

Effects of Advanced Modeled Iterative Reconstruction on Coronary Artery Calcium (CAC) Scores

Sang-Heon Lee^{1,2}, Hyo-Young Lee^{1,3,*}

¹Department of Biomedical Health Science, Graduate School of Dong-Eui University

²Department of Radiology, Pusan National University Yangsan Hospital

³Department of Radiological Science, Dongeui University

Received: August 12 2021. Revised: October 20, 2021. Accepted: October 31, 2021.

ABSTRACT

The effect of Advanced Modeled Iterative Reconstruction (ADMIRE) on the coronary artery calcium (CAC) score of computed tomography was evaluated. Coronary artery calcium images (348 calcium, 6 groups, total of 2088 calcium) were acquired by 128-slice dual-source CT of 89 patients. Volume score and Agatston score were measured from images reconstructed with filtered back projection (FBP) and ADMIRE (1-5). The difference between FBP and ADMIRE Strength (1-5) was confirmed through the Kruskal-Wallis test, and the post-hoc analysis was performed using the Mann-Whitney U test based on FBP. Both volume score and Agatston score showed statistically significant differences between FBP and ADMIRE (1-5) ($P=0.015$, $P=0.038$). As a result of post hoc analysis, the volume score decreased to 9.5% in ADMIRE 4 ($Z=-2.359$, $P=0.018$) and 13.2% in ADMIRE 5 ($Z=-3.113$, $P=0.002$) based on FBP. Agatston score decreased to 10.4% in ADMIRE 4 ($Z=-2.051$, $P=0.040$) and 14.0% in ADMIRE 5 ($Z=-2.718$, $P=0.007$) based on FBP. High ADMIRE strength affected the volume score and Agatston score due to the decrease in calcium area. In addition, the change in the Density factor due to the decrease in Maximum HU may affect the calculation of the Agatston score.

Keywords: Coronary Artery Calcium, ADMIRE, FBP, Density Factor, Agatston Score

I. INTRODUCTION

전산화단층 촬영(Computed Tomography, CT) 관상동맥 칼슘 점수(Coronary artery calcium score, 이하 CACS)는 심혈관질환(cardiovascular disease, CVD) 위험을 예측하거나 추정하는데 사용되어 왔다^[1-4].

CACS는 Agatston score, Calcium volume score 그리고 Calcium mass score로 나타낼 수 있으며^[5], 계산방법에 차이는 있지만, 심혈관질환의 확진보다는 선별검사(screening test)로 사용된다^[6]. 또한, 관상동맥 칼슘은 심혈관질환의 중요한 임상 예측 인자로 입증되었으며, CACS는 심혈관질환의 위험 예측을 위한 최고의 척도로 간주된다^[7,8].

한편, 방사선 피폭은 임상에서 중요한 관심사로 인식되고 있으며, 현재 방사선량을 줄이기 위한 다양한 기술의 적용이 가능하다^[9-11]. 기존의 필터보정역 투영법(Filtered back projection, FBP)의 대안으로 도입된 반복적 재구성법(Iterative reconstruction, IR)은 영상 잡음(noise)의 감소를 초래하여 영상의 질을 향상할 수 있다^[12,13]. 또한, IR을 사용하면 방사선량을 줄일 수 있으며, 심혈관 영상에서 IR의 영향은 최근 수많은 연구의 대상이 되었다^[14,15]. CACS는 면적과 관련된 함수에 의해 계산되기 때문에, FBP로 얻은 점수와 IR을 통해 얻은 점수의 차이가 나타날 수 있다^[16]. IR이 일부 Calcium 측정 에 영향을 미치는 것으로 보고되었지만,^[17] IR이

* Corresponding Author: Hyo-Young Lee

E-mail: lhy250@deu.ac.kr

Tel: +82-51-890-2679

CACS에 미치는 체계적인 연구와 이해는 여전히 부족하다. 따라서 본 연구의 목적은 Coronary artery calcium score에 대한 ADMIRE 알고리즘(Advanced Modeled Iterative Reconstruction, Siemens Healthineers, Forchheim, Germany)의 영향을 평가하는 것이다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구 방법

2019년 9월부터 2020년 1월까지 양산부산대학교 병원 건강증진센터를 내원하여 질병의 조기진단을 목적으로 CT calcium scoring 검사를 받은 환자 중 1개 이상의 Calcium이 있는 89명을 대상으로 하였다. CT 장비는 192-slice dual-source third generation CT (Somatom Force; Siemens Healthineers, Forchheim, Germany)를 사용하였다.

검사 조건은 관전압 Ref. kV 120(CARE kV), 관전류 Quality ref. mAs/rot. 80(CARE Dose 4D), Detector collimation $2 \times 192 \times 0.6$ mm, Rotation time 0.25 s로 ECG(electrocardiogram) triggering 하여 검사하였다. 검사 전 심박수(heart rate, HR)가 70 이하인 환자를 대상으로 Pulsing range RR 간격의 60 - 80%로 설정하고 prospective ECG triggering과 함께 axial mode를 사용하였다. CACS 측정 및 분석 가능한 3D workstation(Syngo.via, VB30; Siemens Healthineers, Forchheim, Germany) 사용하였다. 영상의 재구성은 3 mm axial slice thickness, 1.5 mm Increment, Qr 36 Kernel, Mediastinum Window(apply vendor recommended settings) 그리고 심장의 움직임이 가장 적은 구간 선정을 위하여 장비에서 제공하는 Best Phase 기능을 이용해서 Best diastolic으로 설정하여 재구성하였다. 그리고 FBP와 ADMIRE strength 간 차이를 비교하기 위해서 총 6개의 데이터 세트(FBP, ADMIRE 1-5)로 재구성하였다.

반자동 소프트웨어("Ca score", Siemens Healthineers, Forchheim, Germany) 사용하여 관상 동맥 칼슘 및 칼슘 점수를 평가하였다. 이 소프트웨어는 130 Hounsfield unit (HU) 이상의 감쇠가 있는 구조물은 자동으로 색상이 지정되며, 측정자는 색이 지정된 구조물을 클릭하면 Agatston score, Calcium volume

score(mm³) 그리고 Calcium mass score(mg/cm³)가 자동으로 측정된다 Fig. 1과 같다. 하지만 IR을 적용한 영상에서는 Calcium mass score가 측정되지 않기 때문에 Calcium mass score는 평가에서 제외하였다.

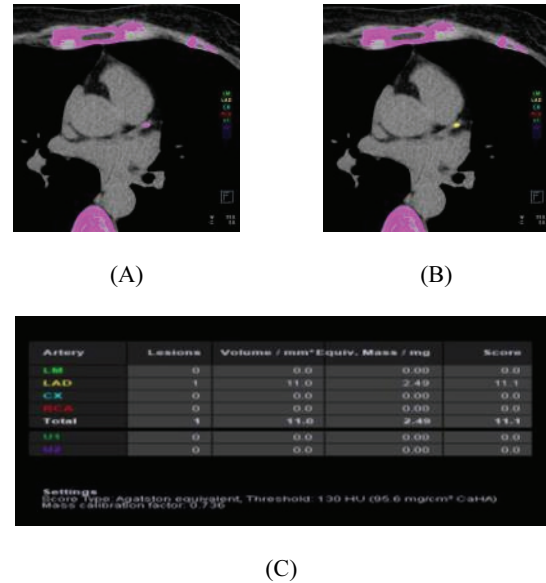


Fig. 1. Using Semi-Automatic Software("Ca Score", Siemens Healthineers, Forchheim, Germany). (A) Structures with Attenuation Greater than 130 Hounsfield Unit Are Automatically Colored. (B) The Measurer Clicks on A Colored Structure. (C) Volume Score, Agatston Score and Mass Score are Automatically Measured.

2. 통계 분석

CT calcium scoring 검사를 받은 환자 중 1개 이상의 Calcium이 있는 89명을 대상으로 348개의 Calcium(FBP, ADMIRE 1-5까지 총 6개 그룹, 2088개의 칼슘 측정)을 통계 분석 자료로 사용하였다.

최소 Sample size는 G*Power 3.1.9.2 Program을 이용하여 F test에 필요한 효과크기 0.25(medium), 유의수준 0.05, Cohen의 법칙에 따라 검정력 0.95로 계산하여 표본을 산출한 결과 최소 324개의 Sample size가 요구되었다¹⁸⁾. 범주형 변수는 빈도(frequency)와 백분율(percentage)로, 연속형 변수는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation, SD) 또는 중앙값(median)과 범위(range)로 표시하였다.

Kolmogorov-Smirnov test를 통해 자료의 정규성

(normality)을 검정하였다. Volume score, Agatston score는 정규분포를 따르지 않기 때문에 비모수 검정을 시행하였다. Kruskal-Wallis 검정을 통해 FBP와 ADMIRE Strength 1-5 간의 차이를 확인하고, FBP를 기준으로 Mann-Whitney U 검정으로 사후분석을 하였다. 또한, CACS에 FBP와 IR의 차이비율은 FBP를 기준으로 계산하였으며 Eq. (1)로 나타냈다.

$$(ADMIRE\ CACS - FBP\ CACS) * 100 / FBP\ CACS \quad (1)$$

* CACS: Coronary artery calcium score,
* FBP: Filtered back projection.

모든 분석은 통계 소프트웨어(SPSS version 26 for Microsoft Windows)를 사용하였으며, 통계학적 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

III. RESULT

1. 연구 대상

대상자의 평균 나이는 66.47 ± 11.80세이고, 평균 체중 73.5 ± 14.1 kg, 평균 키 1.67 ± 0.9 m, Scan heart rate는 평균 63.47 ± 9.10 beat/min, R/R interval 평균 951.71 ± 122.39 ms, BestDiast 74.00 ± 2.12 (%), 여성 30명을 포함한 89명의 대상자로 구성되었고 Table 1에 있다.

Table 1. Characteristics of Study Subjects

	Mean±SD
Male/female	69 (77%) / 30 (33%)
Age	66.47 ± 11.80
Weight(kg)	73.5 ± 14.1
Height(m)	1.67 ± 0.90
Scan heart rate(beat/min)	951.71 ± 122.39
RR interval(ms)	74.0 ± 2.12

Mean±SD, R/R interval(ms): The PR interval is measured from the beginning of the P wave to the beginning of the QRS complex, BestDiast(%): Axial reconstruction within the ECG trigger window, commonly BestDiast.

2. Coronary Artery Calcium Scoring(CACS)

2.1 Volume Score

FBP과 ADMIRE Strength(1-5)에 따른 Volume score 간의 차이를 비교하기 위하여 Kruskal-Wallis test를 시행하였다. 그 결과 FBP(M=46.1), ADMIRE 1(M=45.0), ADMIRE 2(M=43.9), ADMIRE 3(M=42.9), ADMIRE 4(M=41.7), ADMIRE 5(M=40.0)간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(p=0.015)(Fig. 2, Table 2). 추가로 FBP를 기준으로 ADMIRE Strength간 Mann-Whitney U test를 통한 사후분석을 한 결과 FBP와 ADMIRE 1(Z=-0.730, p=0.465), ADMIRE 2(Z=-1.219, p=0.223), ADMIRE 3(Z=-1.638, p=0.101)은 통계적으로 유의한 차이가 없었지만, ADMIRE 4(Z=-2.359, p=0.018), ADMIRE 5(Z=-3.113, p=0.002)는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Fig. 2, Table 2). 또한, ADMIRE strength에 따른 차이비율을 알아본 결과 FBP와 비교해서 ADMIRE 4는 9.5 %, ADMIRE 5는 13.2 % 감소하는 것으로 Table 2에 나타났다.

2.2 Agatston Score

FBP과 ADMIRE Strength(1-5)에 따른 Agatston score 간의 차이를 비교하기 위하여 Kruskal-Wallis test를 시행하였다. 그 결과 FBP(M=57.0), ADMIRE 1(M=55.9), ADMIRE 2(M=54.3), ADMIRE 3(M=53.1), ADMIRE 4(M=51.1), ADMIRE 5(M=49.0)간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 Fig. 2와 Table 2에 나타났다(p=0.038).

추가로 FBP를 기준으로 ADMIRE Strength간 Mann-Whitney U test를 통한 사후분석을 한 결과 FBP와 ADMIRE 1(Z=-0.582, p=0.560), ADMIRE 2(Z=-1.041, p=0.298), ADMIRE 3(Z=-1.379, p=0.168)은 통계적으로 유의한 차이가 없었지만, ADMIRE 4(Z=-2.051, p=0.040), ADMIRE 5(Z=-2.718, p=0.007)는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Fig. 2, Table 2). 또한, ADMIRE strength에 따른 차이비율을 알아본 결과 FBP와 비교해서 ADMIRE 4는 10.4 %, ADMIRE 5는 14.0 % 감소하는 것으로 Table 2에 나타났다.

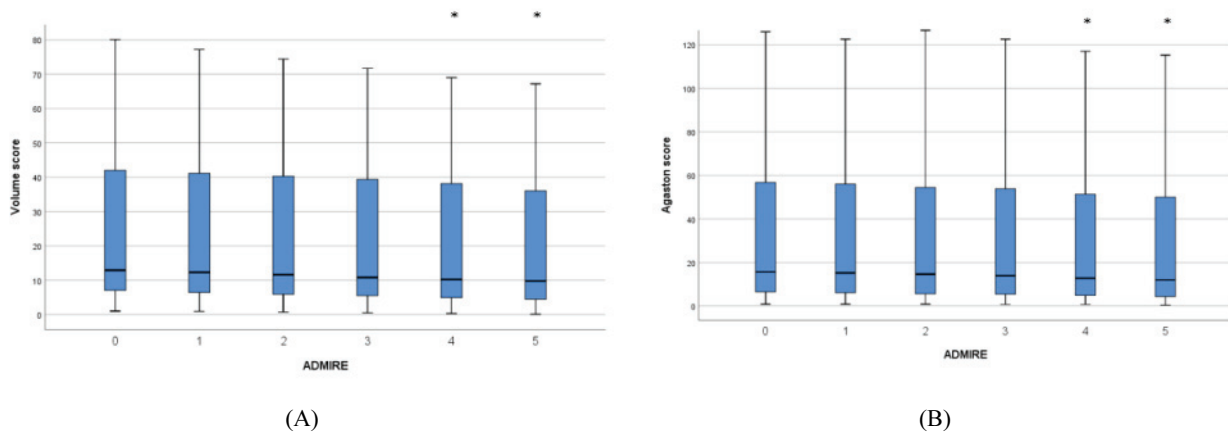


Fig. 2. Coronary Calcium Volume Score (A) and Agatston Score (B) for Incremental Level of Advanced Modeled Iterative Reconstruction(Admire). 0: Admire 0(Filtered Back Projection), 1: Admire 1, 2: Admire 2, 3: Admire 3, 4: Admire 4, 5: Admire 5. Box And Whisker Plots Show Inter-Quartile Range (Iqr) from the 25 % yo 75 % Percentile and the Upper Fence of the 1.5 Iqr Above the 75 % Percentile or Lower Fence of the 1.5 Iqr below the 25 % Percentile. * P<0.05 Vs. Fbp.

Table 2. Difference Ratios of Coronary Calcium Volume and Agatston Scores by the Incremental Proportion of ADMIRE. (N=2088)

	FBP	ADMIRE 1	ADMIRE 2	ADMIRE 3	ADMIRE 4	ADMIRE 5
Mean ± SD	46.1 ± 83.96	45.0 ± 82.85	43.9 ± 81.81	42.9 ± 80.76	41.7 ± 79.65	40.0 ± 78.20
Median (range)	12.9 (1 - 476.4)	12.3 (0.9 - 468.2)	11.6 (0.7 - 460.1)	10.8 (0.5 - 451.9)	10.2 (0.3 - 444.0)	9.8 (0.1 - 434.2)
[25th to 75th percentile]	[6.8 - 44.6]	[6.2 - 44.0]	[5.7 - 43.4]	[5.4 - 42.7]	[4.8 - 41.7]	[4.3 - 40.2]
Difference ratio	0 %	-2.4 %	-4.8 %	-6.9 %	-9.5 %	-13.2 %
χ^2 , p		$\chi^2 = 14.103$, p = 0.015				
Z p		Z = -0.730 p = 0.465	Z = -1.219 p = 0.223	Z = -1.638 p = 0.101	Z = -2.359 p = 0.018	Z = -3.113 p = 0.002
Mean ± SD	57.0 ± 104.72	55.9 ± 103.43	54.3 ± 101.23	53.1 ± 99.65	51.1 ± 97.92	49.0 ± 95.87
Median (range)	15.7 (0.8 - 552.1)	15.2 (0.8 - 542.8)	14.6 (0.8 - 534.8)	13.9 (0.7 - 518.6)	12.8 (0.7 - 510.2)	11.9 (0.4 - 499.2)
[25th to 75th percentile]	[6.5 - 57.4]	[6.0 - 57.2]	[5.6 - 56.1]	[5.3 - 55.0]	[4.9 - 53.2]	[4.3 - 50.5]
Difference ratio	0 %	-1.9 %	-4.7 %	-6.8 %	-10.4 %	-14.0 %
χ^2 , p		$\chi^2 = 11.770$, p = 0.038				
Z p		Z = -0.582 p = 0.560	Z = -1.041 p = 0.298	Z = -1.379 p = 0.168	Z = -2.051 p = 0.040	Z = -2.718 p = 0.007

FBP: filtered back projection, ADMIRE: Advanced Modeled Iterative Reconstruction.
 χ^2 (p): Kruskal-Wallis test.
 Z (p): post hoc analysis, Mann-Whitney U test(comparison with FBP as reference).
 Z (p): post hoc analysis, Mann-Whitney U test(comparison with FBP as reference).
 Z (p): post hoc analysis, Mann-Whitney U test(comparison with FBP as reference).

IV. DISCUSSION

본 연구를 통해 얻은 가장 중요한 사실은 과도한 ADMIRE strength는 Agatston score, Volume score 감소를 초래한다는 것이다.

Agatston score는 1990년 Agatston등이 Electron beam CT(EBCT)를 이용해 칼슘은 1 mm 이상의 면적에 130 Hounsfield Units (HU) 이상으로 정의하여, 칼슘의 면적에 칼슘의 최대 감쇠 값으로 정해진 밀도 계수(density factor)의 곱으로 계산하며, 밀도 계수는 130~199 HU는 1, 200~299 HU는 2, 300~399 HU는 3, 400 HU 이상은 4이며 Fig. 3, Eq. (2)에 나타내었다^[19]. Agatston score는 칼슘의 최대 감쇠 값, 슬라이스 두께에 의한 의존성 그리고 잡음(noise), 움직임에 의한 인공물(motion artifact)에 대한 영향에 의해 재현성(reproducibility)이 떨어진다는 지적이 있다^[20]. 1998년 Callister등은 CACS의 재현성을 개선하고 측정을 단순화하기 위하여 칼슘의 최대 감쇠 값이 필요 없는 Volume score를 발표했다^[21]. 이 방법은 130 HU 이상인 칼슘 면적에 슬라이스 두께를 곱한 값으로 계산되며, SI 단위(System of international units) millimeters로 표시되며 Fig. 3과, Eq. 3에 나타내었다. 석회화의 최대 감쇠 값에 대한 영향이 적고 체적 점수를 사용하기 때문에 스캔 간 변동성(Interscan variability)이 줄어들어 재현성이 향상된다는 주장이 있지만^[22,23], Calcium volume score가 증가함에 따라 변동성이 증가하는 단점이 있으며 이 편차를 줄이기 위해 부피 점수의 계산 조정이 필요하다고 보고되고 있다^[24]. 2002년 Hong 등은 칼슘의 밀도, 최대 감쇠 값과 같은 요인에 영향이 없는 칼슘의 절대 값을 계산하는 Calcium mass score의 적용을 제안했다^[25]. Calcium mass score는 다른 계산법에 비해 재현성이 높았지만 질량 점수를 측정하려면 전용 스캐닝 프로토콜(scanning protocol)과 팬텀 기반 보정(phantom-based calibration)을 위한 calcium hydroxyapatite가 함유된 흉부 팬텀이 있어야 하기 때문에 임상 적용에 대한 한계가 있다^[26,27].

Iterative reconstruction 알고리즘을 적용하였을 때 석회화 측정에 미치는 영향에 대한 선행 연구를 보

면 하이브리드 IR인 iDose(Philips Healthcare, Best, the Netherlands)의 적용은 칼슘에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다^[28]. 그러나 적응식 통계적 IR 방식인 ASiR(Adaptive statistical iterative reconstruction, GE Healthcare, Milwaukee, USA)의 적용은 칼슘의 Volume score, Agatston score의 현저한 감소를 초래한다고 보고하였다^[29]. IR 알고리즘이 칼슘 측정에 미치는 영향에 관한 결과는 상당히 모순적이다.

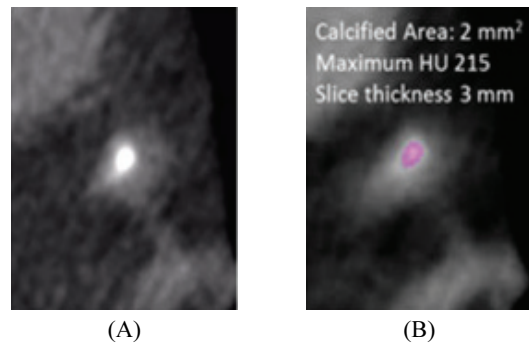


Fig. 3. Calcified Area, Maximum HU and Slice Thickness.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume score} &= \text{Area} \times \text{Slice thickness} \\
 &= 2 \text{ mm}^2 \times 3 \text{ mm} \\
 &= 6 \text{ mm}^3
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agatston score} &= \text{Area} \times \text{Density factor} \\
 &= 2 \text{ mm}^2 \times 2 \\
 &= 4 \\
 &\quad * \text{Density factor}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Max. HU	Factor
130 - 199	1
200 - 299	2
300 - 399	3
≥ 400	4

본 연구에서 Volume score, Agatston score 모두 FBP와 ADMIRE 1-3은 차이가 없었지만, ADMIRE 4, 5에서 기존의 FBP에 비해 감소하는 결과가 나타났다. Volume score의 경우는 면적(area)와 Slice thickness 곱으로 계산되는데 본 연구에서 Slice thickness는 일정하므로, IR 알고리즘의 적용은 칼슘 면적의 변화를 일으킨다고 말할 수 있다.

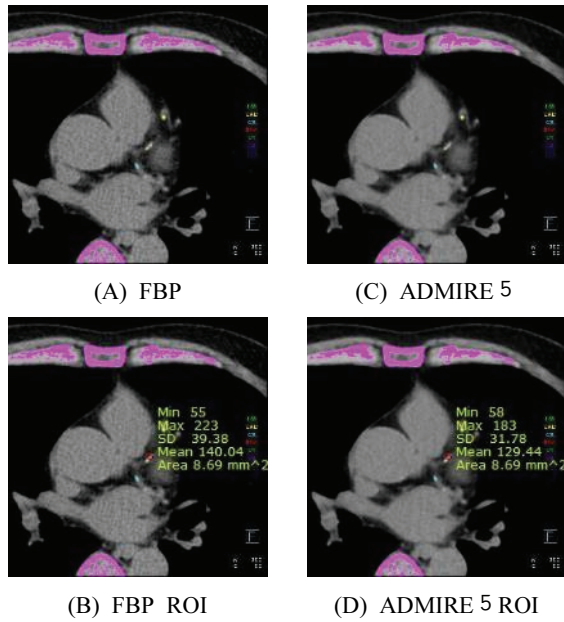


Fig. 4. (A) FBP Image(One calcium in the left Circumflex Artery and Three in the Left Anterior Descending Artery were Recognized.)

(C) ADMIRE 5 Image(One Calcium in Left Circumflex Artery, Two in Left Anterior Descending Artery

Eq. (2), Eq. (3)을 보면 칼슘의 면적은 Volume score, Agatston score 모두에 영향을 준다. IR 알고리즘의 가장 중요한 이점은 영상의 잡음을 줄이는 것이다. Renker 등은 영상기반 IR인 IRIS(Iterative reconstruction in image space, Siemens Healthcare, Forchheim, Germany) 알고리즘을 적용하였을 때 'Blooming' artifact 감소와 칼슘 볼륨의 현저한 감소를 초래한다고 보고하였다^[30]. IR 기법이 영상의 잡음을 줄일 때 칼슘의 'Blooming' artifact를 감소시켜 칼슘을 면적이 줄어든다는 우리 연구 결과를 뒷받침할 수 있다고 생각된다.

그리고 본 연구를 통해 알게 된 사실은 1건의 칼슘이 ADMIRE 5에서 칼슘으로 인식되지 않았다는 것이며 Fig. 4에 나타내었다. (A)는 FBP 영상이며 left circumflex artery에 칼슘 1개, left anterior descending artery 3개가 칼슘으로 인식되었다. 하지만 (C)는 ADMIRE 5로 칼슘 측정을 하는 영상이며 left circumflex artery에 칼슘 1개, left anterior descending artery 2개가 칼슘으로 인식되었다. 결과적으로 하나의 칼슘은 인식되지 않았다.

HU threshold가 130 이상, 3개 이상의 인접한 voxel을 포함한 최소 1.02 mm² 이상의 면적을 가진 구조물은 관상동맥 칼슘으로 식별된다^[31]. ADMIRE 5에서 칼슘으로 인식되지 않는 1개의 Lesion을 조금 더 이해하고자 같은 부위에 같은 크기의 관심 영역을 그려 확인하였지만, 본 연구로 이것을 설명하는 것은 한계가 있다. 하지만 여기서 알게 된 사실은 ADMIRE strength가 높아질수록 Maximum HU도 감소한다는 것이다. Agatston score를 구하는 식 Eq. (3)에서 Density factor는 Maximum HU에 따라 결정되는데, 그 식에 Fig. 4의 (B), (D)를 대입하면 FBP 영상의 Maximum HU는 223으로 Density factor는 2가 되고, ADMIRE 5 영상의 Maximum HU는 183으로 Density factor는 1이 된다. Maximum HU의 감소로 인한 Density factor 변화는 Agatston score 계산에 영향을 줄 수 있다.

V. CONCLUSION

높은 ADMIRE strength는 칼슘 면적의 감소로 인하여 Volume score, Agatston score에 영향을 준다. 또한, Maximum HU의 감소로 인한 Density factor 변화는 Agatston score 계산에 영향을 줄 수 있다.

Acknowledgement

이 성과는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(NRF-2019R1G1A109976113)

Reference

- [1] N. R. van der Werf, M. J. Willemink, T. P. Willems, M. J. W. Greuter, T. Leiner, "Influence of iterative reconstruction on coronary calcium scores at multiple heart rates: a multivendor phantom study on state-of-the-art CT systems", International Journal of Cardiovascular Imaging, Vol. 34, No. 6, pp. 947-957, 2017. <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-017-1292-y>
- [2] P. Greenland, R. O. Bonow, B. H. Brundage, M. J. Budoff, M. J. Eisenberg, S. M. Grundy, M. S. Lauer, W. S. Post, P. Raggi, R. F. Redberg, G. P. Rodgers, L. J. Shaw, A. J. Taylor, W. S. Weintraub, "ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus

- document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography) developed in collaboration with the Society of Atherosclerosis Imaging and Prevention and the Society of Cardiovascular Computed Tomography", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 49, No. 3, pp. 378-402, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2006.10.001>
- [3] A. J. Taylor, J. Bindeman, I. Feuerstein, F. Cao, M. Brazaitis, P. G O'Malley, "Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean three-year outcomes in the Prospective Army Coronary Calcium (PACC) project", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 46, No. 5, pp. 807-814, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2005.05.049>
- [4] B. J. H. van Kempen, S. Spronk, M. T. Koller, S. E. Elias-Smale, K. E. Fleischmann, M. A. Ikram, G. P. Krestin, A. Hofman, J. C. M. Witteman, M. G. M. Hunink, "Comparative effectiveness and cost-effectiveness of computed tomography screening for coronary artery calcium in asymptomatic individuals", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 58, No. 16, pp. 1690-1701, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.05.056>
- [5] J. A. Rumberger, L. Kaufman, "A rosetta stone for coronary calcium risk stratification: agatston, volume, and mass scores in 11,490 individuals", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 181, No. 3, pp. 743-748, 2003. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.181.3.1810743>
- [6] B. M. Ohnesorge, L. K. Hofmann, T. G. Flohr, U. J. Schoepf, "CT for imaging coronary artery disease: defining the paradigm for its application", *International Journal of Cardiovascular Imaging*, Vol. 21, No. 1, pp. 85-104, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-004-5346-6>
- [7] J. Yeboah, R. L. McClelland, T. S. Polonsky, G. L. Burke, C. T. Sibley, D. O'Leary, J. J. Carr, D. C. Goff, P. Greenland, D. M. Herrington, "Comparison of novel risk markers for improvement in cardiovascular risk assessment in intermediate-risk individuals", *The Journal of the American Medical Association*, Vol. 308, No. 8, pp. 788-795, 2012. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2012.9624>
- [8] A. R. Folsom, R. A. Kronmal, R. C. Detrano, D. H. O'Leary, D. E. Bild, D. A. Bluemke, M. J. Budoff, K. Liu, S. Shea, M. Szklo, R. P. Tracy, K. E. Watson, Gr. L. Burke, "Coronary artery calcification compared with carotid intima-media thickness in the prediction of cardiovascular disease incidence: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA)", *Archives of Internal Medicine*, Vol. 168, No. 12, pp. 1333-1339, 2008. <http://dx.doi.org/10.1001/archinte.168.12.1333>
- [9] A. J. Einstein, M. J. Henzlova, S. Rajagopalan, "Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography", *The Journal of the American Medical Association*, Vol. 298, No. 3, pp. 317-323, 2007. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.298.3.317>
- [10] M. Lell, M. Marwan, T. Schepis, T. Pflederer, K. Anders, T. Flohr, T. Allmendinger, W. Kalender, D. Ertel, C. Thierfelder, A. Kuettner, D. Ropers, W. G. Daniel, S. Achenbach, "Prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: technique and initial experience", *European radiology*, Vol. 19, No. 11, pp. 2576-2583, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-009-1558-4>
- [11] E. Arnoldi, T. R. Johnson, C. Rist, B. J. Wintersperger, W. H. Sommer, A. Becker, C. R. Becker, M. F. Reiser, K. Nikolaou, "Adequate image quality with reduced radiation dose in prospectively triggered coronary CTA compared with retrospective techniques", *European Radiology*, Vol. 19, No. 9, pp. 2147-2155, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-009-1411-9>
- [12] R. Wang, U. J. Schoepf, R. Wu, K. P. Gibbs, W. Yu, M. Li, Z. Zhang, "CT coronary angiography: Image quality with sinogram-affirmed iterative reconstruction compared with filtered back-projection", *Clinical radiology*, Vol. 68, No. 3, pp. 272-278, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2012.08.007>
- [13] A. Moscariello, R. A. P. Takx, U. J. Schoepf, M.

- Renker, P. L. Zwerner, T. X. O'Brien, T. Allmendinger, S. Vogt, B. Schmidt, G. Savino, C. Fink, L. Bonomo, T. Henzler, "Coronary CT angiography: image quality, diagnostic accuracy, and potential for radiation dose reduction using a novel iterative image reconstruction technique—comparison with traditional filtered back projection", *European radiology*, Vol. 21, No. 10, pp. 2130, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-011-2164-9>
- [14] A. Winklehner, C. Karlo, G. Puipe, B. Schmidt, T. Flohr, R. Goetti, T. Pfammatter, T. Frauenfelder, H. Alkadhi, "Raw data-based iterative reconstruction in body CTA: evaluation of radiation dose saving potential", *European radiology*, Vol. 21, No. 12, pp. 2521-2526, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-011-2227-y>
- [15] J. Sato, M. Akahane, S. Inano, M. Terasaki, H. Akai, M. Katsura, I. Matsuda, A. Kunitatsu, K. Ohtomo, "Effect of radiation dose and adaptive statistical iterative reconstruction on image quality of pulmonary computed tomography", *Japanese Journal of Radiology*, Vol. 30, No. 2, pp. 146-153, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11604-011-0026-7>
- [16] A. Schindler, R. Vliegthart, U. J. Schoepf, P. Blanke, U. Ebersberger, Y. J. Cho, T. Allmendinger, S. Vogt, R. Raupach, C. Fink, T. Saam, F. Bamberg, K. Nikolaou, P. Apfaltrer, "Iterative image reconstruction techniques for CT coronary artery calcium quantification: comparison with traditional filtered back projection in vitro and in vivo", *Radiology*, Vol. 270, No. 2, pp. 387-393, 2014. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.13130233>
- [17] C. Gebhard, Michael Fiechter, Tobias A. Fuchs, Jelena R. Ghadri, Bernhard A. Herzog, F. Kuhn, J. Stehli, E. Müller, Egle Kazakauskaitė, O. Gaemperli, P. A. Kaufmann, "Coronary artery calcium scoring: Influence of adaptive statistical iterative reconstruction using 64-MDCT", *International Journal of Cardiology*, Vol. 167, No. 6, pp. 2932-2937, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.08.003>
- [18] J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioural sciences*, 2nd edn, Hillsdale, New York, L. Erlbaum Associates, 1988. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- [19] A. S. Agatston, W. R. Janowitz, F. J. Hildner, N. R. Zusmer, M. Viamonte Jr, R. Detrano, V. Manuel, D. Robert "Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography", *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 15, No. 4, pp. 827-832, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-T](http://dx.doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-T)
- [20] M. J. Budoff, K. M. Gul, "Expert review on coronary calcium", *Vascular Health and Risk Management*, Vol. 4, No. 2, pp. 315, 2008. <https://doi.org/10.2147/vhrm.s1160>
- [21] T. Q. Callister, B. Cooil, S. P. Raya, N. J. Lippolis, D. J. Russo, P. Raggi, "Coronary artery disease: improved reproducibility of calcium scoring with an electron-beam CT volumetric method", *Radiology*, Vol. 208, No. 3, pp. 807-814, 1998. <https://doi.org/10.1148/radiology.208.3.9722864>
- [22] J. E. Hokanson, T. MacKenzie, G. Kinney, J. K. Snell-Bergeon, D. Dabelea, J. Ehrlich, R. H. Eckel, M. Rewers, "Evaluating changes in coronary artery calcium: an analytic method that accounts for interscan variability", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 182, No. 5, pp. 1327-1332, 2004. <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.182.5.1821327>
- [23] H. Yamamoto, M. J. Budoff, B. Lu, J. Takasu, R. J. Oudiz, S. Mao, "Reproducibility of three different scoring systems for measurement of coronary calcium", *International Journal of Cardiovascular Imaging*, Vol. 18, No. 5, pp. 391-397, 2002. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016051606758>
- [24] A. D. McQuiston, G. Muscogiuri, U. J. Schoepf, F. G. Meinel, C. Canstein, A. Varga-Szemes, P. M. Cannao', J. L. Wichmann, T. Allmendinger, R. Vliegthart, C. N. D. Cecco, "Approaches to ultra-low radiation dose coronary artery calcium scoring based on 3rd generation dual-source CT: A phantom study", *European Journal of Radiology*, Vol. 85, No. 1, pp. 39-47, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.10.023>
- [25] C. Hong, C. R. Becker, U. J. Schoepf, B. Ohnesorge, R. Bruening, M. F. Reiser, "Coronary artery calcium: absolute quantification in nonenhanced and contrast-enhanced multi-detector row CT studies", *Radiology*, Vol. 223, No. 2, pp. 474-480, 2002. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2232010919>
- [26] D. Caruso, C. N. D. Cecco, U. J. Schoepf, L. M.

- Felmly, A. Varga-Szemes, St. Mangold, C. Canstein, T. Allmendinger, S. R. Fuller, A. Laghi, J. L. Wichmann, "Correction factors for CT coronary artery calcium scoring using advanced modeled iterative reconstruction instead of filtered back projection", *Academic Radiology*, Vol. 23, No. 12, pp. 1480-1489, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.07.015>
- [27] M. Ferencik, A. Ferullo, S. Achenbach, S. Abbara, R. C. Chan, S. L. Booth, T. J. Brady, U. Hoffmann, "Coronary calcium quantification using various calibration phantoms and scoring thresholds", *Investigative Radiology*, Vol. 38, No. 9, pp. 559-566, 2003.
<http://dx.doi.org/10.1097/01.RLI.0000073449.90302.75>
- [28] H. Murazaki, Y. Funama, M. Hatemura, C. Fujioka, S. Tomiguchi, "Quantitative evaluation of calcium (content) in the coronary artery using hybrid iterative reconstruction (iDose) algorithm on low-dose 64-detector CT: comparison of iDose and filtered back projection", *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*, Vol. 67, No. 4, pp. 360-366, 2011.
<https://doi.org/10.6009/jjrt.67.360>
- [29] C. Gebhard, M. Fiechter, T. A. Fuchs, J. R. Ghadri, B. A. Herzog, F. Kuhn, J. Stehli, E. Müller, E. Kazakauskaite, O. Gaemperli, P. A. Kaufmann, "Coronary artery calcium scoring: influence of adaptive statistical iterative reconstruction using 64-MDCT", *International journal of cardiology*, Vol. 167, No. 6, pp. 2932-2937, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.08.003>
- [30] M. Renker, J. W. Jr Nance, U. J. Schoepf, T. X. O'Brien, P. L. Zwerner, M. Meyer, J. M. Kerl, R. W. Bauer, C. Fink, T. J. Vogl, T. Henzler, "Evaluation of heavily calcified vessels with coronary CT angiography: comparison of iterative and filtered back projection image reconstruction", *Radiology*, Vol. 260, No. 2, pp. 390-399, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1148/radiol.11103574>
- [31] L. H. Chen, C. Jin, J. Y. Li, G. L. Wang, Y. J. Jia, H. F. Duan, N. Pan, J. Guo, "Image quality comparison of two adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR, ASiR-V) algorithms and filtered back projection in routine liver CT", *The British Journal of Radiology*, Vol. 91, No. 1088, pp. 20170655, 2018. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170655>

ADMIRE가 관상동맥 칼슘(CAC) 점수에 미치는 영향

이상현^{1,2}, 이효영^{1,3,*}

¹동의대학교 대학원 보건의과학과

²양산부산대학교병원 영상의학과

³동의대학교 방사선학과

요 약

컴퓨터단층촬영의 관상동맥 칼슘(coronary artery calcium, CAC) 점수에서 Advanced Modeled Iterative Reconstruction (ADMIRE)의 영향을 평가하였다. 89명의 환자를 대상으로 128 slice dual-source CT로 관상동맥 칼슘 영상(348개의 칼슘, 6개 그룹, 총 2088개의 칼슘)을 획득하였다. Filtered back projection(FBP)과 ADMIRE (1-5)로 재구성된 이미지로부터 Volume score, Agatston score를 측정하였다. FBP와 ADMIRE Strength(1-5) 간의 차이는 Kruskal-Wallis 검정을 통해 확인하고, 사후분석은 FBP를 기준으로 Mann-Whitney U 검정을 하였다. Volume score와 Agatston score 모두 FBP와 ADMIRE(1-5)간에 통계적으로 유의한 차이가 있었습니다(P=0.015, P=0.038). 추가로 사후분석 한 결과 Volume score는 FBP를 기준으로 ADMIRE 4(Z=-2.359, P=0.018)에서 9.5 %, ADMIRE 5(Z=-3.113, P=0.002)에서 13.2 % 감소하는 것으로 나타났다. Agatston score는 FBP를 기준으로 ADMIRE 4(Z=-2.051, P=0.040)에서 10.4 %, ADMIRE 5(Z=-2.718, P=0.007)에서 14.0 % 감소하는 것으로 나타났다. 높은 ADMIRE strength는 칼슘 면적의 감소로 인하여 Volume score, Agatston score에 영향을 준다. 또한, Maximum HU의 감소로 인한 Density factor 변화는 Agatston score 계산에 영향을 줄 수 있다.

중심단어: 관상동맥 칼슘점수, ADMIRE, FBP, DENSITY FACTOR, AGASTON SCORE

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이상현	동의대학교 보건의과학대학원 방사선학전공	대학원(박사수료)
(교신저자)	이효영	동의대학교 방사선학과	교수