

다중위상재구성기법을 이용한 최적의 유발 지연 시점 평가에서 재구성기법과 심박동 수의 영향¹

조 영 준

목적: 다중위상재구성기법(multiphase reconstruction technique)을 이용하여 심박동 수에 따른 최적의 유발 지연 시점과 그 차이를 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 64-절편 관상동맥 CT 혈관조영술을 시행한 30명의 환자를 대상으로 연구하였다. 최적의 유발 지연 시점은 다중위상재구성기법을 이용하여 심장의 4개의 고정된 부위(좌주관상동맥의 분지 부위, 대동맥판, 승모판, 심첨)에서 상대적 지연과 절대적 지연으로 결정하였다. 심박동 수를 세 군(I군: 분당 65회 미만, II군: 분당 65-74회, III군: 분당 75회 이상)으로 나누었고 심박동 수에 따른 평균 최적의 유발 지연시점과 4 부위에서 평균 최적의 유발 지연 시점의 차이를 비교하였다.

결과: 세 군의 심박동 수에 따른 평균 최적의 유발 지연 시점은 상대적 지연에서는 46%에서 66% 사이에 있었고, 절대적 지연에서는 327 msec에서 700 msec 사이에 있었다. 심장의 4부위에서 평균 최적의 유발 지연 시점의 차이는 I군에서 상대적 지연은 1%, 절대적 지연은 4 msec, II군에서 상대적 지연은 3%, 절대적 지연은 27 msec, III군에서는 상대적 지연 14%, 절대적 지연 46 msec의 차이가 있었다. III군의 상대적 지연에서 4 부위의 평균 최적의 유발 지연 시점은 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.040$).

결론: 심박동 수가 증가함에 따라 최적의 유발 지연 시점은 이완기 중기에서 수축기 말로 이동하였으며 상대적 지연에서 4 부위의 평균 유발 지연시점이 의미 있게 차이가 컸다.

다중검출기 CT(multidetector row computed tomography, 이하 MDCT)가 빠르게 발전함에 따라 관상동맥 질환의 진단에 CT가 많이 이용되고 있으며, 선천성 심 질환, 판막 질환, 및 심지어 심근 질환의 진단까지 영역을 넓혀가고 있어 심장 질환 검사의 한 방법으로 CT가 확고하게 자리를 잡아가고 있다. 심장 질환을 CT로 진단하는데 있어 정확성을 높이는 것이 매우 중요한데, 널리 보급된 64-절편 MDCT는 아직 제한된 시간 분해능(temporal resolution)과 공간 분해능(spatial resolution)으로 인해 제한점이 있다. 따라서 우수한 영상의 질을 얻으려면 CT 시행 전에 심박동 수를 적절하게 조절하여야 하고 최적의 조영제 투여시간과 관상동맥의 움직임이 가장 적은 시기를 선택하는 것이 우수한 영상의 질을 위해 매우 중요하다(1-4).

4-, 16-, 및 64-절편 MDCT를 이용하여 최적의 유발 지연 시점(Optimal trigger delay)과 재구성기법(Reconstruction technique)에 관한 논문들이 많이 보고되고 있다(1, 2, 4-8). 16-절편 CT에서는 분당 64-68.5회, 64-절편 CT에서는 분당

80-85.5회보다 낮은 심박동 수에서 이완기가 움직임이 아주 적은 부위이어서 이 시기에 영상을 재 구성을 할 때 최적의 영상을 얻을 수 있다. 그러나 심박동 수가 증가를 하게 되면 이완기는 점점 짧아지면서 결국에는 사라지게 되어 이 시기에 영상을 얻는 것은 적절하지 못하며, 수축기 말에 더 좋은 영상을 얻을 수 있다(3-8). 현재까지 보고된 논문에서는 최적의 재구성 지연 시점을 정하려고 5-10% 간격이나 20 msec 간격으로 재구성 영상을 얻었는데 이 경우에는 많은 양의 데이터를 분석하여야 하며 걸리는 시간도 많았다. 심장의 움직임은 개인 간의 차이가 많이 있고, 심장의 움직임이 빠르거나 불규칙한 경우에는 최적의 재구성 지연 시점을 얻지 못하는 경우가 많다.

본 연구에서는 다중위상재구성기법(multiphase reconstruction technique)을 이용하여 최적의 유발 지연 시점을 얻었는데, 이 방법은 기존의 연구에 비하여 영상의 재구성 및 재검토에 소요되는 시간이 짧으며, 보다 촘촘한 시간 간격으로 관상동맥의 움직임을 비교 할 수 있어, 빠르고 정확하게 최적의 유발 지연 시점을 결정할 수 있다. 그러나 이 기법을 통해 얻은 최적의 유발 지연 시점은 심장의 한 부위만의 움직임이 가장 적은 시점을 보여주는 것이어서 심장의 다른 부위에서의

¹건양대학교 의과대학 영상의학과교실

이 논문은 2008년 7월 2일 접수하여 2008년 10월 14일에 채택되었음.

최적의 유발 지연 시점과의 연관성을 알아보고자 심장의 4 부위를 정하여 다양한 심박동 수에 따른 최적의 유발 지연 시점과 그 차이를 비교하였다.

대상과 방법

2008년 4월부터 2008년 6월까지 관상동맥 CT 혈관조영술을 시행한 다양한 심박동 수를 가진 30명의 환자를 대상으로 전향적으로 연구하였다. 이중 남자는 13명 여자는 17명이었으며, 평균 연령은 67세(32-84세)이었다. CT 시행 전에 심박동수가 65회 이상으로 빠른 19명(63%)은 심박동 수를 낮추고자 경구용 베타 차단제인 metoprolol tartrate (Betaloc TABS, 한국아스트라제네카) 50-100 mg를 CT 시행 1시간 전에 사용하였다. 석회화나 금속에 의한 인공물 때문에 영상의 질이 감소할 수 있는 심한 호흡장애, 심혈관 스텐트 삽입, 심혈관의 심한 석회화, 관상동맥 우회술(coronary artery bypass graft, CABG), CT 금기 사항인 조영제에 민감한 자, 만성신장질환 및, 임신한 경우는 제외하였다.

CT검사는 64절편 CT(Aquilion 64, Toshiba Medical System, Tokyo, Japan)로 시행하였다. 스캔의 파라미터(parameter)는 관전압 120 kVp, 유효관전류 400 mAs, 검출기 폭조절(detector collimation) 64×0.5 mm, 겐트리 회전시간(gantry rotation time) 0.4 초를 사용하였으며, 머리 꼬리 방향(craniocaudal direction)으로 스캔을 시행하였다. 이중주입기(dual injector, Medrad, Inc, U.S.A.)를 이용하여 비이온성 조영제 65 mL(Iomeron 400, 400 mg/ML;

Braccon, Milan, Italy)를 초당 4mL 속도로 먼저 주입하였고, 생리 식염수와 조영제를 혼합(조영제 30%와 생리 식염수 70%)하여 30 mL를 초당 3 mL 속도로 추가로 주입하였다. 스캔 지연시간을 결정하고자 관심영역(region of interest, ROI)을 상행대동맥에 위치시키고 덩어리추적방법(bolus tracking method)을 실시하여 170 HU에 도달하는 시점으로부터 5초 후 영상을 얻기 시작하였다.

모든 데이터의 영상 재구성은 후향적 동조화(retrospective gating)를 이용하였고, filter FC 43 연산법(algorithm)을 사용하여 절편 두께와 간격을 각각 0.4 mm 와 0.4 mm로 재구성하였다.

최적의 재구성 지연 시점을 얻고자 CT 워크스테이션(workstation)에서 다중위상재구성기법을 이용하여 4개의 고정된 횡단면에서 다중위상영상(multiphase image)을 절대적 지연과 상대적 지연의 두 기법으로 얻었는데 절대적 지연은 10 msec 간격, 상대적 지연은 1% 간격으로 얻었다(Fig. 1). 4개의 횡단면은 좌주관상동맥(left main coronary artery, 이하 LM)의 분지(bifurcation) 부위, 대동맥판(aortic valve, 이하 AV)이 보이는 부위, 승모판(mitral valve, 이하 MV)이 보이는 부위, 심첨(cardiac apex, 이하 AX)의 우관상동맥(right coronary artery, 이하 RCA)의 분절 3과 4사이가 보이는 부분으로 하였다. 4 부위에서의 최적의 유발 지연 시점은 우관상동맥, 좌주관상동맥, 좌전하행동맥(left anterior descending coronary artery, 이하 LAD), 좌회선동맥(left circumflex artery, 이하 LCX)의 주요 동맥이 흐려짐(blurring)이 없이 가장 등글게 잘 보이는 시간으로 정하였고

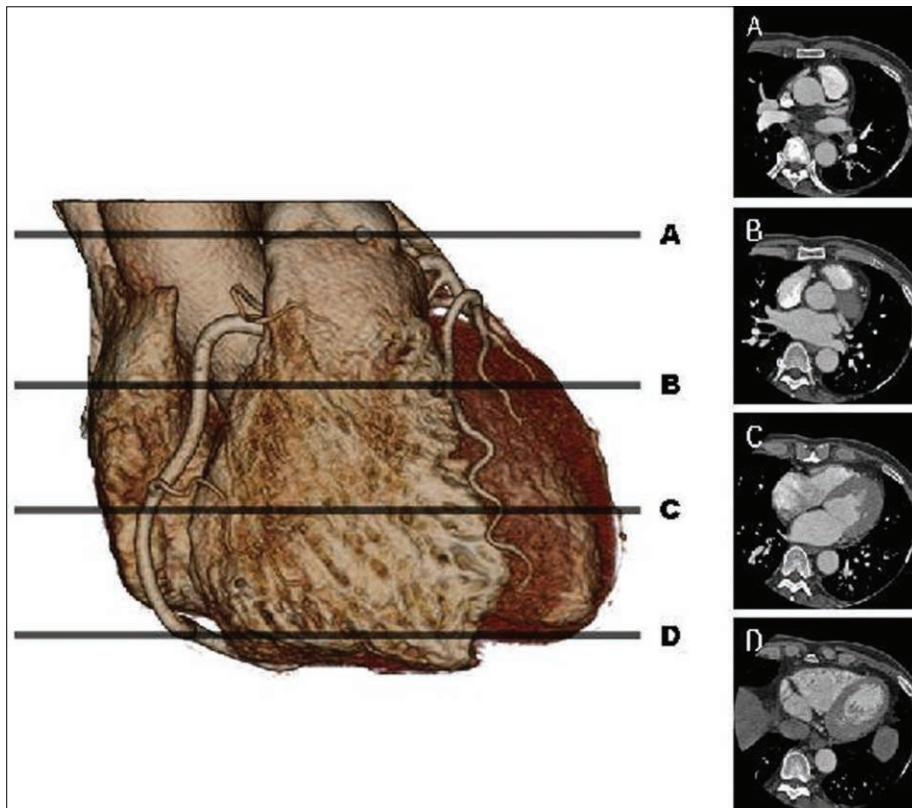
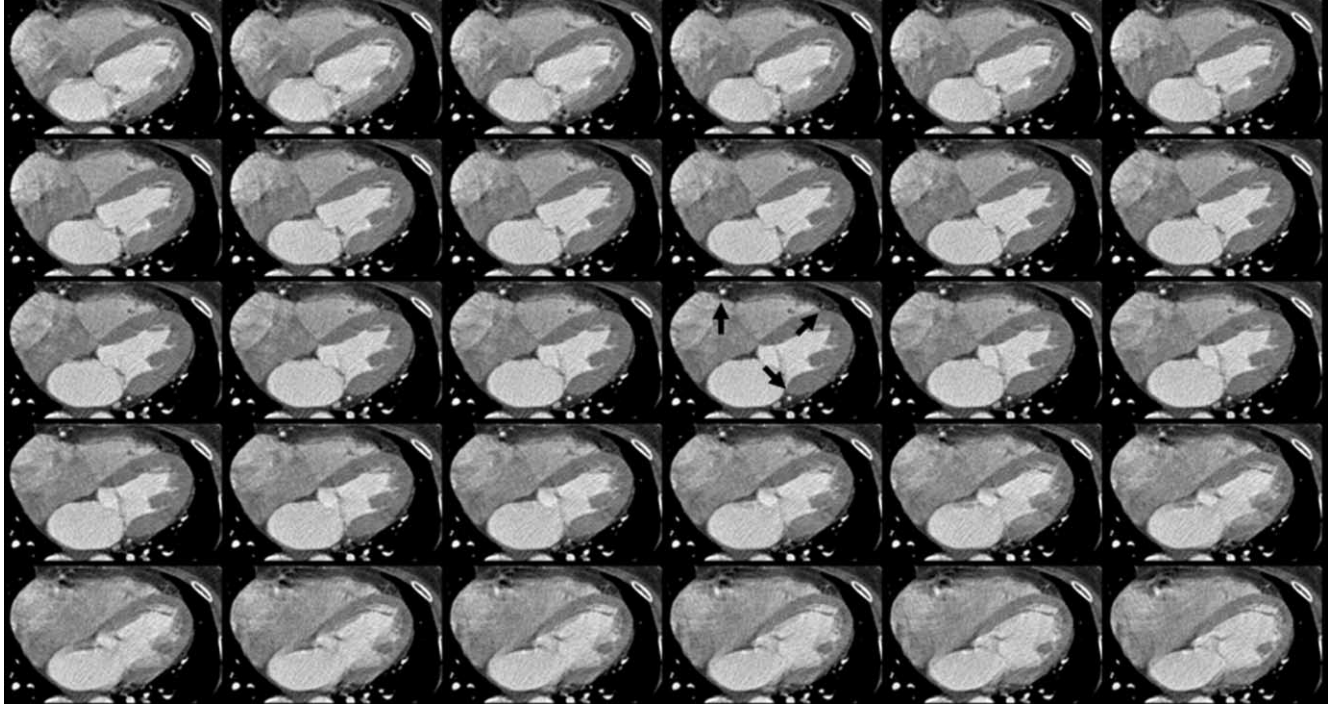


Fig. 1. Reconstruction was performed at the bifurcation of the left main coronary artery (A), second at a planes showing the aortic valve (B), third at a plane showing the mitral valve (C) and finally at the cardiac apex (D) showing the right coronary artery at its transition from segment 3 and 4 of the American Heart Association classification using multiphase reconstruction.

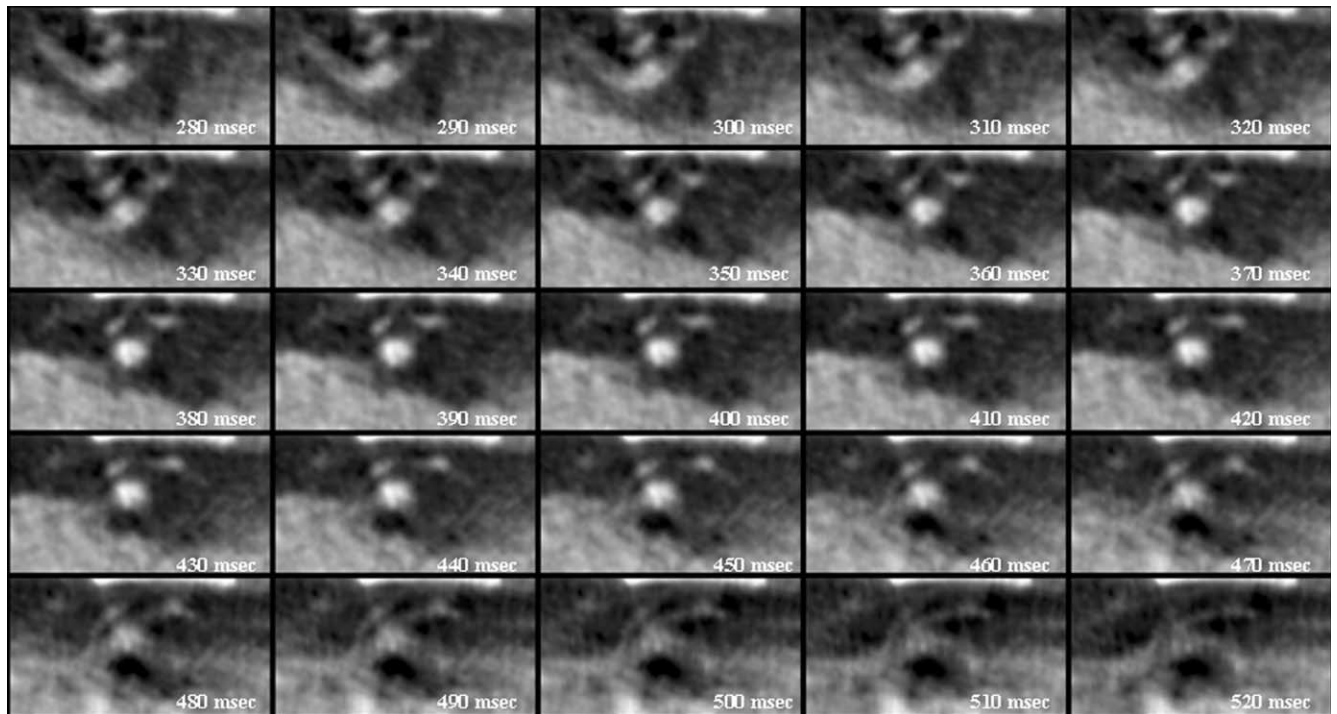
(Fig. 2), 4 부위에서 얻은 최적의 유발 지연 시점의 평균값으로 전체의 평균 최적의 유발 지연 시점(mean optimal trigger delay)을 정하였다.

심박동 수는 분당 65회 미만, 분당 65-74회 사이, 분당 75회 이상 세 군으로 나누었고, 세 군으로 나눈 심박동 수에서 평

균 최적의 재구성 지연 시점을 분석하였다. 또한, 심박동 수에 따른 4 부위에서의 최적의 재구성 지연 시점을 비교하였고 Friedman test로 분석하였다. 심박동 수에 따른 4 부위에서의 최적의 재구성 지연 시점의 차이는 Kruskal-Wallis test로 분석하였다.



A



B

Fig. 2. A. With multiphase reconstruction, the optimal trigger delay at the mitral valve level (middle RCA) was determined for all main coronary arteries that appeared as a clear circular or oval area with no in-plane motion artifact (arrows).

B. In multiphase reconstruction using absolute delay, the optimal trigger time of middle RCA was obtained in 410 msec.

결 과

베타 차단제를 사용한 19명을 포함한 모든 환자에 있어서 평균 심박동 수는 분당 69.3 ± 13 회(범위: 분당 47-112회)이었다. 평균 최적의 유발 지연 시점은 심박동 수가 분당 65회 미만을 보였던 10명에서는 상대적 지연 66%(범위: 39-82%), 절대적 지연 700 msec(범위: 413-883 msec)이었다. 심박동 수가 분당 65-74회를 보였던 10명에서는 상대적 지연 57%(범위: 29-80%), 절대적 지연 496 msec(범위: 275-668 msec)이었다. 분당 75회 이상의 심박동 수를 보였던 10명에서는 상대적 지연은 46%(범위: 34-55%), 절대적 지연 327 msec(범위: 245-440 msec)이었다.

세 군의 심박동 수와 4 부위에서의 평균 최적의 재구성 지연 시점을 상대적 지연으로 비교하여 분석한 결과는 Table 1, 2와 같았다. 분당 65회 미만의 심박동 수에서 4 부위의 평균 최적의 유발 지연 시점은 66%에서 67% 범위에 있었고 4 부위 사이에 1%의 차이가 있었으나 통계적으로는 의미가 없었다($p = 0.509$). 특히 LM과 MV, LM과 AX, AV와 MV, AV와 AX 사이에서 1%가량의 평균 최적의 유발 지연 시점의 차이가 있었다. 심박동 수가 분당 65-74회에서 4 부위의 평균 최적의 유발 지연 시점은 55%에서 58% 사이에 있었으며, 4 부위 사이에서 최대 3% 차이가 있었으나 통계적으로는 의미가 없었다($p = 0.962$). 특히 LM과 AV 사이에서 평균 최적의 유발 지연 시점이 3%로 가장 차이가 컸으며, MV와 AX 사이에서는 차이가 없었다. 분당 75회 이상의 심박동 수에서 4 부위의

평균 최적의 유발 지연 시점은 38%에서 52% 사이로 14%의 차이가 있었으며 통계적으로 의미가 있었다($p = 0.040$). 특히 LM과 MV 사이에서 평균 최적의 유발 지연 시점이 14%로 가장 차이가 컸으며, 다음은 LM과 AV 사이가 13%로 차이가 컸고, AV와 MV 사이가 가장 차이가 작았다.

세 군의 심박동 수와 4 부위에서의 평균 최적의 유발 지연 시점을 절대적 지연으로 비교하여 분석한 결과는 Table 3, 4와 같았다. 분당 65회 미만의 심박동 수에서 4 부위의 평균 최적의 유발 지연 시점은 4 msec(범위: 686-690 msec) 차이가 있었으나 통계적으로는 의미가 없었다($p = 0.054$). 특히 LM과 MV, AV와 MV 사이에서 4 msec의 평균 최적의 유발 지연 시점의 차이가 있었다. 심박동 수가 분당 65-74회에서 4 부위의 평균 최적의 유발 지연 시점은 27 msec(범위: 477-504 msec) 차이가 있었으며 통계적으로는 의미가 없었다($p = 0.497$). AV와 AX 사이에서 평균 최적의 유발 지연 시점이 27 msec로 가장 차이가 컸으며, 다음은 LM과 AV, AV와 MV 사이가 24 msec로 차이가 있었고, LM과 MV에서는 차이가 없었다. 분당 75회 이상의 심박동 수에서 4 부위의 평균 최적의 유발 지연 시점은 46 msec(범위: 299-345 msec)의 차이가 있었으나 통계적으로는 의미가 없었다($p = 0.428$). LM과 AX 사이에서 평균 최적의 유발 지연 시점이 46 msec로 가장 차이가 많았으며, 다음은 LM과 AV 사이가 36 msec로 차이가 많았고 AV와 MV 사이가 가장 차이가 작았다.

심박동 수의 증가에 따른 4 부위에서의 평균 최적의 재구성 지연 시점의 차이를 상대적 지연과 절대적 지연으로 비교하여 분석하였다(Table 2, 4).

Table 1. With Multiphase Reconstruction Based on Relative Delay, the Correlation of Mean Optimal Trigger Delay at the Four Fixed Transverse Planes According to Heart Rate

| Heart Rate (bpm) | Reconstruction Plane | | | | p-value* |
|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | LM (%) | AV (%) | MV (%) | AX (%) | |
| < 65 ($n=10$) | 67 \pm 15 | 67 \pm 15 | 66 \pm 17 | 66 \pm 15 | 0.509 |
| 65-74 ($n=10$) | 58 \pm 19 | 55 \pm 18 | 57 \pm 17 | 57 \pm 20 | 0.962 |
| ≥ 75 ($n=10$) | 38 \pm 11 | 51 \pm 10 | 52 \pm 7 | 45 \pm 14 | 0.040 |

Note: Data is reported as the mean \pm standard deviation

LM = left main coronary artery, AV = aortic valve, MV = mitral valve, AX = cardiac apex

* Statistically significance: $p < 0.05$, using Friedman test

Table 2. With Multiphase Reconstruction Based on Relative Delay, the Difference of Each Mean Optimal Trigger Delays at the Four Fixed Transverse Planes According to Heart Rate

| Heart Rate (bpm) | Reconstruction Plane | | | | | |
|----------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | LM-AV (%) | LM-MV (%) | LM-AX (%) | AV-MV (%) | AV-AX (%) | MV-AX (%) |
| < 65 ($n=10$) | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 65-74 ($n=10$) | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| ≥ 75 ($n=10$) | 13 | 14 | 7 | 1 | 6 | 7 |
| p-value* | 0.124 | 0.008 | 0.000 | 0.130 | 0.077 | 0.018 |

Note: LM-AV = difference between left main coronary artery and aortic valve, LM-MV = difference between left main coronary artery and mitral valve, LM-AX = difference between left main coronary artery and cardiac apex, AV-MV = difference between aortic valve and mitral valve, AV-AX = difference between aortic valve and cardiac apex, MV-AX = difference between mitral valve and cardiac apex

* Statistically significance: $p < 0.05$, using Kruskal-Wallis test

상대적 지연에서는 심박동 수가 증가함에 따라 LM과 AV 사이, LM과 AX 사이, MV와 AX 사이에서 통계적으로 유의하게 차이가 있었다(LM-MV, $p=0.008$; LM-AX, $p=0.000$; MV-AX, $p=0.018$). 절대적 지연에서는 심박동 수가 증가함에 따라 MV-AX에서만 의미 있게 차이가 있었다($p=0.028$).

고 찰

관상동맥 CT 혈관조영술에서 영상의 질을 떨어뜨리는 가장 중요한 원인 중의 하나는 운동인공물(motion artifact)이다. 운동인공물은 stair-step artifact와 흐려짐인공물(blurring artifact)로 나눌 수 있는데, 심혈관의 운동속도가 CT의 시간 해상도(temporal resolution)보다 더 빠른 경우에는 흐려짐인공물(blurring artifact)이 발생한다. Stair-step 인공물은 CT 시행 동안에 호흡 운동이나 심박동 수의 변동으로부터 발생한다(6, 9). 관상동맥은 심박동 수와, 심장 크기, 영상 평면에 대한 심장의 방향에 따라 다양한 움직임을 보이며, 개인 간의 차이도 크다. 따라서 최적의 영상의 질을 얻으려면 관상동맥이 가장 움직임이 적은 시점에 영상을 얻는 것이 매우 중요하다.

Achenbach 등(10)은 전자선 CT(electron beam CT)를 이용하여 RCA, LAD, LCX의 평면 움직임을 측정하였다. RCA는 다른 두 혈관에 비해 평균속도가 의미 있게 빨랐다. 가장 느린 속도를 보인 시기는 수축기 말에서 이완기 초기(end-systole to early diastole)와 심방 수축기 전(대략 R-R간격

의 80%)이었다. 또한, 세 혈관이 가장 느린 평균 속도를 보인 경우는 R-R 간격의 48%이었다. Hoffmann 등(11)은 16 절편 MDCT를 이용하여 평균 분당 63.2회의 느린 심박동 수에서는 R-R 간격의 80%, 평균 분당 82.4회의 빠른 심박동 수에서는 R-R 간격의 50%에서 최적의 유발 지연 시점을 대상 환자의 80%에서 얻을 수 있었고 20%에서는 추가적인 위상이 필요하였는데, R-R간격의 75%와 45-50%에서 우수한 영상을 얻을 수 있었다. Sebastian 등(6)은 64 절편 MDCT를 이용하여 R-R 간격의 20%-80% 사이를 5% 간격으로 영상을 재구성하여 영상의 질을 비교하였다. R-R 간격의 60%에서 영상을 재구성하였을 때, 심박동 수가 분당 65회 이하에서는 모든 관상동맥에서 진단 가능한 영상을 얻을 수 있었고, 분당 65회 이상에서는 단지 87%에서만 진단 가능한 영상을 얻을 수 있다고 하였다. Sanz 등(12)은 R-R 간격의 60-70%의 이완 중기에서 우수한 영상을 얻을 수 있지만, 수축기 말과 이완기 중기 두 시기에서 영상재구성을 하는 것이 이완기에만 영상재구성 하는 것보다 더 나은 영상을 얻을 수 있다고 하였다. Lars Husmann 등(7)은 64 절편 MDCT를 이용하여 관상동맥의 분지 부위를 경계표(landmark)로 하여 관상동맥의 3차원 움직임을 측정하였다. 가장 빠른 움직임을 보인 관상동맥은 RCA이었으며, 그 중 예각변연분지(acute marginal branch)의 기시부와 우측심실분지(right ventricular branch)의 기시부가 다른 부위보다 의미 있게 가장 빠른 움직임을 보인다고 하였다. 심박동 수가 분당 60회 이하에서는 R-R 간격의 50-60%, 분당 60-70회에서는 R-R 간격의 60-70%, 분당 71-83회에서는 R-R 간격의 70-80%, 분당 83회

Table 3. With Multiphase Reconstruction Based on Absolute Delay, the Correlation of Mean Optimal Trigger Delay at the Four Fixed Transverse Planes According to Heart Rate

| Heart Rate (bpm) | Reconstruction Plane | | | | p-value* |
|------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | LM (msec) | AV (msec) | MV (msec) | AX (msec) | |
| < 65 (n=10) | 690 ± 143 | 690 ± 149 | 686 ± 184 | 689 ± 153 | 0.054 |
| 65-74 (n=10) | 501 ± 166 | 477 ± 151 | 501 ± 147 | 504 ± 157 | 0.497 |
| ≥ 75 (n=10) | 299 ± 88 | 335 ± 81 | 328 ± 90 | 345 ± 96 | 0.428 |

Note: Data is reported as the mean ± standard deviation

LM = left main coronary artery, AV = aortic valve, MV = mitral valve, AX = cardiac apex

* Statistically significance: $p < 0.05$, using Friedman test

Table 4. With Multiphase Reconstruction Based on Absolute Delay, the Difference of Each Mean Optimal Trigger Delays at the Four Fixed Transverse Planes According to Heart Rate

| Heart Rate (bpm) | Reconstruction Plane | | | | | |
|------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | LM-AV (msec) | LM-MV (msec) | LM-AX (msec) | AV-MV (msec) | AV-AX (msec) | MV-AX (msec) |
| < 65 (n=10) | 0 | 4 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 65-74 (n=10) | 24 | 0 | 3 | 24 | 27 | 3 |
| ≥ 75 (n=10) | 36 | 29 | 46 | 7 | 10 | 17 |
| P-value* | 0.135 | 0.217 | 0.100 | 0.170 | 0.082 | 0.028 |

Note: LM-AV = difference between left main coronary artery and aortic valve, LM-MV = difference between left main coronary artery and mitral valve, LM-AX = difference between left main coronary artery and cardiac apex, AV-MV = difference between aortic valve and mitral valve, AV-AX = difference between aortic valve and cardiac apex, MV-AX = difference between mitral valve and cardiac apex.

* Statistically significance: $p < 0.05$, using Kruskal-Wallis test

이상에서는 R-R 간격의 30-40%에서 재구성해야 우수한 영상을 얻을 수 있다고 하였다.

이전 연구에서는 R-R 간격의 5% 또는 10% 증가, 20 msec 증가로 최적의 유발 지연 시점을 결정하였는데, 본 연구에서는 다중위상재구성기법을 이용하여 R-R 간격의 1%와 10 msec 증가에 의한 상대적 지연과 절대적 지연으로 좀 더 정확하게 4 부위에서의 최적의 유발 지연 시점을 결정하였다. 다중위상재구성기법은 CT 워크스테이션(workstation)에서 재구성하고자 하는 심박 부위의 축면영상(axial image)을 R-R간격 내에서 %, 또는 msec로 여러 상(phase)을 원하는 간격으로 재구성할 수 있다. 이 기법으로 재구성한 축면 영상은 상대적 지연에서는 심박동 수와 관계없이 일정한 수의 영상을 얻을 수 있지만, 절대적 지연에서는 심박동 수에 따라 얻어지는 영상의 수가 달라진다. 이 방법으로 한 부위에서의 모든 주요 관상동맥이 동시에 가장 경계가 분명하고 둥글게 보이는 시간을 결정할 수 있다. 다중위상재구성기법을 이용한 평균 최적의 유발 지연 시점은 심박동 수가 분당 65회 미만에서는 상대적 지연에서는 66%, 절대적 지연에서는 700 msec, 분당 65-74회의 심박동 수에서는 57%, 496 msec이었고, 분당 75회 이하의 심박동 수에서는 46%, 327 msec로 수축기 말부터 이완기 중

기 사이에서 평균 최적의 유발 지연 시점이 있음을 알 수 있으며 분당 75회 이상의 심박동 수에서 평균 최적의 유발 지연 시점이 이완기에서 수축기 말로 이동하는 것을 알 수 있었다. 위와 같은 결과는 이전에 보고된 결과와 유사하였다(4, 5, 10, 12, 13).

심박동 수가 분당 65회 미만에서는 4 부위에서의 평균 최적의 유발 지연 시점이 차이(상대적 지연 1%, 절대적 지연 4 msec)가 거의 없었고 따라서 이완기 중기(R-R 간격의 66%와 700 msec)에 영상을 재구성하였을 때 우수한 영상의 질을 얻을 수 있다. 위와 같은 결과는 심박동 수가 분당 65회 미만에서 R-R 간격의 60%에서 영상을 재구성하였을 때 모든 관상동맥에서 진단 가능한 영상을 얻을 수 있었다는 Sebastian 등(6)이 보고한 결과와 유사하였다. 따라서 분당 65회 미만의 심박동 수에서는 이완기 중기의 한번의 재구성 영상으로 진단 가능한 영상을 얻을 수 있다. 분당 65-75회 사이의 빠른 심박동 수에서는 4 부위에서의 평균 최적의 유발 지연 시점이 차이(상대적 지연 3%, 절대적 지연 27 msec)가 분당 65회 미만의 심박동 수보다는 차이가 있어 영상의 질이 분당 65회 미만의 심박동 수보다 떨어질 것으로 생각된다. 그렇지만, 5%간격 또는 20 msec간격으로 연구한 이전 결과와 비교해 보면 최대

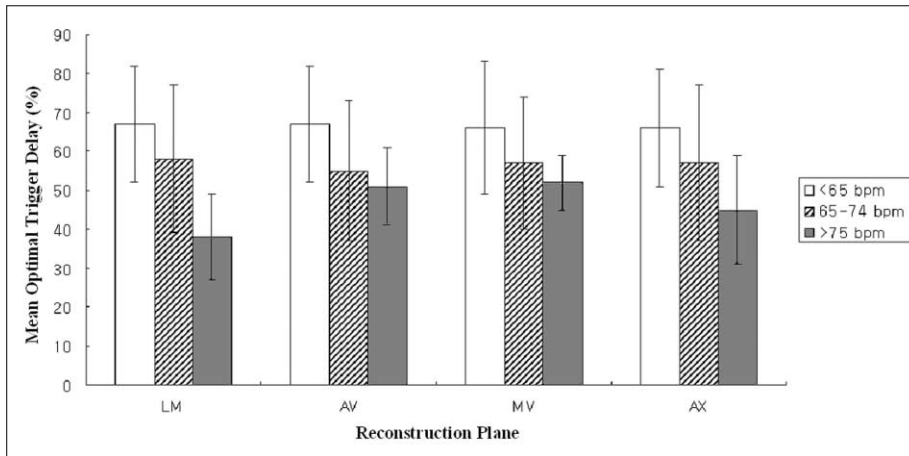
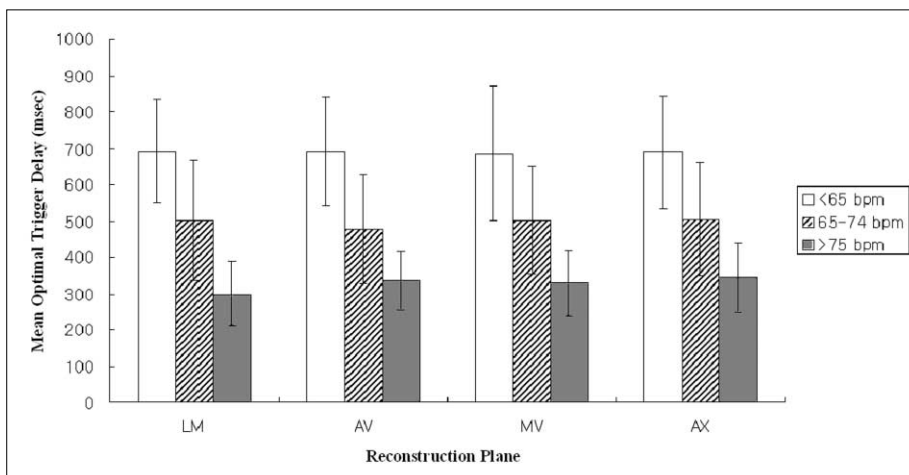


Fig. 3. In the mean optimal trigger delay time based on relative delay (A) and absolute delay (B) at the four fixed transverse planes, the differences of mean optimal trigger delay with higher heart rates were increased. Especially, the difference of mean optimal trigger delay based on relative delay with heart rates more than 75 bpm was significantly increased than that based on absolute delay ($p=0.040$). LM = left main coronary artery, AV = aortic valve, MV = mitral valve, AX = cardiac apex.



3% 또는 27 msec 차이는 같은 위상이거나 또는 바로 인접한 위상에 해당하는 것으로 영상의 질의 차이는 미미하다고 할 수 있다. 분당 75회 이상의 심박동 수에서는 최대 14%, 46 msec 차이가 나 한 번의 영상 재구성으로 진단 가능한 영상을 얻기 어려워서 최대 14% 또는 46 msec차이의 인접 위상에서 또 다른 영상을 재구성하여 같이 보는 것이 필요하다고 생각한다. 특히 심박동 수가 빨라짐에 따라 대동맥관과 승모관이 보이는 부위가 심장의 심첨이나 심저부가 보이는 부위와 의미 있게 차이가 있는데 이는 RCA의 영향에 의한 것으로 생각된다. RCA의 중간 부위의 움직임이 다른 부위에 비해 운동 속도가 빠르므로 이 부위에서의 평균 최적의 유발 지연 시점이 다른 부위와 차이가 많이 나는 것으로 생각된다(5, 7, 10, 14, 15).

재구성기법도 우수한 영상의 질을 결정하는데 영향을 준다. Herzog 등(4)은 16 절편 MDCT를 이용한 연구에서 절대적 지연으로 재구성한 영상이 상대적 지연으로 재구성한 영상보다 의미 있게 영상의 질이 좋았다고 하였다. Sato 등(16)도 16 절편 MDCT를 이용하여 심방세동(atrial fibrillation)을 가진 11명의 환자를 대상으로 절대적 지연과 상대적 지연으로 영상을 재구성하였을 때, 절대적 지연으로 수축기말에 얻은 영상이 더 우수한 영상의 질을 얻을 수 있었다고 하였다.

본 연구에서도 심박동 수가 증가함에 따라 4 부위에서의 재구성 지연 시점의 차이가 증가하였는데, 특히 심박동 수가 분당 75회 이상에서는 상대적 지연으로 재구성하였을 때 네 부위에서의 평균 최적의 재구성 지연 시점이 의미 있게 차이가 있어 분당 75회 이상의 빠른 심박동 수에서는 상대적 지연이 절대적 지연보다 더 최적의 유발 지연 시점을 결정하는 것이 어려움을 알 수 있다(Fig. 3). 그 이유는 심박동 수가 증가할수록 이완기의 움직임이 적은 시기가 짧아지게 되는데 비해 수축기의 움직임이 적은 시기는 상대적으로 변화가 적다(4, 7, 10, 17). 따라서 R과 후의 일정한 시간에 영상을 재구성하는 절대적 지연에서는 수축기에 영향을 많이 받게 되고 따라서 심박동 수의 증가에 대해 덜 영향을 받게 되지만, 상대적 지연은 심박동 수의 증가에 관계없이 R-R 간격을 상대적으로 일정하게 나누어 재구성하게 되므로 심박동 수의 증가에 영향을 많이 받아 부위별로 최적의 재구성 지연 시점의 차이가 많이 나는 것으로 생각된다.

본 연구의 다음과 같은 제한점이 있다. 첫째, 대상군의 크기가 30명(각 심박동 수 군 별로 10명)으로 적어 최적의 유발 지연 시점의 평균 수치와 통계적 유의성을 평가하기에는 부족한 점이 있으므로 더 많은 대상군으로 비교하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 불규칙 심박동 수와 규칙 심박동 수를 따로 구분하지 않았다. 본 연구에서는 CT 스캔 도중 심박동 수가 분당 10회 이상 차이가 나는 불규칙 심박동 수를 가진 환자가 5명으로 규칙 심박동 수를 가진 25명에 비해 적은 수였지만 어느 정도 결과에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 셋째, 본 연구에서는 다중위상재구성기법을 이용하여 최적의 유발 지연 시점만 구하였고 그 시점에서 재구성한 관상동맥 영상과 비교하지 않았다.

결론적으로 다중위상재구성기법을 이용하여 1%와 10 msec

간격으로 얻은 4부위에서의 최적의 유발 지연 시점은 수축기 말에서 이완기 중기 사이에 있었다. 또한, 심박동 수가 분당 75회 미만에서는 네 부위의 평균 유발 지연 시점이 차이가 매우 작아 이완기 초기와 중기(R-R 간격의 57-66%와 496-700 msec)에 한 번의 영상 재구성으로 진단 가능한 영상을 얻을 수 있다. 그러나 분당 75회 이상의 심박동 수에서는 4 부위에서의 평균 유발 지연시점이 차이가 75회 미만의 심박동 수에 비해 많았으며, 특히 절대적 지연보다 상대적 지연에서 차이가 커 상대적 지연에서 영상의 질이 떨어짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Lawler LP, Pannu HK, Fishman EK. MDCT evaluation of the coronary arteries, 2004: how we do it-data acquisition, postprocessing, display, and interpolation. *AJR Am J Roentgenol* 2005;184:1402-1412
2. Kim DJ, Kim TH, Kim SJ, Kim DP, Oh CS, Ryu YH, et al. Saline flush effect for enhancement of aorta and coronary arteries at multidetector CT coronary angiography. *Radiology* 2008;246:110-115
3. Herzog C, Abolmaali N, Balzer JO, Baunach S, Ackermann H, Dogan S, et al. Heart-rate-adapted image reconstruction in multidetector-row cardiac CT: influence of physiological and technical prerequisite on image quality. *Eur Radiol* 2002;12:2670-2678
4. Herzog C, Arning-Erb M, Zangos S, Eichler K, Hammerstingl R, Dogan S, et al. Multi-detector row CT coronary angiography: influence of reconstruction technique and heart rate on image quality. *Radiology* 2006;238:75-86
5. Giesler T, Baum U, Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Mennicke M, et al. Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multidetector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection. *AJR Am J Roentgenol* 2002;179: 911-916
6. Leschka S, Husmann L, Desbiolles LM, Gaemperli O, Schepis T, Koepfli P, et al. Optimal image reconstruction intervals for non-invasive coronary angiography with 64-slice CT. *Eur Radiol* 2006;16:1964-1972
7. Husmann L, Leschka S, Desbiolles L, Schepis T, Gaemperli O, Seifert B, et al. Coronary artery motion and cardiac phases: dependency on heart rate-implication for CT image reconstruction. *Radiology* 2007;245:567-576
8. Leschka S, Wildermuth S, Boehm T, Desbiolles L, Husmann L, Plass A, et al. Noninvasive coronary angiography with 64-section CT: effect of average heart rate and heart rate variability on image quality. *Radiology* 2006;241:378-385
9. Choi HS, Choi BW, Choe KO, Choi D, Yoo KJ, Kim MI, et al. Pitfalls, artifacts, and remedies in multi-detector row CT coronary angiography. *Radiographics* 2004;24:787-800
10. Achenbach S, Ropers D, Holle J, Muschiol G, Daniel WG, Moshage W. In-plane coronary arterial motion velocity: measurement with electron-beam CT. *Radiology* 2000;216:457-463
11. Hoffmann MH, Shi H, Manzke R, Manzke R, Schmid FT, De Vries L, et al. Noninvasive coronary angiography with 16-detector row CT: effect of heart rate. *Radiology* 2005;234:86-97
12. Sanz J, Rius T, Kuschnir P, Fuster V, Goldberg J, Ye XY, et al. The importance of end-systole for optimal reconstruction protocol of coronary angiography with 16-slice multidetector computed tomography. *Invest Radiol* 2005;40:155-163
13. Hamior XL, Flohr T, Hamoir V, Labaki L, Tricquet JY, Duhamel

- A, et al. Coronary arteries: assessment of image quality and optimal reconstruction window in retrospective ECG-gated multislice CT at 375-ms gantry rotation time. *Eur Radiol* 2005;15:296-304
14. Schroeder S, Kopp AF, Kuettner A, Burgstahler C, Herdeg C, Heuschmid M, et al. Influence of heart rate on vessel visibility in noninvasive coronary angiography using new multislice computed tomography experience in 94 patients. *Clin Imaging* 2002;26:106-111
15. Nieman K, Rensing Bj, van Geuns RJ, Vos J, Pattynama PM, Krestin GP, et al. Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart. *Heart* 2002;88:470-474
16. Sato T, Anno H, Kondo T, Harigaya H, Inoue K, Kakizawa S, et al. Application of ECG-gated multislice helical CT to patients with atrial fibrillation. *Circ J* 2005;69:1068-1073
17. 김동훈, 최상일, 이경원, 강성권, 최성훈, 서준범 등. 다절편 전산화 단층촬영을 이용한 관상동맥영상: 1부 - 기술적 측면. *대한영상의학회지* 2004;51:401-408

J Korean Radiol Soc 2008 ; 59 : 361-368

The Effect of a Reconstruction Technique and Heart Rate in the Evaluation of Optimal Trigger Delay Using Multiphase Reconstruction¹

Young Jun Cho, M.D.

¹Department of Radiology, Konyang University School of Medicine, Daejeon, Korea

Purpose: To evaluate the mean optimal trigger delays and the difference between the absolute delay and the relative delay as a function of heart rate, using multiphase reconstruction.

Materials and Methods: A total of 30 patients consecutively underwent a 64-slice MDCT examination. Optimal trigger delays at four planes (the bifurcation of the left main coronary artery, aortic valve, mitral valve and cardiac apex) were measured using multiphase reconstruction based on the absolute and relative delay. For this reason, patients were divided into three groups according to heart rate (group I, < 65 bpm; group II, 65-74 bpm; group III, ≥ 75 bpm), and the mean optimal trigger delays and the difference between the absolute delay and the relative delay were evaluated at the four planes for each group.

Results: The mean optimal trigger delay for the relative delay and absolute delay ranged from 46% to 66% and from 327 to 700 msec, respectively. The differences in the mean optimal trigger delay using the relative and the absolute delay at the four planes were 1% and 4 msec (group I), 3% and 27 msec (group II), and 14% and 46 msec (group III). In group III, the difference of the mean optimal trigger delay based on the relative delay, increased significantly compared to the absolute delay ($p = 0.040$).

Conclusion: For the patients analyzed, the results suggest that as the heart rate increased, the mean optimal trigger delays shifted from the mid-diastolic phase to the end-systolic phase and the differences in the mean optimal trigger delay at the four planes were significantly greater for the relative delay.

Index words : Heart coronary vessels
Tomography, X-ray computed
Image processing, computer-assisted

Address reprint requests to : Young Jun Cho, M.D., Department of Radiology, University of Konyang School of Medicine
685 Gasuwon-dong, Seo-gu, Daejeon 302-801, Korea.
Tel. 82-42-600-9040 Fax. 82-42-600-9193 E-mail: CYJ126@paran.com