방향촬영)	96	67	91	117
환자 (내외사방향촬영)	99	73	93	118

3) 그리드 비율

[그림 12]에는 유방촬영 장치의 그리드 비율 사용 통계를 나타내었다. 그리드의 경우 장치의 고유 특성으로 환자에 따라 변경할 수 없기 때문에 장치에 대해서만 분석을 수행하였다. 그리드의 경우 팬텀 이용 시와 환자영상 이용 시 동일한 그리드를 이용한다. 그리드 비율 4:1인 장치가 65 대(약 36 %)로 가장 높은 사용빈도를 나타내었으며, 5:1인 장치가 10 대(약 6 %)로 나타났다.



[그림 12] 유방촬영장치의 그리드 비율에 따른 사용 수

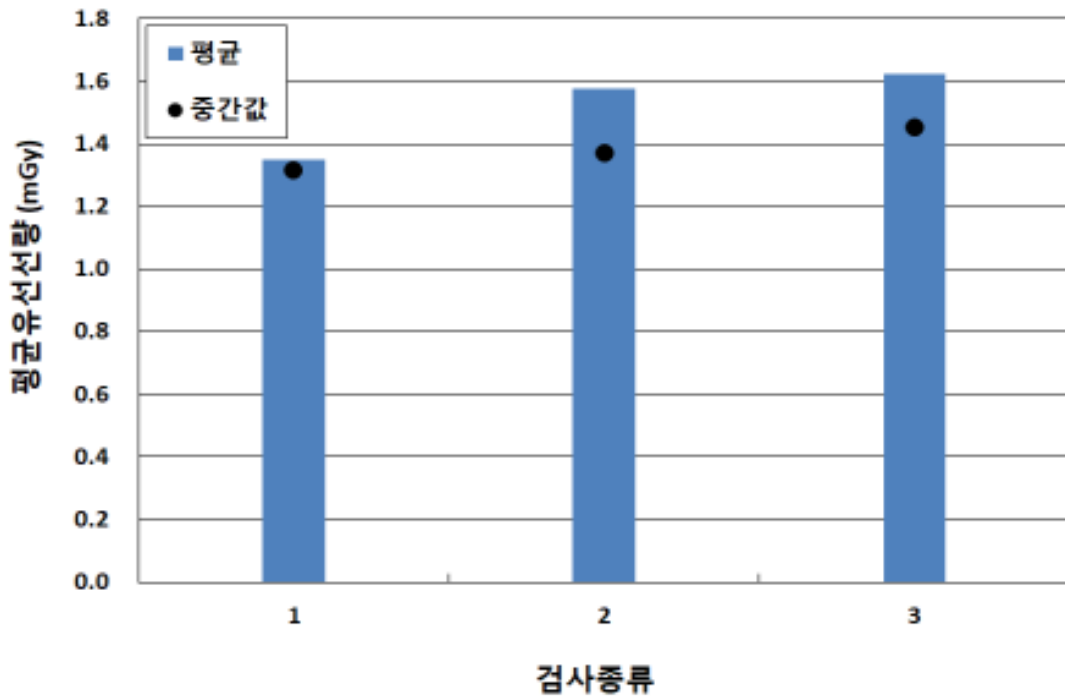
5 환자선량 측정 결과

국제방사선방어위원회(ICRP)에서는 유방촬영에 대한 방사선량을 나타내기 위해 입사표면공기커마(ESAK), 입사공기커마(EAK), 평균유선선량(AGD)을 제시하고 있다. 입사표면공기커마와 입사공기커마의 경우 측정이 가능하며, 평균유선선량의 경우 직접 측정이 어렵다. 국제방사선방어위원회에서는 유방에 대한 방사선학적 위험도 평가에 용이한 평균유선선량을 사용하도록 제시하고 있다. 본 연구에서는 측정된 입사공기커마 값을 이용하여 평균유선선량을 도출하였다.

(1) 조사방법 및 검사종류별 평균유선선량

[그림 13], <표 7>에는 유방촬영에 대한 조사방법 및 검사종류에 따른 평균유선선량의 통계치를 나타내었다. 이 연구에서는 유방촬영검사의 평균유선선량을 팬텀과 환자 데이터(MLO,CC)에서 확보하였다. 2007년에는 CIRS 사의 4.5 cm 팬텀을 사용하였고, 이번 연구에서는 일반적으로 유방촬영장치 품질관리에 국제적으로 널리 사용되는 ACR 4.2 cm 팬텀을 이용하였다.

일반적으로 팬텀이 두꺼울수록 선량이 높아지지만, 2007년 16대 장치에 대한 팬텀 선량측정 결과 ACR 팬텀이 CIRS사 4.5 cm 팬텀보다 약 6 % 높은 선량을 나타내었다. 유방촬영 검사의 진단참고수준은 환자와 팬텀에서 모두 얻는 것이 적절하다. 이번 연구에서는 이전 실측조사 결과와의 비교를 위하여 팬텀을 사용하였으며, 실제 환자 데이터도 확보하여 진단참고수준 설정의 기본데이터를 확보하였다. 4.2 cm 유방팬텀을 이용하여 측정된 평균유선선량의 평균, 중간값은 각각 1.35 mGy, 1.32 mGy로 나타나다. 환자영상을 이용한 상하위방향촬영의 경우 유방두께는 평균 4.4 cm 였으며, 평균유선선량의 평균값과 중간값은 각각 1.6 mGy, 1.4 mGy로 나타났다. 내외사방향촬영의 경우 유방두께는 평균 4.8 cm였으며, 평균유선선량의 평균, 중간값은 각각 1.6 mGy, 1.5 mGy로 나타났다. 내외사방향촬영의 평균유선선량은 상하위방향촬영보다 평균값, 중간값에 대해 각각 약 3 %, 6 % 높게 나타났다. 이는 내외사방향 촬영이 유방의 가장 많은 조직을 포함하므로 압박두께가 상하위촬영 시 보다 유방두께가 증가하기 때문이다. 미국의 경우 4.2 cm 정도의 압박두께를 가지는 유방의 경우 대부분 fatty breast인 경우가 많지만, 우리나라는 압박두께가 같더라도 치밀유방인 경우가 많으므로 이는 실제 임상현장을 잘 반영하는 결과라 할 수 있다.



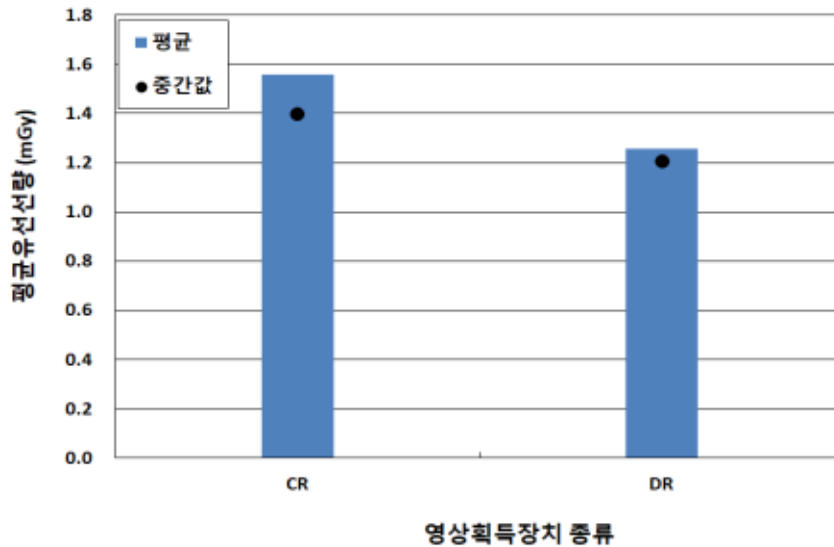
[그림 13] 조사방향 및 검사종류(1.팬텀(상하위방향촬영), 2.환자(상하위방향촬영), 3.환자(내외사방향촬영))에 따른 평균유선선량

<표 7> 조사방법 및 검사종류에 따른 평균유선선량 통계

조사방법 및 검사종류	평균유선선량 (mGy)			
	평균	1사분위	중간값	3사분위
팬텀 (상하위방향촬영)	1.35	1.04	1.32	1.59
환자 (상하위방향촬영)	1.58	1.06	1.37	1.97
환자 (내외사방향촬영)	1.62	1.14	1.46	1.98

(2) 영상획득장치별 평균유선선량

[그림 14], <표 8>에는 팬텀을 이용하여 측정한 영상획득장치별 평균유선선량의 통계를 나타내었다. CR 방식은 환자 영상에 선량정보가 표시되지 않았으며, 평균유선선량은 CR 방식이 DR 방식보다 약 19 % 높게 나타났다. 관용도가 떨어지는 장치의 경우 재촬영을 감소하기 위해 검사조건을 높이는 경향이 있어, CR 방식에서 상대적으로 높은 선량 값을 나타내는 원인으로 보인다.



[그림 14] 영상획득장치 종류에 따른 평균유선선량

<표 8> 영상획득장치 종류에 따른 평균유선선량

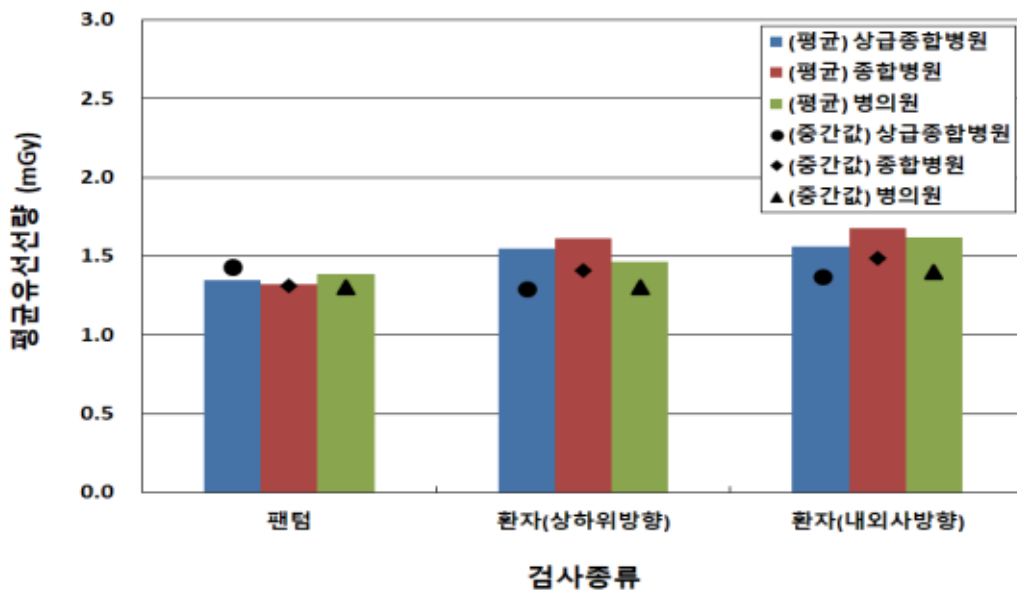
검사종류	평균유선선량 (mGy)			
	평균		3사분위	
	CR	DR	CR	DR
팬텀 (상하위방향촬영)	1.6	1.3	1.8	1.6

^a 컴퓨터영상(Computed Radiography; CR)

^b 디지털영상(Digital Radiography; DR)

(3) 의료기관 규모별 평균유선선량

[그림 15]와 <표 9>에는 조사방법 및 검사종류에 따른 의료기관 규모별 평균유선선량을 나타내었다. 팬텀을 이용하여 측정된 평균유선선량은 의료기관 규모에 따른 차이가 미비하였고, 실제 환자영상을 이용하여 수집한 평균유선선량은 병원에서 가장 낮고, 종합병원이 가장 높은 것으로 나타났다. 방사선량은 화질과 밀접한 연관이 있기 때문에, 우리나라와 같이 치밀유방이 많은 경우에는 화질을 고려하여 수동모드로 검사를 하는 경우가 많아, 실제 환자선량과 팬텀으로 측정된 방사선량이 차이가 생기는데, 자동모드로 세팅된 값을 그대로 사용하는 경우에는 환자선량과 팬텀 선량의 차이가 없을 가능성이 높다. 이러한 부분을 고려하기 위해서는 추후 연구에서 방사선량 뿐 아니라 영상 화질조사를 함께 시행할 필요가 있다.



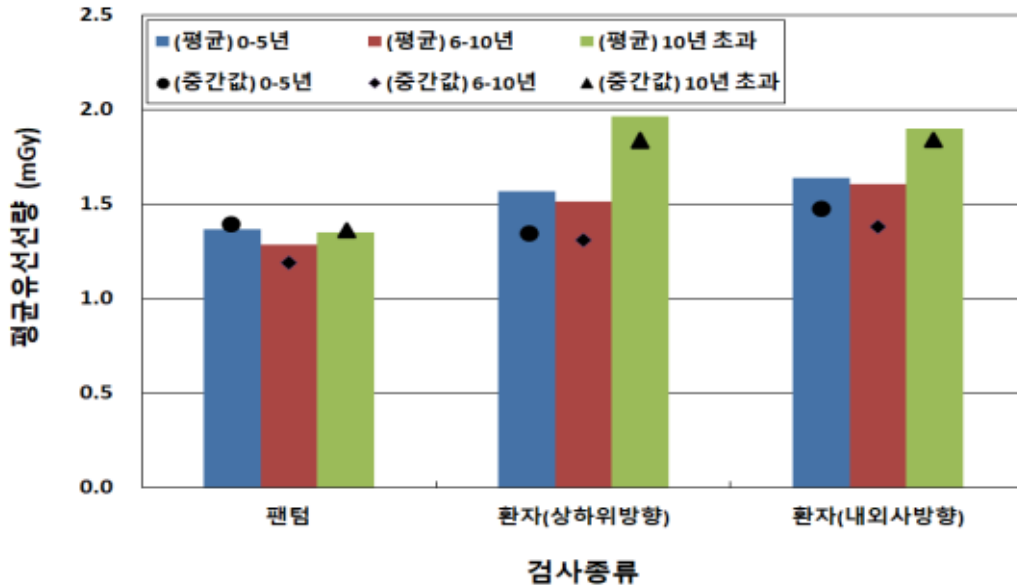
[그림 15] 조사방법 및 검사종류에 따른 병원규모별 평균유선선량

<표 9> 조사방법 및 검사종류에 따른 병원규모별 평균유선선량 통계치

조사방법 및 검사종류	평균유선선량 (mGy)			3사분위 평균유선선량 (mGy)		
	상급종합	종합병원	병원	상급종합	종합병원	병원
팬텀 (상하위방향촬영)	1.4	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6
환자 (상하위방향촬영)	1.6	1.6	1.5	1.8	2.0	1.8
환자 (내외사방향촬영)	1.6	1.7	1.6	1.9	2.1	1.8

(4) 유방촬영 장치의 노후화 정도에 따른 평균유선선량

[그림 16]과 <표 10>에는 조사방법 및 검사종류별 장치 노후화 정도에 따른 평균유선선량을 나타내었다. 통계에는 제조연도 파악이 불가능한 장치는 제외되었다. 일반적으로 팬텀을 이용하여 측정한 경우, 장치 노후화에 따른 평균유선선량은 약 6 % 이내의 유사한 선량을 나타내었다. 하지만 환자 영상을 이용하여 조사한 평균유선선량 통계에서는 10 년 이상의 장치에서 5 년 이하와, 5-10 년 장치보다 약 15-20 % 높은 평균유선선량을 나타내어, 노후된 장치에서 선량이 증가하는 경향을 보였다. 실제 환자 검사 정보를 통해 이런 결과가 나온 점을 고려할 때, 노후 장치의 관리가 필수적이라는 점을 알 수 있다.



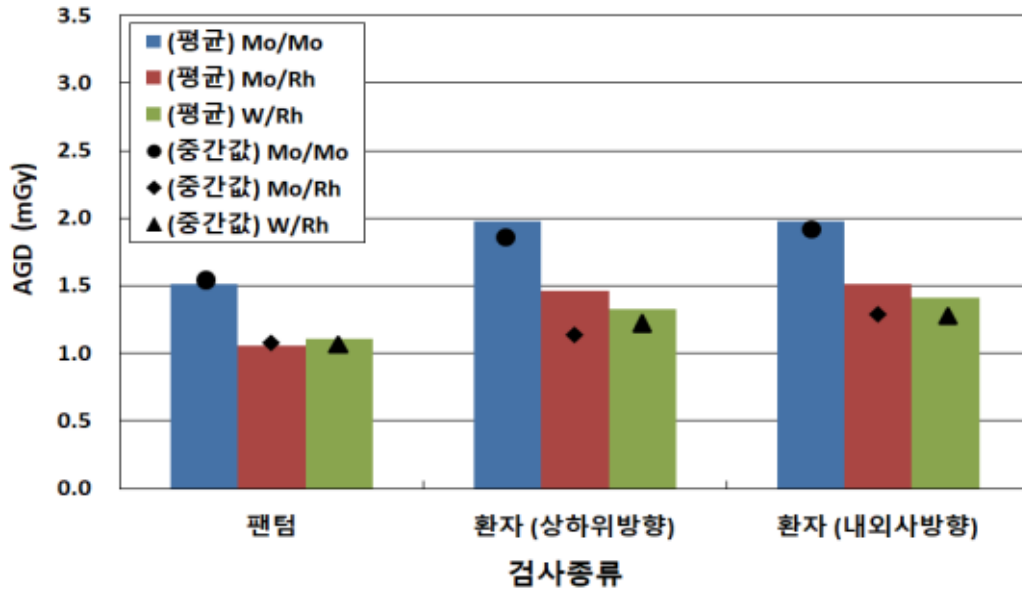
[그림 16] 조사방법 및 검사종류별 장치 노후화에 따른 평균유선선량

<표 10> 유방촬영 장치 노후화에 따른 평균유선선량 통계

조사방법 및 검사종류	평균유선선량 (mGy)			3사분위 평균유선선량 (mGy)		
	0-5 년	6-10 년	10 년 초과	0-5 년	6-10 년	10 년 초과
팬텀 (상하위방향촬영)	1.4	1.3	1.4	1.6	1.6	1.6
환자 (상하위방향촬영)	1.6	1.5	2.0	2.0	1.8	2.5
환자 (내외사방향촬영)	1.6	1.6	1.9	2.0	1.9	2.2

(5) 유방촬영 장치의 초점 및 필터 물질에 따른 평균유선선량

[그림 17]과 <표 11>에는 조사방법 및 검사종류별 초점/필터 물질 조합에 따른 평균유선선량을 나타내었다. 초점 및 필터에 따른 평균유선선량은 Mo/Mo에서 가장 높은 평균유선선량을 나타내었으며, 팬텀, 상하위방향촬영, 내외사방향촬영 시 W/Rh보다 각각 36 %, 49 %, 40 % 높은 선량을 나타냈다.



[그림 17] 조사방법 및 검사종류별 타겟 및 필터에 따른 평균유선선량

<표 11> 조사방법 및 검사종류별 타겟 및 필터에 따른 평균유선선량 통계

조사방법 및 검사종류	평균유선선량 (mGy)			3사분위 평균유선선량 (mGy)		
	Mo/Mo	Mo/Rh	W/Rh	Mo/Mo	Mo/Rh	W/AI
팬텀 (상하위방향촬영)	1.51	1.97	1.98	1.7	2.4	2.4
환자 (상하위방향촬영)	1.06	1.47	1.51	1.3	1.8	1.7
환자 (내외사방향촬영)	1.11	1.33	1.41	1.2	1.5	1.6

6 진단참고수준

본 연구에서는 팬텀을 이용한 실측 방사선량과 환자 영상을 이용한 수집 방사선량을 이용하여 유방촬영에 대한 진단참고수준을 도출하였다. 4.2 cm 두께의 ACR 팬텀을 이용하여 도출한 평균 유선선량의 3사분위는 1.6 mGy로 나타났으며, 환자영상을 이용한 상하위 유방촬영 및 내외사방향 유방촬영의 3사분위 평균유선선량 값은 각각 2.0 mGy, 2.0 mGy로 나타났다 <표 12>.

〈표 12〉 유방촬영에서의 선량 제 3사분위값

검사종류	삼사분위수 (mGy)		
	ACR phantom	환자 (CC)	환자 (MLO)
유방촬영	1.6	2.0	2.0

〈표 13〉에서는 본 연구에서 도출한 유방촬영에 대한 진단참고수준과 문헌조사를 통해 수집한 각국의 진단참고수준 및 설정방법을 비교하여 나타내었다. 2007년 한국, 오스트레일리아, 미국의 경우 유방팬텀을 이용하여 측정된 입사표면공기커마와 Wu et al의 환산인자를 이용하여 평균유선선량을 도출하였다. 팬텀을 이용하여 도출된 평균유선선량은 영상획득장치 종류(DR, CR, 필름-스크린)에 따라 3사분위 평균유선선량을 제시하며, 일반적으로 유방촬영 시 DR을 이용한 경우 CR, SFM보다 낮은 평균유선선량을 나타내었다.

일본, 아일랜드, 유럽, 북아메리카, 아시아-태평양 등 국가 및 연합에서는 환자 진단 시 추정 또는 측정된 입사표면공기커마와 Dance et al의 환산인자를 이용하여 평균유선선량을 도출 하였다. 환자 진단정보를 이용하여 도출된 평균유선선량은 검사종류(상하위방향촬영, 내외사방향 촬영), 평균 압박유방두께, 영상획득장치, 표준 압박유방두께 등에 따라 3사분위 평균유선선량을 제시하였다. 표준 압박유방두께란 유방팬텀을 이용한 진단참고수준의 결과와 비교하기 위해 유방팬텀의 두께와 유사한 환자의 유방두께 범위를 의미한다. 일반적으로 상하위방향촬영의 평균유선선량이 내외사방향보다 낮게 나타났으며, DR 이용 시 필름-스크린 방식의 평균유선선량보다 낮게 나타났다.

〈표 13〉 국가별 유방촬영에 대한 진단참고수준 및 설정 방법 비교

국가	측정방법 / 환산인자	팬텀(두께/유선)또는 환자	3사분위 AGD (mGy)
한국 (본 연구)	ACR/Wu et al	ACR phantom (4.2 cm/50 %) 환자(CC): 4.4 cm 환자(MLO): 4.7 cm	팬텀: 1.6 환자(CC): 2.0 환자(MLO): 2.0
한국 (2007)	ACR/Wu et al	CIRS phantom (4.5cm/50 %)	1.36
오스트레일리아 (2011)	ACR/Wu et al	ACR PMMA (4.5 cm, 50 %)	전체: 1.30 DR: 1.10, CR: 1.36
미국(2007)	ACR/Wu et al	ACR PMMA (4.5 cm, 50 %)	전체: 2.0 DR: 1.92, SFM: 2.04
일본(2014)	EP/Dance et al	SMLO: 3-4 cm MLO: 3.7 cm	SMLO: 2
아일랜드 (2013)	EP/Dance et al	DR: 5.47 cm SFM: 5.23 cm 4.5-5.5 cm 5.5-6.5 cm	DR: 1.5 SFM: 3.17 전체: 1.2 DR: 1.2, SFM: 2.55 전체: 2.47 DR: 1.5, SFM: 3.41
전세계 (2012)	N.A/Dance et al	-	유럽: 1.6 북아메리카: 1.6 아시아-태평양: 1.7
스페인 (2005)	EP/Dance et al	전체: 5.2 cm CC: 4.9 cm MLO: 5.4 cm	전체: 2.1 CC: 2.0 MLO: 2.1

ACR: American College of Radiology
 EP: European Protocol
 DR: Digital Radiography
 CR: Computed Radiography

SFM: Screen-Film Mammography
 SMLO: Standard Mediolateral Oblique
 CC: Cranio-Caudal
 MLO: Mediolateral Oblique

본 연구에서 팬텀을 이용하여 도출한 3사분위 평균유선선량은 2007년 국내와 오스트레일리아보다 각각 18 %, 23 % 높게 나타났으나, 미국보다 20 % 낮은 것으로 나타났다. 환자 정보를 이용하여 도출한 상하위방향촬영 및 내외사방향촬영의 3사분위 평균유선선량은 아일랜드, 유럽 등 국가 및 연합에 비해 높게 나타났다. 우리나라와 유방구조나 크기가 비슷한 일본에서는 2015년에 4,816개 유방촬영기의 평균유선선량을 분석해서 95 백분위수에 해당하는 2.4mGy를 진단참고수준으로 정해 사용하고 있으며, 삼사분위수는 2.0 mGy로 이번 연구와 거의 같은 값을 나타냄을 알 수 있다 [그림 18].

Table1 Compare the percentile of average glandular dose rate

	average glandular dose (mGy)						
	mean	minimum	maximum	50percentile	75percentile	90percentile	95percentile
n=4,816	1.77±0.39	0.60	2.90	1.70	2.00	2.20	2.40

[그림 18] 일본의 유방촬영에 대한 진단참고수준 연구

참고문헌



- 건강보험심사평가원, 건강보험통계연보, 2017
- 질병관리본부 연구결과보고서- 환자 촬영종류별 진단참고수준 마련; 일반촬영: 두부, 흉부, 골반 등 12개 부위 울산대학교산학협력단 2017.
- 국제방사선방어기구, Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging, ICRP 135, 2017
- 식품의약품안전청. 두부 엑스선 일반촬영을 위한 기술 정보, 2010
- 식품의약품안전청, 유방엑스선검사에서의 환자선량 권고량 가이드라인, 2008
- 식품의약품안전청. 복부, 골반, 요추 영상의학 검사에서의 환자선량 권고량 가이드라인, 2011.
- 식품의약품안전청. 소아 일반영상의학검사에서의 환자선량 권고량 가이드라인, 2013
- 식품의약품안전청. 소아 방사선 촬영을 위한 기술정보, 2010
- 식품의약품안전청. 영상의학 검사(일반촬영)에서의 표준 촬영기법, 2014
- 식품의약품안전청. 흉부엑스선검사에서의 환자선량 권고량 가이드라인, 2008
- 식품의약품안전청. 연구결과보고서 - 전산화단층엑스선 검사에서의 환자선량평가연구. 식품의약품안전청; 08142방사선390; 2008.
- 식품의약품안전청. 연구결과보고서 - 지역별 국가환자선량 권고량 개발에 관한 연구 ; 11172방사선524; 2011.
- 국립보건원. 국립보건원보 제 23권. 1984.
- 국립보건원. 국립보건원보 제 26권. 1987.
- 독일연방방사선방어청. 방사선검사 및 핵의학 검사에 적용되는 진단참고수준 공시 2003.
- 식품의약품안전청. 자체최종연구보고서 - 흉부촬영시 환자피폭선량 가이드라인 개발. 식품의약품안전청; 2006.
- 식품의약품안전청. 연구결과보고서 - 유방촬영시 환자피폭선량 진단참고수준 확립. 식품의약품안전청; 07122방사선529; 2007a.

- 식품의약품안전청. 연구결과보고서 - 흉부촬영에서의 진단참고수준 확립. 식품의약품안전청; 07122방사선532; 2007b.
- 식품의약품안전청. 연구결과보고서 - 전산화단층엑스선 검사에서의 환자선량평가연구. 식품의약품안전청; 08142방사선390; 2008.
- 식품의약품안전청. 연구결과보고서 - 지역별 국가환자선량 권고량 개발에 관한 연구 ; 11172방사선524; 2011.
- 원자력안전기술원. 국민방사선 위해도 평가. 원자력안전기술원; KINS/GR-300; 2005.
- 질병관리본부. 연구결과보고서 - 의료방사선 이용에 따른 국민방사선량 평가 연구; 2017.
- 일본방사선기사회. Textbook of Medical Dosimetry: Patient Exposures and Dosimetry for X-ray Procedures. 일본방사선기사회; 2006.
- Bogucarskis K, Salmins A, Gfirtner H, Anatschkowa E. Estimation of patient doses for common diagnostic X-ray examinations in Latvian hospitals, analysis of radiographic techniques and comparison with European guidelines. Radiation Protection Dosimetry 114: 176-179; (2005)
- CRCPD. Nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT): Tabulation and graphical summary of surveys 1984 through 1987. Frankfort, KY: Conference of Radiation Control Program Directors; CRCPD Publication 89-3; 1989.
- CRCPD. Nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT): Evaluation of past impact, current status, and future plans. Frankfort, KY: Conference of Radiation Control Program Directors; CRCPD Publication 90-5; 1990.
- CRCPD. Nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT): Tabulation and graphical summary of the 1998 pediatric chest survey. Frankfort, KY: Conference of Radiation Control Program Directors; CRCPD Publication E-04-5; 2004.
- CRCPD. Nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT): Tabulation and graphical summary of 2001 survey of adult chest radiography. Frankfort, KY: Conference of Radiation Control Program Directors; CRCPD Publication E-05-2; 2005.
- CRCPD. Nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT): Tabulation and graphical summary of 2002 abdomen/lumbosacral spine survey. Frankfort, KY: Conference of Radiation Control Program Directors; CRCPD Publication E-06-2b; 2006.

- CRCPD. Nationwide evaluation of x-ray trends (NEXT): Summary of 2003 fluoroscopy survey. Frankfort, KY: Conference of Radiation Control Program Directors; CRCPD Publication E-09-5; 2009.
- EC. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. Brussels, Belgium: European Commission; EUR 16260; 1996a.
- EC. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Brussels, Belgium: European Commission; EUR 16261; 1996b.
- EC. Radiation protection 109 . Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. Luxembourg: European Commission; 1999.
- Gray JE, Archer BR, Butler PF, Hobbs BB, Mettler FA, Pizzutiello RJ, Schueler BA, Strauss KJ, Suleiman OH, Yaffe MJ, Re AAPMTG. Reference values for diagnostic radiology: Application and impact. *Radiology* 235: 354-358; 2005.
- GSF. The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods, Part I: The male (Adam) and female (Eva) adult mathematical phantoms. München: Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH; GSF-Bericht S-885; 1982.
- HPA. Dose to patients from radiographic and fluoroscopic x-ray imaging procedures in the UK - 2005 Review. Chilton, UK: Health Protection Agency; HPA-RPD-029; 2007.
- HPA. Frequency and collective dose for medical and dental x-ray examinations in the UK, 2008. Chilton, UK: Health Protection Agency; HPA-CRCE-012; 2010.
- HPA. Radiation risks from medical x-ray examinations as a function of the age and sex of the patient Chilton, UK: Health Protection Agency; HPA-CRCE-028; 2011.
- IAEA. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Vienna: International Atomic Energy Agency; Safety Series No. 115; 1996.
- IAEA. International basic safety standards for protection against IAEA ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; Safety Guide No RS-G-1.5; 2002.

- IAEA. Dosimetry in diagnostic radiology: An international code of practice. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; Safety Guide No 457; 2007.
- ICRP. 1990 recommendations of the international commission on radiological protection. International Commission on Radiological Protection; ICRP Publication 60; Ann ICRP 21 (1-3); 1991.
- ICRP. Radiological Protection and Safety in Medicine. International Commission on Radiological Protection; ICRP Publication 73, Ann ICRP 26/2; 1996.
- ICRP. Radiation and your patient: A guide for medical practitioners. New York, NY: International Commission on Radiological Protection; ICRP Supporting Guidance 2; 2001.
- ICRP. Managing patient dose in digital radiology. International Commission on Radiological Protection; ICRP Publication 93; 2004.
- ICRP. The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. New York, NY: International Commission on Radiological Protection; ICRP Publication 103; 2007.
- ICRP. Adult reference computational phantoms. New York, NY: International Commission on Radiological Protection; ICRP 109; 2009.
- ICRU. Patient dosimetry for x rays used in medical imaging. Brussels, Belgium: The international commission on radiation units and measurements; ICRU 74; 2005.
- IPEM. Catalogue of diagnostic x-ray spectra and other data. York, UK: Institute of Physics and Engineering in Medicine; IPEM Report 78; 1997.
- IRPA. How to assess the dose to the patient in diagnostic radiology. Vienna, Austria: International Radiation Protection Association; IRPA 9; 1996.
- Khelassi-Toutaoui N, Berkani Y. Experimental evaluation of PCXMC and prepare codes used in conventional radiology. Radiation protection Dosimetry 131: 374-378, 2008.
- Kim KP, Miller DL. Minimising radiation exposure to physicians performing fluoroscopically guided cardiac catheterisation procedures: a review. Radiation Prot Dosimetry 133: 227-33; 2009.

- Kosunen A, Komppa T, Toivonen M. Evaluation of methods to estimate the patient dose in interventional radiology. *Radiation Protection Dosimetry* 117: 178-184; 2006.
- Kramer R, Khoury H J. MAX06 and FAX06: update of two adult human phantoms for radiation protection dosimetry. *Physics in Medicine and Biology* 51: 3331-3346; 2006.
- Kramer R, Khoury H J. CALDose_X-a software tool for the assessment of organ and tissue absorbed doses, effective dose and cancer risks in diagnostic radiology. *Physics in Medicine and Biology* 53: 6437-6459; 2008.
- Kramer R, Cassola V F. FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces:II. Dosimetric calculations. *Physics in Medicine and Biology* 55: 163-189; 2010.
- Linnet MS, Kim KP, Rajaraman P. Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: epidemiologic and dosimetric considerations. *Pediatr Radiol* 39 Suppl 1: S4-26; 2009.
- Marshall NW, Chapple CL, Kotre CJ. Diagnostic reference levels in interventional radiology. *Physics in Medicine and Biology* 45: 3833-3846; 2000.
- Miller DL, Balter S, Cole PE, Lu HT, Berenstein A, Albert R, Schueler BA, Georgia JD, Noonan PT, Russell EJ, Malisch TW, Vogelzang RL, Geisinger M, Cardella JF, St George J, Miller GL, Anderson J. Radiation doses in interventional radiology procedures: The RAD-IR study - Part II: Skin dose. *Journal of Vascular and Interventional Radiology* 14: 977-990; 2003a.
- Miller DL, Balter S, Cole PE, Lu HT, Schueler BA, Geisinger M, Berenstein A, Albert R, Georgia JD, Noonan PT, Cardella JF, George JS, Russell EJ, Malisch TW, Vogelzang RL, Miller GL, Anderson J. Radiation doses in interventional radiology procedures: The RAD-IR Study - Part I: Overall measures of dose. *Journal of Vascular and Interventional Radiology* 14: 711-727; 2003b.
- NCRP. Medical X-Ray and Gamma-Ray Protection for Energies Up to 10 MeV. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 33; 1968.
- NCRP. Ionizing radiation exposure of the population of the United States.

- Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; NCRP Report No. 160; 2009.
- NRPB. A national survey of doses to patients undergoing a selection of routine X ray exposures in English hospitals Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB-R200; 1986.
- NRPB. Estimation of effective dose in diagnostic radiology from entrance surface dose and dose-area product measurements. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB-R262; 1994.
- NRPB. Dose to patients from medical x-ray examinations in the UK - 1995 Review. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB-R289; 1996.
- NRPB. Reference doses and patient size in paediatric radiology. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB-R318; 2000.
- NRPB. Dose to patients from medical x-ray examinations in the UK - 2000 Review. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB-W14; 2002.
- NRPB/IPSM. Dosimetry working party of the institute of physical sciences in medicine. National protocol for patient measurements in diagnostic radiology. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; 1992.
- ORNL. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. . Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; ORN/TM-8381; 1987.
- Petoussi-Henb N. Panzer W. Zankl M. Drexler G. Dose-area product and body dose. *Radiation protection Dosimetry* 57: 363-366, 1995.
- Simon SL, Weinstock RM, Doody MM, Neton J, Wenzl T, Stewart P, Mohan AK, Yoder RC, Hauptmann M, Freedman DM, Cardarelli J, Feng HA, Bouville A, Linet M. Estimating historical radiation doses to a cohort of U.S. radiologic technologists. *Radiation Research* 166: 174-92; 2006.
- Snyder WS, Fisher HL, Jr., Ford MR, Warner GG. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *J Nucl Med: Suppl* 3:7-52; 1969.
- Spelic DC. Dose and Image Quality in Mammography: Trends during the First Decade of MQSA. 2006.

- STUK. PCXMC 2.0 Userguide. Helsinki, Finland: Radiation and Nuclear Safety Authority; STUK-TR 7, 2008.
- STUK. A monte carlo program for calculating patient dose in medical x-ray examinations. Helsinki, Finland: Radiation and Nuclear Safety Authority; STUK-A231, 2008.
- UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2010.
- User Guide for CALDose_X, version 5.0.
- Vano E, Fernandez JM, Ten JI, Guibelalde E, Gonzalez L, Pedrosa CSA. Real-time measurement and audit of radiation dose to patients undergoing computed radiography. *Radiology* 225: 283-288; 2002.
- Zahringer M, Hesselmann V, Schulte O, Kamm KF, Braun W, Haupt G, Krug B, Lackner K. Reducing the radiation dose during excretory urography: Flat-panel silicon X-ray detector versus computed radiography. *American Journal of Roentgenology* 181: 931-937; 2003.
- Ziliukas J, Morkunas G. Results of a patient dose survey on diagnostic radiology in Lithuania. *Radiation Protection Dosimetry* 114: 172-175; 2005.

진단참고수준 가이드라인 - 유방촬영

발 행 년 월 : 2019년 9월

발 행 인 : 정 은 경

편집위원장 : 박 욱

질병관리본부 질병예방센터 의료방사선과 : 이현구, 이병영, 이정은, 길종원,
박요균, 송승기, 임광래, 김재호,
김현지

발 행 처 : 질병관리본부 질병예방센터 <http://www.cdc.go.kr>
(28159) 충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명2로 187
질병관리본부 의료방사선과
전화 (043) 719-7511~18, 7520~22
FAX (043) 719-7519

진단참고수준 가이드라인

유방촬영

