

심장 전산화단층촬영을 이용한 박출계수 산출 시 박출계수의 보정을 통한 오진율 개선에 관한 연구

A Study on Misdiagnosis Rates of Ejection Fraction Associated with Cardiac Computed Tomography: Suggestions and Correction for Improvement

나사라*, 정미애**

한양대학교 대학원 보건학과*, 강원대학교 치위생학과**

Sa-Ra Na(sarabanana@gmail.com)*, Mi-Ae Jeong(teeth2080@kangwon.ac.kr)**

요약

본 연구는 cardiac CT를 이용한 박출계수 산출 시 cardiac MRI와 물리적 시간 해상도 차이를 분석하여 보정함으로써 cardiac CT의 오진율을 감소시키고자 하였다. 연구 방법은 대동맥판막 역류 질환을 진단받은 138명을 대상으로 cardiac CT와 cardiac MRI의 박출계수를 산출한 후 두 검사 간 물리적 시간 해상도 차이를 cardiac CT의 박출계수에 보정한 다음 신뢰도를 평가하여, 물리적 시간 해상도 차이 보정 전, 후 cardiac CT의 오진율이 개선됐는지 평가 하였다. 연구결과, 물리적 시간 해상도 차이 보정 전 cardiac CT 박출계수의 오진율은 38.4%(53명)로 높게 나왔고, 보정 후 오진율은 23.9%(33명)로 감소하였다. 또한 Bland-Altman plot에서 확인한 보정된 cardiac CT 박출계수는 cardiac MRI의 박출계수와의 일치도가 상당히 높은 것을 알 수 있다. 결론적으로 심장판막 질환 진단시 단순한 cardiac CT의 박출계수만으로 진단하는 것은 오진율을 높일 수 있으므로 cardiac MRI로 물리적 시간 해상도의 차이를 보정하면 오진율을 14.5%(20명) 감소시킬 수 있다. 그러므로 본 연구를 박출계수 산출 시 적용한다면 유용성이 높다고 사료된다.

■ 중심어 : | 좌심실의 박출계수 | 심장 전산화단층촬영 | 심장 자기공명영상 | 심장 판막질환 | 시간 해상도 |

Abstract

The aim of this study was to compare the cardiac CT and cardiac MRI in calculating and correcting the left ventricle ejection fraction by analyzing the physical and temporal resolution for reducing the misdiagnosis rate. One hundred thirty-eight patients with aortic value regurgitation who underwent both cardiac CT and cardiac MRI were analyzed. Left ventricle ejection fractions calculated from each exam were corrected based on the physical and temporal resolution differences and the reliability test evaluated whether the misdiagnosis rate of cardiac CT was improved after the correction. As a result of the study, the misdiagnosis rate of cardiac CT ejection fraction before correcting the difference in physical and temporal resolution was 38.4%(53 persons). In addition, it can be seen that the corrected cardiac CT ejection fraction confirmed in the Bland-Altman plot was highly consistent with the ejection fraction of cardiac MRI. In conclusion, as the cardiac CT is less well suited for measuring ejection fraction, physical characteristics and the time resolution correction using cardiac MRI is needed and the misdiagnosis rate after correction decreased to 14.5%(20 persons). Therefore, this study appears more appropriate for better prediction of ejection fraction and clinical utility.

■ keyword : | Left Ventricle Ejection Fraction | Cardiac Computed Tomography | Cardiac Magnetic Resonance Imaging | Temporal Resolution |

I. 서론

심장 질환 중 심장판막 질환은 인구가 고령화됨에 따라 최근들어 증가하는 추세이다[1]. 이러한 심장판막 질환은 다른 심장질환과는 달리 약물치료만으로는 근본적인 완치가 불가능하기 때문에, 지속적인 추적관찰을 통해 적절한 수술 시기를 결정하는 것이 매우 중요하다[2]. 따라서 여러 가지 검사를 시행하여 종합적으로 질환을 판단해야되기 때문에 다른 심장 질환에 비해 심장판막 질환은 보건 의료비 지출이 상대적으로 높다[3].

심장판막 질환을 평가하는 기준은 여러 가지가 있으나 좌심실의 용적과 심박출량을 기반으로 산출되는 좌심실의 박출계수(left ventricle ejection fraction)가 가장 중요한 평가기준이다[4]. 이러한 좌심실의 박출계수가 중요한 평가기준인 이유는 좌심실의 박출계수는 심장판막 질환의 수술 전, 후 예후평가와 치료방침의 결정에 매우 유용한 것으로 알려져 있으며[4][5], 심장판막 환자 관리를 위한 미국심장협회/미국심장학회의 지침에도 판막질환의 분류 기준으로 좌심실 박출계수가 제시되고 있기 때문이다[6][7].

박출계수는 영상의학 검사로 주로 산출하는데, 좌심실의 박출계수를 산출하는 영상의학 검사에는 심장 초음파(echocardiography)와 심장 전산화단층촬영(cardiac computed tomography, 이하 cardiac CT), 그리고 심장 자기공명영상(cardiac magnetic resonance imaging, 이하 cardiac MRI)이 있다[8]. 박출계수를 산출하는 영상의학적 검사는 검사 별 물리적인 시간 해상도 차이로 인해 각각 다른 산출방식을 채택하기 때문에 서로 다른 값을 나타내어 특정 검사만을 시행하여 진단 할 경우 비정상을 정상으로 판단하는 오진의 원인이 되기도 한다[8-10]. 이러한 문제점을 극복하고자 심장판막 질환 검사 시 초기 진단 검사를 시행한 후 산출된 박출계수의 범위가 정상범위를 벗어나면 추가적으로 확진 검사를 시행하는데, 최근에는 초기 진단을 위한 기본검사로 심장 초음파 보다 cardiac CT가 주로 시행된다[11]. 이러한 이유는 좌심실 형태가 정상이라는 가정하에 산출된 수치를 이용해 박출계수를 산출하는 심장 초음파에 비해 실제 심장 전체의 단면영상을 획득하여 박출계수를 산출하는 cardiac CT가 오차율이 적기 때문이다[12][13]. 그러나 cardiac CT도

심장박동이 빠른 환자의 경우 심장 박동을 느리게 하기 위해 β -blocker를 투여하기 때문에 박출계수의 산출 시 정확성이 저하될 수 있으며 검사기법의 특성 상 시간 해상도가 낮아 박출계수 산출 시 cardiac MRI에 비해 오차가 커지는 단점이 있다[8].

이에 반해 cardiac MRI는 심장 전체를 단면영상으로 얻어 박출계수를 산출하는 측면에선 cardiac CT와 유사하지만, 높은 시간 해상도로 정확성이 높아 좌심실의 기능 평가 시 확진을 위한 기준 검사로 사용된다[9][14]. 그러나 이런 cardiac MRI의 높은 정확성에도 불구하고 임상에서는 초기 진단을 위해 빠른 검사시간과 저비용의 cardiac CT 검사를 시행하여 산출된 박출계수가 정상수치를 벗어날 경우 확진을 위해 고비용의 cardiac MRI를 시행하고 있다[15]. 이러한 이유로 인해 cardiac MRI에 비해 박출계수 산출의 정확성이 떨어지는 cardiac CT에서 오진이 빈번히 나타나며[8], 오진이 나타날 경우 재증상의 호소로 인한 추가적인 검사 시행과 비용 발생, 그리고 무엇보다 중요한 적절한 치료시기를 놓치는 문제점이 발생하고 있다[16]. 이러한 문제점의 가장 좋은 해결방안은 증상을 호소하는 환자에게 cardiac CT와 MRI를 동시에 시행하여 질환을 확진하는 방법이지만, 의료비의 과도한 증가와 물리적, 시간적 제약으로 인해 현실성이 없다.

이에 본 연구에서는 cardiac CT를 이용한 박출계수 산출 시 cardiac MRI와 물리적 시간 해상도 차이를 분석하여 보정함으로써 정상소견의 환자라도 일정 범위의 계수를 나타내면 추가 검사를 권고하여 cardiac CT의 오진율을 감소시키고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

연구대상은 cardiac CT와 cardiac MRI를 병행 시행한 267명의 환자 중 대동맥판막 역류 질환을 진단받은 162명을 대상으로 서울소재 U 대학병원 임상시험센터의 연구승인 아래 환자동의를 받아 진행 하였다. 대상 환자 선정 시 결과의 일반화와 측정의 정확도를 높이기 위해 β -blocker 사용환자와 심장판막 수술자

는 대상에서 제외하였으며, 검사 별 시술이나 약물 사용에 의한 차이를 줄이기 위해 3일 이내에 검사가 이루어진 138명을 최종 대상으로 하였다.

연구 방법은 cardiac CT와 MRI 통해 측정된 좌심실의 이완기말 면적과 수축기말 면적, 일회 심박출 면적을 이용하여 박출계수를 산출한 후 물리적 시간 해상도 차이 보정 전 오진율을 평가한 다음, 두 검사 간 물리적 시간 해상도 차이를 분석하여 회귀계수와 회귀식을 작성하였다. 이후 작성된 회귀식을 이용하여 오진율이 높은 cardiac CT의 박출계수를 보정한 다음 보정한 박출계수의 신뢰도를 평가한 후 최종적으로 물리적 시간 해상도 차이 보정 후 cardiac CT의 오진율이 개선됐는지 재평가 하였다.

Cardiac CT는 128채널의 DSCT(Somatom Definition Flash, Siemens)를 사용하여 영상을 획득하였으며, 영상획득시 사용된 영상변수는 temporal resolution 70ms(rotation time 280ms), slice thickness 0.6mm, beam collimation 3.82cm, reconstruction increment 0.4mm. pitch 0-1, kVp 100-120, mAs 260-420으로 설정하였고, 획득한 영상은 cardiac functional analysis software(Vital Images Inc., Plymouth, USA)를 이용하여 이완기말 면적과 수축기말 면적, 일회 심박출 면적을 측정하였다.

Cardiac MRI는 1.5 Tesla 초전도 자기공명영상장치(Magnetom Avanto, Siemens)를 이용하여 경사회 복에코영상기법(gradient recalled echo cine sequence)으로 영상을 획득하였으며, 영상획득시 사용된 영상변수는 TR 38.85ms, TE 1.1ms, matrix 113×192, thickness 8mm, slice 14, segment 15, calculated phase 35로 설정하였고, 획득한 영상은 argus software(Siemens medical system)을 이용하여 이완기말 면적과 수축기말 면적, 일회 심박출 면적을 측정하였다.

박출계수의 산출은 측정된 이완기말 면적과 수축기말 면적, 일회 심박출 면적을 식 1을 통해 각각 산출하여 기술통계를 통해 평균과 표준편차로 나타내었고, 각각 산출된 박출계수는 박출계수 정상수치 범위와 비교하여 식 2를 통해 물리적 시간 해상도 차이 보정 전 오

진율을 평가하였다[Table 1].

$$E_f = \frac{SA}{EDA} = \frac{EDA - ESA}{EDA} \quad (1)$$

- Ef : 박출계수(ejection fraction)
- EDA: 이완기말 면적(end diastolic area)
- ESA: 수축기말 면적(end systolic area)
- SA: 일회 심박출 면적(stroke area)

Table 1. Reference values of cardiac CT and cardiac MRI in normal adults

Measurement(unit)	Male	Female
EDA(ml)	77~195	77~195
ESA(ml)	19~72	19~72
SA(ml)	51~133	51~133
Ef(%)	56~78	56~78

$$\text{오진율} = \frac{\text{불일치횟수}}{\text{진단횟수}} \times 100 \quad (2)$$

Cardiac CT와 cardiac MRI의 물리적 시간 해상도 차이의 보정은 두 박출계수 간 상관관계를 파악한 후 선형회귀분석(SPSS version 25, IBM)을 통해 회귀식을 작성하여 오차율이 높은 cardiac CT의 박출계수를 보정하였고, 보정된 cardiac CT 박출계수의 신뢰도는 Bland-Altman plot(MedCalc version 19)을 이용하여 분석한 다음, 최종적으로 보정된 cardiac CT의 박출계수를 박출계수 정상수치 범위와 다시 비교 함으로써 물리적 시간 해상도 차이 보정 후 cardiac CT의 오진율이 개선됐는지 재평가 하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 인구 사회학적 특성

연구 대상자의 인구 사회학적 특성은 남성이 86명, 여성이 52명 이었고, 평균연령은 57.7±12.7세로 나타났다[Table 2].

Table 2. Sociodemographic characteristics

Classification		Number of patient	Percent (%)
Gender	male	86	62.3
	female	52	37.7
Age	40 under	10	7.2
	40 ~ 49	16	11.6
	50 ~ 59	28	20.3
	60 ~ 69	50	36.2
	70 up	34	24.6

2. 물리적 시간 해상도 차이의 보정 전 오진율

Cardiac CT와 cardiac MRI의 좌심실 박출계수를 정상 수치 범위와 비교하여 각각 물리적 시간 해상도 차이의 보정 전 오진율을 평가한 결과, 138명의 환자 중 cardiac CT가 38.4%(53명)로 cardiac MRI 27.5%(38명) 보다 높게 나타냈다[Table 3].

Table 3. Misdiagnosis rate of physical time resolution before correction

	Cardiac CT	Cardiac MRI
Match(N)	85	100
Mismatch(N)	53	38
Error rate(%)	38.4	27.5

3. Cardiac CT와 cardiac MRI 간 측정지표의 측정결과

Cardiac CT와 cardiac MRI 간 측정지표 측정치는 이완기말 좌심실용적은 cardiac CT가 208.98±82.21ml, cardiac MRI가 242.65±99.00ml 이었고(p<0.01), 수축기말 좌심실용적은 cardiac CT가 108.65±64.58ml, cardiac MRI가 142.02±81.56ml 이었다(p<0.01). 위 측정치들을 바탕으로 구한 심박출량은 cardiac CT가 100.33±38.47ml, cardiac MRI가 100.66±44.16ml 이었으며(p<0.01), 최종 박출계수는 각각 50.42±15.98%, 44.01±16.13%로 산출되었다 (p<0.01)[Table 4].

Table 4. Results measured with cardiac CT and cardiac MRI

Measurement (unit)	Cardiac CT (mean±SD)	Cardiac MRI (mean±SD)
EDV(ml)	208.98±82.21	242.65±99.00
ESV(ml)	108.65±64.58	142.02±81.56
SV(ml)	100.33±38.47	100.66±44.16
LVEF(%)	50.42±15.98	44.01±16.13

4. Cardiac CT와 cardiac MRI의 연관성

Cardiac CT와 cardiac MRI 간 측정지표 측정치의 연관성을 알아보기 위해 상관분석을 시행한 결과, 이완기말 좌심실용적은 양의 상관관계를 보였고 (r=0.966, p<0.01), 수축기말 좌심실용적도 양의 상관관계를 보였다(r=0.962, p<0.01). 심박출량은 다른 측정치에 비해 상관계수가 낮았으나(r=0.823, p<0.01), 통계적으로 매우 유의하였고, 박출계수도 심박출량과 마찬가지로 상관계수가 낮았으나 통계적으로 매우 유의하였다 (r=0.834, p<0.01)[Fig. 1]. 이는 cardiac CT와 cardiac MRI의 측정치 모두 직선형의 강한 양의 상관관계를 나타내므로 선형회귀분석에 적합한 것을 의미한다.

두 측정치 간 상관관계를 분석한 후 cardiac CT와 cardiac MRI의 박출계수가 어떤 연관성이 있는지 선형회귀분석을 시행한 결과, R제곱 통계량이 0.696으로 회귀모형의 설명력이 높음을 알 수 있다. 오차의 독립성을 체크한 결과 Durbin-Watson 값이 1.950으로 독립성이 만족되며, 분산분석을 시행한 결과 F검정 통계량이 137.194로(p<0.000), cardiac CT의 박출계수가 유의미한 설명변수임을 예측할 수 있다. 회귀계수의 경우 회귀절편이 -1.557이고 기울기가 0.842로 나타났는데, 이는 cardiac CT의 박출계수가 한단계 증가할 때마다 평균적으로 cardiac MRI의 박출계수는 0.842로 유의하게 증가함을 의미한다.

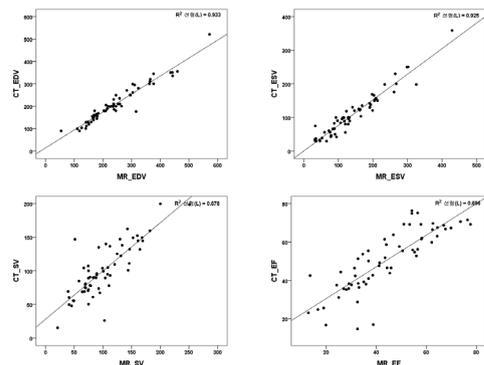


Fig. 1. Scatter diagram of cardiac CT and cardiac MRI

5. 회귀식을 통한 물리적 시간 해상도 차이의 보정

Cardiac CT와 cardiac MRI의 물리적 시간 해상도 차이인 $y = 1.557 + (0.842 \cdot x1)$ 의 회귀식을 이용하여 오진율이 높은 cardiac CT의 박출계수를 보정한 결과, 실제 산출된 보정 전 박출계수는 $50.42 \pm 15.98\%$ 였고, 회귀식에 의해 보정하여 산출된 보정 후 박출계수는 $44.01 \pm 13.45\%$ 로 나타나 6.41(12.71%)의 차이를 보였다[Table 5].

Table 5. Corrected ejection fraction of the cardiac CT using the regression factor

	Before compensation	After compensation
Measurement (mean±SD)	50.42±15.98%	44.01±13.45%

6. 보정된 cardiac CT 박출계수의 신뢰도 평가

Cardiac CT의 박출계수에 대한 기술품이 0.842임을 이용하여 cardiac CT 박출계수를 보정한 후, 보정된 cardiac CT 박출계수가 cardiac MRI 박출계수와 일치하는지 평가하기 위해 Bland-Altman plot을 시행한 결과, cardiac CT 박출계수와 cardiac MRI 박출계수는 일치도가 상당히 높은 것을 육안으로 확인할 수 있으며 관찰치의 차이와 평균 간에 관련성이 없고 random하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 불일치의 크기가 두 검사 방법 간 환자 수와 관련이 없음을 의미한다[Fig. 2].

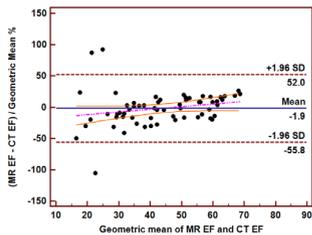


Fig. 2. Bland-Altman plot of cardiac CT after correction

7. 물리적 시간 해상도 차이의 보정 후 오진율

물리적 시간 해상도 차이를 보정한 cardiac CT의 박출계수를 박출계수 정상수치 범위와 다시 비교하여 물리적 시간 해상도 차이의 보정 후 오진율을 재평가한 결과, 보정 전 38.4%(53명)의 오진율이 보정 후

23.9%(33명)로 14.5%(20명) 감소하였다[Table 6].

Table 6. Misdiagnosis rate of physical time resolution after correction

	Before compensation	After compensation
Match(N)	85	105
Mismatch(N)	53	33
Error rate(%)	38.4	23.9

IV. 고찰

심장판막 질환을 진단하기 위한 박출계수의 산출은 검사별 산출 방법이 다르므로 특정 검사가 진단력이 우수하다고 단정하기는 어렵다. 따라서 상호 보완적인 검사를 통해 진단율을 높이는 것이 무엇보다도 중요한데, 기본 검사를 토대로 확정 검사를 시행하는 경우는 정상과 비정상의 경계에 계수값이 존재하는 경우 오진을 유발할 개연성이 높다[15][17]. 따라서 검사별 물리적 특성 원리를 고려한 보정에 관한 연구가 무엇보다도 중요한데[18], 저자들은 박출계수를 산출하는 영상의학 검사 중 cardiac CT를 이용한 박출계수 산출 시 cardiac MRI와 물리적 시간 해상도 차이를 분석하여 보정함으로써 정상소견의 환자라도 일정 범위의 계수를 나타내면 추가 검사를 권고하여 기본검사인 cardiac CT의 오진율을 감소시키고자 하였다.

연구 결과, cardiac CT로 측정된 측정지표의 측정치는 cardiac MRI와 밀접한 상관관계를 나타내었는데, cardiac MRI로 측정된 이완기말 좌심실 용적은 cardiac CT의 결과와 유사하다는 Juergens 등[19]과, 두 결과가 밀접한 상관관계가 있음을 보고한 Guo 등[9]의 연구와 일치하였다. 또한 cardiac MRI와 cardiac CT의 측정치는 Guo 등[9]의 0.92와 Juergens 등[19]의 0.93과 같이 유의한 상관관계를 보였는데, 본 연구에서도 이완기말용적 0.966, 수축기말용적 0.962, 심박출량 0.823, 박출계수 0.834로 매우 강한 양의 상관관계의 유사한 결과를 보였다.

Cardiac CT와 cardiac MRI의 좌심실 박출계수를 정상수치 범위와 비교하여 오진율을 평가한 결과, 138명의 환자 중 cardiac CT는 53명(38.4%)으로

cardiac MRI의 38명(27.5%)에 비해 오진율이 매우 높음을 알 수 있었다. 이는 cardiac CT의 검사 기법 상 특성에 의한 것으로 두 검사간 물리적 시간 해상도 차이와 측정방법의 차이에서 기인한다. 즉, cardiac CT의 시간분해능은 70ms로 cardiac MRI의 39.78ms에 비해 영상획득시간이 느리며[20], cardiac CT와 cardiac MRI는 short axis 영상에서 심근 내, 외피를 그리는 방법은 동일하지만, cardiac MRI는 그려진 영역을 똑같이 계산하는 반면, cardiac CT는 정해진 위치 값에 해당하는 영역만을 계산하기 때문이다.

오진율의 개선을 위해 두 검사간 물리적 시간 해상도 차이를 분석하여 나타난 계수를 cardiac CT의 박출계수에 보정한 결과, cardiac CT의 오진율이 보정 전 38.4%(53명)에서 보정 후 23.9%(33명)로 14.5%(20명) 감소하였다. 이는 cardiac MRI와 동등한 수치로 Bland-Altman plot을 통해서도 cardiac MRI의 박출계수와 일치도가 상당히 높음을 알 수 있는데, 이와 같은 결과는 진단력이 높은 cardiac MRI와 물리적 시간 해상도 차이를 cardiac CT의 박출계수에 보정함으로써 오진율의 감소와 진단력의 향상을 가져왔음을 의미한다.

본 연구는 다양한 심장판막 질환 중 대동맥판막 역류 질환에 국한되었다는 제한점이 있다. 향후 다양한 판막 질환을 대상으로도 저자들의 연구 결과가 적용되는지 연구가 필요할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구결과에서 확인하였듯이 단순히 cardiac CT로 산출된 박출계수로 심장판막 질환을 진단하는 것은 오진율을 높일 수 있으므로 검사 간 물리적 특성을 고려한 시간 해상도 차이를 보정하는 것이 무엇보다도 중요하며 오진률 감소를 확인할 수 있으므로 cardiac CT를 이용한 박출계수 산출 시 박출계수의 보정은 임상 적용에 유용성이 높다고 사료된다.

참고 문헌

- [1] S. Y. Jang, E. Y. Ju, S. R. Seo, J. Y. Choi, S. J. Park, D. K. Kim, and S. W. Park, "Changes in the etiology of valvular heart disease in the rapidly aging Korean population," *International journal of cardiology*, Vol.174, No.2, pp.355-359, 2014.
- [2] T. Wisenbaugh, D. Skudicky, and P. Sareli, "Prediction of outcome after valve replacement for rheumatic mitral regurgitation in the era of chordal preservation," *Circulation*, Vol.89, No.1, pp.191-197, 1994.
- [3] K. S. Dujardin, M. Enriquez-Sarano, H. V. Schaff, K. R. Bailey, J. B. Seward, and A. J. Tajik, "Mortality and morbidity of aortic regurgitation in clinical practice: a long-term follow-up study," *Circulation*, Vol.99, No.14, pp.1851-1857, 1999.
- [4] Y. M. Hong and E. C. Chung, "Comparison between Echocardiography and Cardiac Cine-MRI: Left Ventricular Volume and Cardiac Output," *The Ewha Medical Journal*, Vol.15, No.4, pp.327-335, 1992.
- [5] P. Angaran, P. Dorian, A. C. Ha, P. Thavendiranathan, W. Tsang, H. Leong-Poi, A. Woo, B. Dias, X. Wang, P. C. Austin, and D. S. Lee, "Association of left ventricular ejection fraction with mortality and hospitalizations," *Journal of the American Society of Echocardiography*, Vol.33, No.7, pp.802-811, 2020.
- [6] R. M. Lang, L. P. Badano, V. Mor-Avi, J. Afilalo, A. Armstrong, L. Ernande, F. A. Flachskampf, E. Foster, S. A. Goldstein, T. Kuznetsova, P. Lancellotti, D. Muraru, M. H. Picard, E. R. Rietzschel, L. Rudski, K. T. Spencer, W. Tsang, and J. Voigt, "Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging," *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, Vol.16, No.3, pp.233-271, 2015.
- [7] R. A. Nishimura, C. M. Otto, R. O. Bonow, B. A. Carabello, J. P. Erwin, R. A. Guyton, and T. M. Sundt, "2014 AHA/ACC guideline for the

- management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines,” *Journal of the American College of Cardiology*, Vol.63, No.22, pp.e57-e185, 2014.
- [8] J. D. Schuijf, J. J. Bax, J. W. Jukema, H. J. Lamb, L. P. Salm, A. De Roos, and E. E. Van der Wall, “Assessment of left ventricular volumes and ejection fraction with 16-slice multi-slice computed tomography; comparison with 2D-echocardiography,” *International journal of cardiology*, Vol.116, No.2, pp.201-205, 2007.
- [9] Y. K. Guo, Z. G. Yang, G. Ning, L. Rao, L. Dong, Y. Pen, and Q. L. Wang, “Sixty-four-slice multidetector computed tomography for preoperative evaluation of left ventricular function and mass in patients with mitral regurgitation: comparison with magnetic resonance imaging and echocardiography,” *European radiology*, Vol.19, No.9, pp.2107-2116, 2009.
- [10] J. R. Silverstein, N. H. Laffely, and R. D. Rifkin, “Quantitative estimation of left ventricular ejection fraction from mitral valve E-point to septal separation and comparison to magnetic resonance imaging,” *The American journal of cardiology*, Vol.97, No.1, pp.137-140, 2006.
- [11] L. G. Klæboe and T. Edvardsen, “Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function,” *Journal of Echocardiography*, Vol.17, No.1, pp.10-16, 2019.
- [12] A. F. Bolger, N. L. Eigler, and G. Maurer, “Quantifying valvular regurgitation. Limitations and inherent assumptions of Doppler techniques,” *Circulation*, Vol.78, No.5, pp.1316-1318, 1988.
- [13] N. B. Schiller, P. M. Shah, M. Crawford, A. DeMaria, R. Devereux, H. Feigenbaum, and N. H. Silverman, “Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography,” *Journal of the American Society of Echocardiography*, Vol.2, No.5, pp.358-367, 1989.
- [14] M. Dewey, M. Müller, S. Eddicks, D. Schnapauff, F. Teige, W. Rutsch, and B. Hamm, “Evaluation of global and regional left ventricular function with 16-slice computed tomography, biplane cineventriculography, and two-dimensional transthoracic echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging,” *Journal of the American College of Cardiology*, Vol.48, No.10, pp.2034-2044, 2006.
- [15] K. W. Choi and S. Y. Son, “A study on improvement of misdiagnosis rate in aortic regurgitation disease by physically correcting EF in 2D echo cardiography,” *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.5, pp.2142-2147, 2012.
- [16] Y. Yang, Y. Yam, L. Chen, A. Aljizeeri, S. A. Ghraboghly, L. Al-Harbi, A. Pen, T. D. Ruddy, and B. J. Chow, “Assessment of left ventricular ejection fraction using low radiation dose computed tomography,” *Journal of Nuclear Cardiology*, Vol.23, No.3, pp.414-421, 2016.
- [17] A. Aimo, E. Kollia, G. Ntritsos, A. Barison, P. G. Masci, S. Figliozzi, D. Klettas, K. Stamatelopoulos, D. Delialis, M. Emdin, and G. Georgiopoulos, “Echocardiography versus computed tomography and cardiac magnetic resonance for the detection of left heart thrombosis: a systematic review and meta-analysis,” *Clinical Research in Cardiology*, pp.1-7, 2020.
- [18] V. Marcos-Garces, J. Gavara, M. P. Lopez-Lereu, J. V. Monmeneu, C. Rios-Navarro, E. de Dios, N. Perez, J. Cánoves, J. Gonzalez, G. Minana, and J. Nunez, “Ejection Fraction by Echocardiography for a Selective Use of Magnetic Resonance After Infarction,” *Circulation Cardiovascular Imaging*, Vol.13, No.12, p.e011491, 2020.

- [19] K. U. Juergens, M. Grude, D. Maintz, E. M. Fallenberg, T. Wichter, W. Heindel, and R. Fischbach, "Multi-detector row CT of left ventricular function with dedicated analysis software versus MR imaging: initial experience," *Radiology*, Vol.230, No.2, pp.403-410, 2004.
- [20] R. Fischbach, K. U. Juergens, M. Ozgun, D. Maintz, M. Grude, H. Seifarth, and T. Wichter, "Assessment of regional left ventricular function with multidetector-row computed tomography versus magnetic resonance imaging," *European radiology*, Vol.17, No.4, pp.1009-1017, 2007.

저자 소개

나사라(Sa-Ra Na)

정회원



- 2010년 2월 : 고려대학교 보건과학대학 방사선학과
- 2015년 2월 : 한양대학교 대학원 보건학과 석사
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 보건학과 박사과정
- 2010년 2월 ~ 2020년 10월 : 서울아산병원 영상의학과
- 2021년 2월 ~ 현재 : 질병관리청 보건연구사
<관심분야> : 자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학, 디지털영상학

정미애(Mi-Ae Jeong)

중신회원



- 1999년 8월 : 단국대학교 보건행정학과 석사
 - 2008년 2월 : 한양대학교 보건학과 박사
 - 2010년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 치위생학과 교수
- <관심분야> : 임상치위생학, 구강보건학 등