



<병원제공용> 자료는 수의사 선생님들께서
진료에 참고될 자료를 선별하여 정보를 제공해 드리는 것을 목적으로 합니다.
자료 내용 수정 및 2차 가공, 배포를 금지합니다.

Cardiac CT의 원리와 활용도

비엔동물전문의료센터
영상의학과

10

비엔 영상의학과 월간지 25년 10월호

이번 영상의학과 월간지에서는 수의학 분야에서 점점 주목받고있는 Cardiac CT의 원리와 활용도에 대하여 소개해보고자 합니다.

1. Cardiac CT, 왜 지금 주목해야 할까?

반려견에서 심장 질환은 비교적 흔하게 진단되는 질환군으로, 소형견에서는 퇴행성 판막 질환, 특히 승모판 폐쇄부전증(MMVD) 이 높은 빈도로 나타나며, 어린 연령의 개체에서는 동맥관 개존증(PDA), 폐동맥 협착증(PS), 대동맥 협착증(SAS) 등 선천성 심장기형 이 대표적으로 확인됩니다. 또한 중·대형견에서는 심근증, 심장 종양, 심낭 질환 등의 발생도 상대적으로 많아, 견종과 나이에 따른 감별 진단이 중요합니다. 전통적으로는 청진, 흉부 방사선, 심장초음파 검사가 진단의 중심이었지만, 이러한 방법만으로는 심장, 대혈관, 심낭 등의 해부학적 구조나 병변의 정확한 위치를 파악하는 데 한계가 있습니다.

인류에서는 64채널 이상의 CT 스캐너가 도입된 이후, 심장과 인접 구조물의 영상(image)을 심장 주기의 어느 시점에서든 재구성할 수 있게 되면서, 심장 CT는 심장 형태 및 기능에 대한 종합적 평가를 위한 중요한 영상 진단법으로 자리 잡았습니다.

수의학 분야에서는 2011년에 64-MDCT를 이용해 개의 관상동맥 평가에 처음 적용되었으며, 이후 다양한 연구를 통해 심장 구조의 형태학적 특성이 밝혀지고, 초음파, 자기공명영상(MRI), CT 측정값 간의 비교 연구들이 발표되었습니다. 최근 들어 Cardiac CT를 이용한 평가가 점차 확대되고 있으며, 비침습적이면서 해부학적 정확도가 높은 영상 진단법으로서 수의 임상에서의 중요성이 커지고 있습니다.

2. Cardiac CT의 기본 원리

CT 데이터는 심장 움직임이 적은 심장 주기의 특정 단계에서 평가되어야 합니다. 심장을 사실상 고정(freeze)시키는 두 가지 방법이 있는데, 하나는 전향적 동기화(prospectively gating with sequential)이고, 다른 하나는 후향적 심전도 동기화(retrospective ECG gating)입니다.

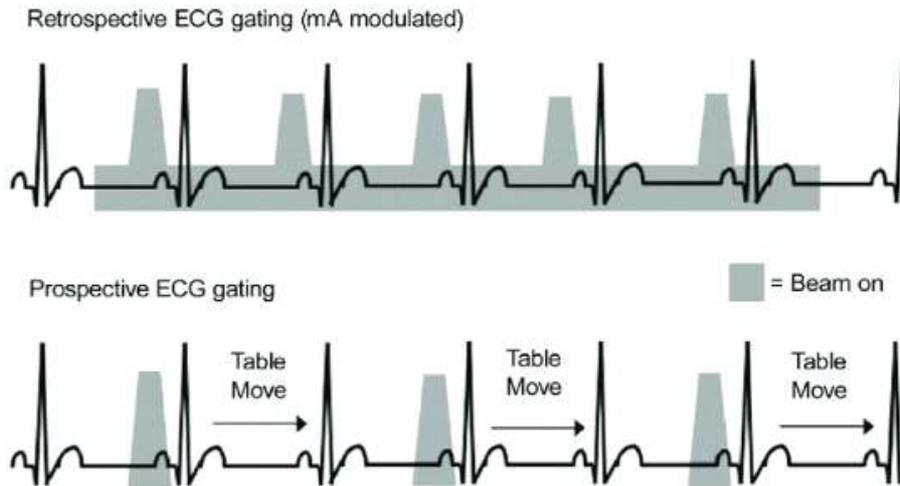
1) 전향적 동기화 연속 촬영 (prospectively ECG-triggered sequential CT-scanning)

전향적 동기화 연속 CT 촬영에서는 심장의 움직임이 가장 적은 이완기 단계에서 영상을 획득할 수 있도록, 심장 박동과 CT 촬영이 동기화됩니다. 각 스캔 후에는 CT 테이블이 z축 방향으로 이전에 촬영한 범위만큼 이동하며 다음 위치를 촬영하는 방식(step-and-shoot)으로 진행됩니다.

하지만 이러한 순차적 촬영 방식에서는 심박수의 작은 변화만으로도 촬영이 서로 다른 심장 주기에서 이루어질 수 있어, 움직임에 의한 아티팩트(motion artifact)나 z축 방향 병변 위치의 불일치가 발생할 수 있다는 단점이 있습니다. 특히 부정맥이나 조기 심실 수축(PVC)과 같이 심박수 변동이 있는 환자의 경우, 다음 R-R 간격의 예측이 어려워 일부 심장 부위의 영상이 완전히 판독 불가능해질 수 있다는 단점이 있습니다.

2) 후향적 심전도 동기화 촬영 (retrospectively ECG-gated spiral scanning)

후향적 ECG 동기화 나선형 촬영에서는 CT 스캔이 연속적으로 나선형으로 진행되며, 동시에 기록된 ECG 신호가 동기화되어 영상이 재구성됩니다. 이 방식의 가장 큰 장점은 간격이나 위치의 불일치 없이 심장 전체 체적(volume)에 대한 영상을 획득할 수 있다는 점이며, 심장 주기 전체에서 영상 분석에 가장 적합한 R-R 간격을 선택할 수 있습니다. 특히 심박수가 빠르고 불규칙한 소형견과 같은 환자에서 매우 유용한 촬영 기법입니다.



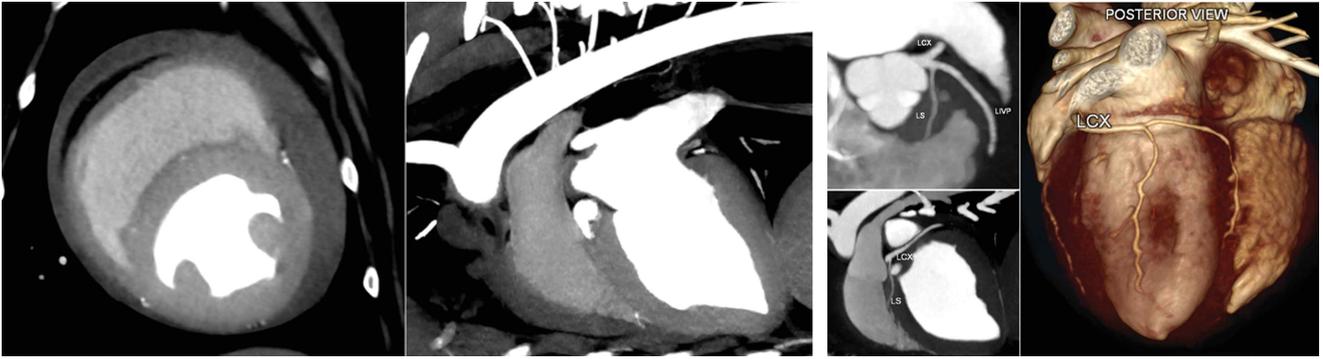
[그림 1] 전향적 동기화와 후향적 동기화 촬영의 차이 모식도

조영제의 혈류 분포에 영향을 미치는 요인은 크게 세 가지로 분류할 수 있습니다

(1) 환자 관련 요인(patient-related factors), (2) 조영제 관련 요인 (CM-related factors), (3) MDCT 스캐너 관련 요인입니다. 조영제 주입 프로토콜은 환자의 체중과 심박출량(cardiac output)을 고려하여 결정해야 하며, 마취 후 변화된 심박수와 혈압 등 환자의 생리적 특성에 따라 최적의 촬영 타이밍을 맞추기 위해 bolus-tracking 또는 test bolus 기법이 사용됩니다.

<p>bolus-tracking technique</p>	<p>Bolus-tracking 기법은 조영제를 정맥 내 주입한 후, 실시간으로 특정 해부학적 구조를 관심 영역(ROI, Region of Interest)으로 설정하고, 해당 부위의 조영 밀도(Hounsfield Unit, HU)가 미리 정한 임계값(threshold)을 초과하면 자동으로 스캔을 시작하는 기술입니다. 이 방식은 일정 시간 후 촬영을 시작하는 fixed-delay 기법과 달리, 환자의 혈류 속도나 심박수 변화에 영향을 받지 않고, ROI의 조영이 최적화된 시점에 영상 획득이 가능하다는 장점이 있습니다. 심혈관계 영상 (예: 대동맥, 관상동맥, 폐동맥)이나 종양의 전이 평가 등에서 영상의 정확도와 진단적 가치를 높이는 데 매우 유용합니다.</p>
<p>test bolus technique</p>	<p>Test bolus 기법은 소량의 조영제를 미리 주입한 후, 특정 해부학적 구조(예: 상행 대동맥, 폐동맥 등)에서 시간에 따른 조영 밀도(Hounsfield Unit, HU)를 측정하여 조영제 도달 시점(TTP, time-to-peak)을 파악한 뒤, 이를 기반으로 본 스캔의 시작 시점을 설정하는 방식입니다. 이 방법은 환자 개별 혈류 동태를 고려한 정확한 타이밍 설정이 가능하다는 장점이 있습니다. Test bolus 기법의 주요 단점은 추가로 소량의 조영제를 별도로 주입해야 하기 때문에 전체 조영제 사용량이 증가한다는 점입니다. 또한, 조영제 도달 시간(time-to-peak)을 예측하는 과정이 필요해 검사 준비 시간이 길어질 수 있으며, 심혈관 상태가 불안정한 환자에서는 적용이 어려울 수 있다. 이러한 이유로, 환자의 상태와 검사 목적에 따라 bolus-tracking 기법과 적절히 선택하여 사용하는 것이 중요합니다.</p>

관상동맥 평가를 위한 표준 심장 CT에서는 ROI(관심 영역)를 오름대동맥(ascending aorta)에 설정하는 것이 일반적이며, 좌심실 및 좌심방의 벽, 내강, 그리고 이첨판막까지 균일한 조영 증강이 가능합니다. 반면, 우심방 및 우심실 등 우측 심장 구조물의 평가를 위한 경우에는 ROI를 주폐동맥(main pulmonary artery)에 설정하는 것이 이상적입니다



[그림 2] 128-채널 이중원형 CT(128-DSCT)를 이용한 후향적 ECG 동기화 심장 영상. 표준 심장 CT 방식으로 오른 대동맥에 ROI(관심 영역)를 설정하여 촬영이 진행 되었으며, 대동맥, 좌심방, 좌심실이 강하게 조영 된 것이 확인됨

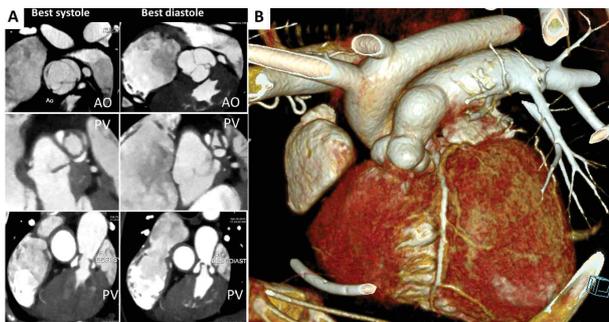
고농도의 조영제가 전대정맥 및 우심방에 저류할 경우, Streak artifact에 의해 일부 해부학 구조물이 가려지거나, 실제로 존재하지 않는 종괴나 혈전처럼 보일 수 있습니다. 이러한 문제를 최소화하고 심장 구조물의 균일한 조영증강을 유도하기 위해, 조영제 주입 후 생리 식염수 (normal saline)으로 flushing 하는 dual injection 기법을 사용하게 됩니다.

3. Cardiac CT의 적응증 - 언제 의뢰하면 좋을까요?

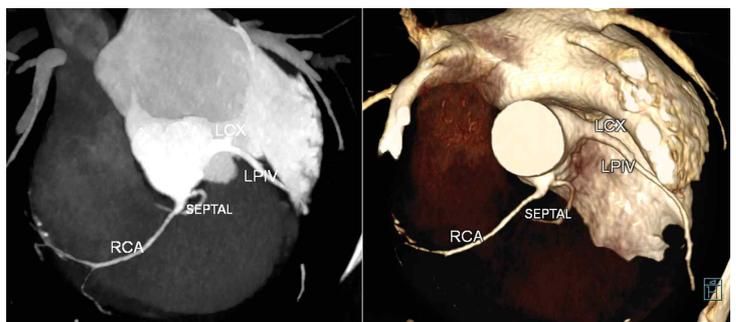
심장 CT는 일반적인 CT 영상에 비해, 심장 내부 구조, 작은 관상동맥 및 주요 혈관에 대해 뛰어난 해상도를 보여 줍니다. 비침습적으로 내부 구조에 대한 평가가 가능하며, 수술 혹은 중재적 시술 전/후 평가에 도움이 될 수 있습니다. 또한, 움직임에 의한 왜곡이 적어 심장 혹은 심막 종양이 의심될 경우 병변의 경계를 보다 정확하게 구분할 수 있습니다.

1) 새로운 영역의 진단

- 폐동맥 협착증(PS)과 같은 심장 판막 관련 질환
- 관상 동맥 질환
- 심장 내 혈전
- 심장 내 혈전



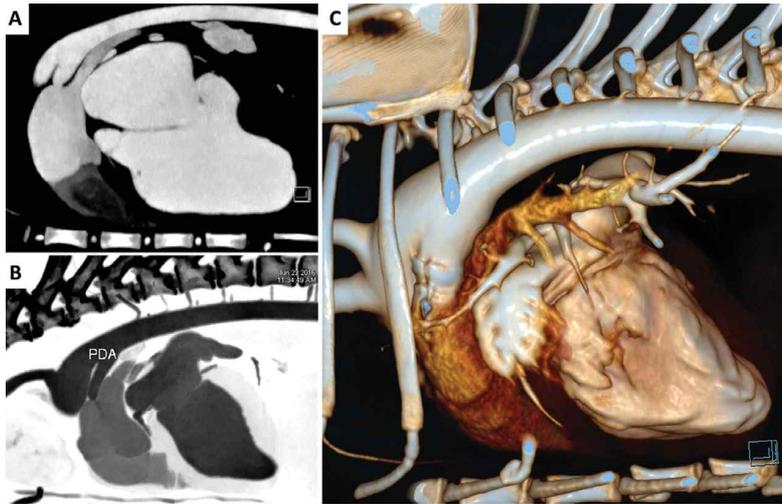
[그림 3] 폐동맥 협착증이 있는 개에서의 후향적 ECG 동기화 128-채널 이중원형 CT(128-DSCT) 영상. A. 소프트웨어에 의해 재구성된 수축기 및 이완기 최적 영상. B. 폐동맥 협착증과 협착 후 우심실 유출로 확장을 보이는 또 다른 개의 3D 재구성 영상.



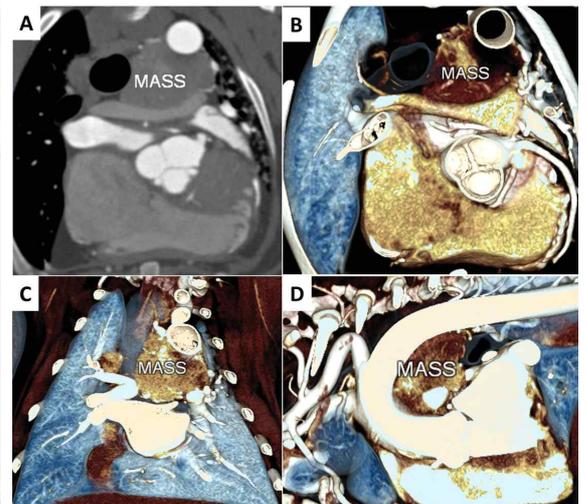
[그림 4] 관상동맥의 반대쪽 관상동맥동 기시(ACAOS)가 있는 개에서의 후향적 ECG 동기화 128-채널 이중원형 CT(128-DSCT) 영상

2. 기존 질병의 명확한 진단

- 동맥관 개존증(PDA), 우동맥궁잔존증 (PRAA) 등 혈관 기형
- 심장 및 심낭 유래 종양

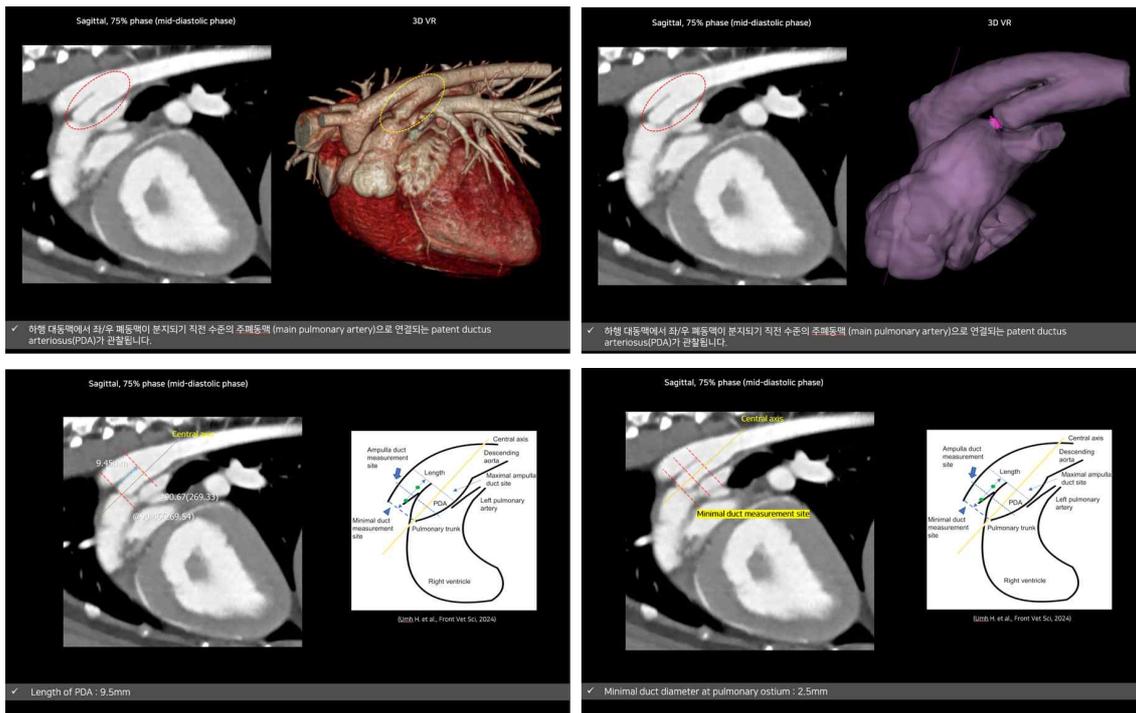


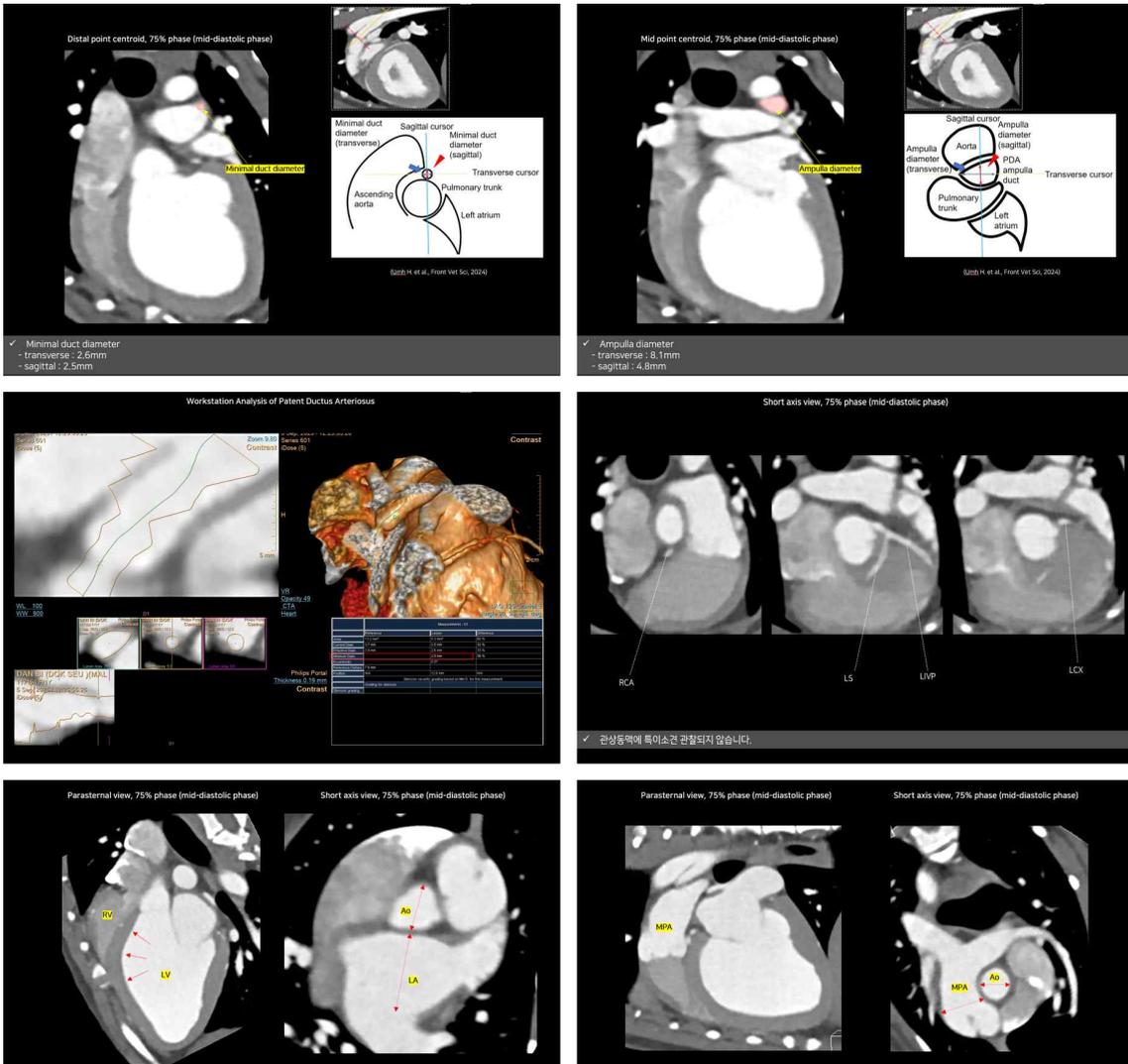
[그림 5] 동맥관 개존증이 있는 개에서의 후향적 ECG 동기화 128-채널 이중원형 CT(128-DSCT) 영상. A. 중재적 시술 전 평가 B. Amplatzer duct occluder로 교정 후 3D 재구성 영상



[그림 6] 심기저부 종양 환자의 후향적 ECG 동기화 128-채널 이중원형 CT(128-DSCT) 영상.

4. 비엔 영상의학센터 심장 CT 판독 리포트 예시





출처

Bertolini G, Angeloni L. Computed Tomography - Advanced Applications. InTech; 2017. p. 251-269 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3164.2009.00756.x> | Citations: 46 CADESI)

<병원제공용>