

Imaging cardio-vascolare del torace con Tomografia Computerizzata multistrato a 16 canali e gating elettrocardiografico retrospettivo

Nota tecnica

Filippo CADEMARTIRI - Giuseppe RUNZA*
Riccardo MARANO** - Giacomo LUCCICHENTI***
Massimo MIDIRI*

Scopo. Applicare il gating cardiaco retrospettivo alla TC spirale multislice (TCMS) a 16 strati per la valutazione dei vasi del torace.

Materiale e metodi. Quarantotto pazienti sono stati sottoposti ad esame TCMS a 16 strati (Sensation 16 - Siemens, Germania) per lo studio dei vasi toracici. Nel gruppo 1 (n. 33) la TCMS è stata effettuata con gating cardiaco retrospettivo; nel gruppo 2 di controllo (n. 15) è stata effettuata una angio-TCMS convenzionale. Sono state valutate: 1) la presenza o assenza di artefatti da movimento respiratorio, da indurimento del fascio e/o da difetti di gating cardiaco; 2) la visualizzazione (ottimale, buona e scarsa) delle grosse strutture vascolari intratoraciche (aorta, arterie e vene polmonari); 3) la visualizzazione (presente o assente) dei tratti prossimale, medio e distale (visualizzato o non visualizzato) delle arterie coronarie (tronco comune della coronaria sinistra - Tc, arteria discendente anteriore - ADA, arteria circonflessa - Cx, arteria coronaria destra - CDx).

Risultati. Nell'aorta ascendente si sono osservati artefatti da movimento in 3 (20%) pazienti del gruppo 2 contro nessuno nel gruppo 1. Nel gruppo 1 i tratti prossimali di ADA, Cx e CDx sono stati valutabili nel 94%, 91%, e 91% dei casi rispettivamente. Il Tc è stato visualizzato in 32 casi (97%) nel gruppo 1 e in 10 casi (67%) nel gruppo 2. Nel gruppo 2 i tratti prossimali dell'ADA, di Cx e di CDx sono risultati non valutabili.

Conclusioni. La TCMS a 16 strati con gating cardiaco retrospettivo consente di ottenere informazioni aggiuntive sul tratto ascendente dell'aorta toracica e sulle arterie coronarie.

PAROLE CHIAVE: Tomografia Computerizzata spirale - Gating cardiaco retrospettivo - Vasi intratoracici - Arterie coronarie - Angiografia non invasiva.

Thoracic cardiovascular imaging with 16-row multislice Computed Tomography and retrospective ECG-gating. Technical note

Purpose. To apply the retrospective ECG-gating to the 16-row MSCT scan of intrathoracic vessels.

Materials and methods. Forty-eight patients underwent MSCT with a new 16-row scanner (Sensation 16-Siemens) for the study of the great intrathoracic vessels. In group 1 (33 patients) a retrospectively ECG-gated protocol was applied; in the control-group 2 (15 patients) a conventional MSCT protocol for thoracic imaging was applied. Images were scored regarding 1) the presence or absence of artefacts determined by breath-hold, beam hardening and mis-triggering; 2) the visualisation (optimal, mild and poor) of great intrathoracic vessels (aorta, pulmonary arteries and veins); 3) the visualisation (presence or absence) of proximal, mid and distal coronary arteries (left main, left anterior descending, circumflex, and right coronary artery).

Results. Ascending aorta showed motion artefacts in 3 (20%) cases in group 2 and none in group 1. In group 1, proximal LAD, CX, and RCA were assessable in 94%, 91%, and 91%, respectively. Left main coronary artery was assessable in 32 (97%) and 10 (67%) cases for group 1 and 2, respectively. In group 2, proximal segments of left anterior descending (LAD), circumflex (CX), and right coronary artery (RCA), were almost not assessable.

Conclusions. The retrospectively ECG-gated 16-row MSCT provides more information regarding ascending aorta and coronary arteries.

KEY WORD: Spiral Computed Tomography - Retrospective ECG gating - Thoracic vessels - Coronary arteries - Non-invasive angiography.

Introduzione

L'imaging con tomografia computerizzata (TC) delle strutture vascolari intra-toraciche, ed in particolar modo dell'aorta ascendente e delle arterie coronarie, è caratterizzato dalla presenza di artefatti da movimento dovuti al battito cardiaco. Con studi TC convenzionali tali artefatti non consentono, in alcun modo, un'adeguata valutazione del circolo coronarico e possono costituire delle vere e proprie trappole diagnostiche nella valutazione, ad esempio, della parete e lume dell'aorta toracica in caso di sospetta dissezione aortica acuta o di ematoma intramurale acuto.

L'avvento della tecnologia TC spirale multistrato (TCMS)

Introduction

The imaging of vascular structures of the thorax using computed tomography (CT) is deteriorated by cardiac motion artifacts, particularly in the ascending aorta and the coronary arteries. In conventional CT examinations, these artifacts do not allow an adequate assessment of the coronary vasculature and may generate diagnostic pitfalls; for instance, in the assessment of the aortic wall in case of acute aortic dissection or haematoma.

Multislice CT technology (MSCT) with 4 detector rows reduces cardiac motion artifacts through a specific software which allows image reconstruction by synchronizing

con 4 file di detettori ha reso possibile la riduzione degli artefatti da movimento cardiaco mediante l'applicazione del software di sincronizzazione della ricostruzione delle immagini e del tracciato elettrocardiografico (ECG) del paziente [1].

Dall'inizio del 2002 è disponibile una nuova generazione di scanner TCMS caratterizzata da un maggior numero di file di detettori e da una più elevata velocità di rotazione del sistema tubo radiogeno/detettori [2], in grado di acquisire ampi volumi anatomici in minor tempo con elevate risoluzioni spaziale ($0,6 \times 0,6 \times 0,8$ mm) e temporale (210 ms). I primi lavori con TCMS e gating cardiaco retrospettivo hanno mostrato risultati promettenti nella valutazione delle stenosi delle arterie coronariche [2].

Basandoci su tali caratteristiche tecniche abbiamo applicato al protocollo TCMS convenzionale per lo studio del torace durante il mantenimento di una singola apnea respiratoria il gating cardiaco retrospettivo, verificando la possibilità di ridurre o addirittura di eliminare gli artefatti da movimento cardiaco e, di conseguenza, quelli trasmessi alle strutture vascolari contigue [3-5].

Scopo di questa preliminare esperienza è quella di valutare l'applicazione di tale protocollo ed i vantaggi che possono derivarne nello studio Angio-TC delle strutture vascolari intratoraciche

Materiale e metodi

Popolazione in studio

Trentatré pazienti (Gruppo 1 - 26 maschi e 7 femmine, età media 59 ± 18 anni), con indicazioni cliniche per uno studio Angio-TC del torace (6 casi di sospetta dissezione aortica, 5 casi di coartazione aortica, 17 casi di studio dell'anatomia delle vene polmonari preliminare ad intervento di termoablazione per aritmia sopra-ventricolare, 2 casi di aneurisma dell'aorta toracica, 3 casi di dilatazione dell'aorta ascendente) sono stati sottoposti ad esame TC con somministrazione endovenosa (ev) di mezzo di contrasto (mdc) organo iodato non ionico. È stato impiegato uno scanner TCMS di ultima generazione a 16 file di detettori (Sensation 16 - Siemens, Forchheim, Germania) con applicazione del gating cardiaco retrospettivo. I pazienti con aritmia e frequenza cardiaca superiore a 70 battiti per minuto (bpm) sono stati esclusi dallo studio.

Quindici pazienti (gruppo 2) sono stati studiati con lo stesso scanner TCMS senza gating cardiaco (3 casi di sospetta dissezione aortica, 1 caso di coartazione aortica, 7 casi di studio dell'anatomia delle vene polmonari preliminare ad intervento di termoablazione per aritmia sopra-ventricolare, 1 caso di aneurisma dell'aorta toracica, 3 casi di dilatazione dell'aorta ascendente); è stato necessario studiare tali pazienti al fine di disporre di un gruppo di controllo, data l'impossibilità di ricostruire le immagini senza gating da un'acquisizione condotta con gating cardiaco. Da tutti i pazienti è stato ottenuto il consenso informato e lo studio è stato approvato dal Comitato Etico del centro universitario.

the data with the patient's electro-cardio-graphic (ECG) trace [1].

Since the beginnings of 2002, a new generation of MSCT scanner is available, with an increased number of detector rows and a shorter revolution period of the X-ray tube/detector system [2], allowing the coverage of large volumes with high spatial ($0.6 \times 0.6 \times 0.8$ mm) and temporal resolutions (210 ms). The early papers in which retrospective cardiac-gated MSCT was employed, showed encouraging results in assessing coronary arteries stenosis [2].

On these bases, we applied retrospective ECG gating in combination with the conventional single breath-hold MSCT scan protocol for investigating the thorax, to determine if cardiac motion artifacts could be reduced or even eliminated with a reduction of the transmitted artifacts to the neighbouring structures [3-5].

The aim of this preliminary experience is to determine the feasibility and the suitability of this protocol and the advantages in the assessment of intra-thoracic vascular structures.

Materials and methods

Patient population

Thirty-three patients (Group 1 - 26 males, 7 females mean age 59 ± 18 years), with clinical indication of a CT angiography of the chest (6 cases of aortic dissection, 5 cases of aortic coarctation, 17 cases of pulmonary arteries study for thermo-ablation procedure for supra-ventricular arrhythmia, 2 cases of aortic aneurysm of the thoracic aorta and 3 cases of dilatation of the ascending aorta) underwent contrast-enhanced CT with intravenous administration of iodinated non ionic contrast material (cm). The latest generation of 16-row MSCT scanner with retrospective ECG gating was employed (Sensation 16 - Siemens, Forchheim, Germany). Patients with arrhythmia with heart rate higher than 70 beats per minute (bpm) were excluded from this study.

Fifteen patients (group 2) underwent the same scanning protocol without ECG gating using the same scanner (3 cases of aortic dissection, 1 aortic coarctation, 7 pulmonary arteries study for thermo-ablation procedure for supra-ventricular arrhythmia, 1 cases of aortic aneurysm of the thoracic aorta and 3 cases of dilatation of the ascending aorta). This second group was used as a control group since it is not possible to perform image reconstruction using a ECG gated scan. All patients gave informed consent and the study was approved by the local Medical Ethics Committee.

Scan technique

The electrodes for ECG trace recording of patients of group 1 were positioned along the intermediate axillary line and on the left flank (ECG derivative D1) with the patient in supine decubitus. The cardiac gating software allows CT image reconstruction of all the phases of the cardiac cycle. Generally, images are reconstructed within the meso-tele-diastolic phase in order to reduce motion artifacts.

Tecnica di scansione

Gli elettrodi per la registrazione del tracciato ECG dei pazienti del gruppo 1, in decubito supino, sono stati posizionati a livello delle linee ascellari medie e sul fianco sinistro (derivazione elettrocardiografica D1). Il software del gating cardiaco consente di ricostruire le immagini TC in qualunque fase del ciclo cardiaco. Per ridurre gli artefatti da movimento cardiaco le immagini vengono generalmente ricostruite nella fase meso-tele-diastolica del ciclo cardiaco. A tale scopo, nella sincronizzazione delle ricostruzioni delle immagini al tracciato ECG dei pazienti abbiamo utilizzato un «ritardo assoluto inverso» di -400 ms rispetto alla successiva onda R del ciclo cardiaco.

Il ritardo dell'inizio (start-delay) della scansione Angio-TC è stato determinato mediante valutazione automatica della massima densità della struttura vascolare in esame (CARE bolus, Siemens, Forchheim, Germania) previa preparazione di un accesso venoso con ago-cannula di 18-20 Gauge (G) a livello di una vena antecubitale del braccio destro e somministrazione di 100 ml di mdc (Vispaque 320, Amersham Health, UK) con iniettore automatico (Envision CT, MedRAD, Indianola, PA, USA) con velocità di flusso di 4 ml/s.

I parametri TCMS impegnati sono stati: collimazione in acquisizione 16×1,5 mm, ampiezza di strato in ricostruzione 2 mm, incremento di ricostruzione 1 mm, tempo di rotazione 420 ms, velocità di avanzamento del tavolo 6,0 mm/rot (pari ad un pitch di 0,25), kV 120, mAs 400-500. La modulazione prospettica del milliamperaggio basata su ECG è stata applicata in tutti i casi (CARE Dose con ECG-pulsing, Siemens, Forchheim, Germania).

La dose calcolata di radiazioni ionizzanti è stata di 10,8-14,6 mSv (Maschio-Femmina) per il gruppo 1 e 3,1-4,1 mSv (Maschio-Femmina) per il gruppo 2 [6]. Utilizzando la modulazione prospettica basata sul segnale ECG del milliamperaggio la dose si è ridotta fino a 5,4-7,3 mSv (Maschio-Femmina) a seconda della frequenza cardiaca [7].

Valutazione delle immagini

La valutazione delle immagini è stata condotta in consenso da due medici radiologi. Gli artefatti da respiro, da indurimento del fascio o da difetti di gating cardiaco sono stati giudicati «assenti» (non evidenza di artefatti), «lievi» (presenza ma senza ostacolare la visualizzazione delle strutture vascolari) ed «evidenti» (presenza ed inadeguata visualizzazione delle strutture vascolari).

La valutazione delle strutture vascolari intra-toraciche (aorta ascendente, arco aortico, aorta toracica discendente, arterie polmonari, vene polmonari,) è stata classificata come «scarsa» (non visualizzata, non valutabile), «lieve» (valutabile, ma visualizzata con alcuni artefatti da movimento, irregolarità di parete, scarso enhancement) ed «ottimale» (perfettamente visualizzata e valutabile).

Analogamente, la valutazione delle arterie coronarie (Tronco Comune della Coronaria Sinistra, tratti prossimale, medio e distale dell'Arteria Discendente Anteriore, dell'Arteria Circonflessa e della Coronaria Destra, rispettivamente) è stata giudicata «scarsa» (vasi non visualizzati o mal visualizzati al fine di una valutazione) o «buona» (vasi visualizzati e ben valutabili) (Tabella I).

An absolute inversed delay of -400 ms from the R wave following the reconstruction window was set for ECG gating in image reconstruction. The start delay of the scan was set using the automatic assessment of the maximum density within the vascular structure (CARE bolus, Siemens, Forchheim, Germany). A 18-20 Gauge needle was previously positioned in the antecubital vein of the right arm and 100 ml of cm were administered (Vispaque 320, Amersham Health, UK) with a power injector (Envision CT, MedRAD, Indianola, PA, USA) at a rate of 4 ml/sec.

MSCT scan parameters were set as follows: scan collimation 16×1.5 mm, effective slice thickness 2 mm, reconstruction increment 1 mm, rotation time 420 msec, table feed 6.0 mm/rot (pitch 0.25), kV 120, mAs 400-500. Prospective milliAmpere modulation based on ECG was carried out in all cases (CARE Dose ECG-pulsing, Siemens, Forchheim, Germany).

The X-rays dose was 10.8-14.6 mSv (male-female) in group 1 and 3.1-4.1 mSv (male-female) in group 2 [6]. With Prospective milliAmpere modulation based on ECG, the dose is reduced up to 5.4-7.3 mSv (male-female) according to the heart rate [7].

Image assessment

Image assessment was performed in consensus by two radiologists. Breathing artifacts, beam hardenings or gating anomalies were assessed as absent (not visible), mild (present but not impairing the assessment of vascular structures), evident (present, avoiding the visualization of vascular structures).

The visualization of intra-thoracic vascular structures (ascending aorta, aortic arch, descending aorta, pulmonary arteries and veins) was classified as poor (not visible), mild (possible but some motion artifacts were present, wall irregularities or poor vascular enhancement), optimal (perfect visualization of vascular structures).

In a similar way, the assessment of coronary arteries (common left coronary artery, proximal, intermediate and distal segments of the anterior descending, circumflex and right coronary artery respectively) was poor (not visible or inadequate for the assessment) or good (visualized and assessable) (Table I).

Results

In all patients, the CT angiography examinations were carried out without problems.

Nine patients of group 1, who underwent the examination for intra-vascular thermo-ablation treatment showed mild irregularities of the heart frequency without arrhythmia, with some errors in the cardiac gating, which were compensated through manual editing of the ECG trace. In two patients of group 1 (6%), breathing artifacts were observed, while these artifacts were not present in group 2, probably due to the shorter scan duration (8-10 sec versus 18-20 sec).

Beam hardening artifacts were observed mainly in group 1. The assessment of vascular structures of the chest was

Risultati

Lo studio Angio-TC è stato completato in entrambi i gruppi in assenza di complicanze.

Nove pazienti del gruppo 1, studiati preliminarmente per un trattamento intravascolare di termoablazione, hanno manifestato modeste irregolarità (senza aritmia) del ritmo con conseguenti difetti di gating cardiaco compensati mediante editing manuale del tracciato. In due pazienti del gruppo 1 (6%) si sono registrati artefatti da respiro, assenti invece nel gruppo 2, verosimilmente per la minor durata dell'acquisizione TC (8-10 s *versus* 18-20 s).

Artefatti da indurimento del fascio sono stati riscontrati prevalentemente nel gruppo 1.

La valutazione delle strutture vascolari intra-toraciche è risultata «ottimale» in entrambi i gruppi, tranne che per la porzione ascendente dell'aorta. La visualizzazione dell'aorta ascendente è risultata infatti «scarsa» o «sub-ottimale» in 3 pazienti del gruppo 2 (20%) a causa della presenza di artefatti da movimento.

Il Tronco Comune della Coronaria Sinistra è risultato valutabile in 32 pazienti del gruppo 1 (97%) ed in 10 del gruppo 2 (67%). I tratti prossimale, medio e distale dell'Arteria Coronaria Sinistra (ADA), l'Arteria Circonflessa (Cx) e l'Arteria Coronaria Destra (CDx) sono risultati sostanzialmente non valutabili nel gruppo di controllo. Nel gruppo 1, la ADA, la Cx e la CDx sono risultate valutabili nei loro tratti prossimali, rispettivamente, nel 94%, 91%, e 91%, con valori progressivamente decrescenti nei loro tratti medio e distale.

Discussione

Lo sviluppo della nuova generazione di scanner TCMS con 16 file di detettori, l'aumento delle risoluzioni spaziale e temporale, la sincronizzazione della ricostruzione delle immagini con il tracciato ECG del paziente hanno reso possibile lo studio angiografico non invasivo del circolo coronarico [2].

In letteratura sono state descritte esperienze preliminari riguardanti la applicazione della sincronizzazione con ECG (prospettiva o retrospettiva) alla visualizzazione delle strutture vascolari intratoraciche per la riduzione degli artefatti da movimento legati al battito cardiaco [3-5]. Queste esperienze si riferiscono a generazioni di apparecchiature multistrato a 4 canali [4, 5], mentre solo alcuni casi sono stati riportati che fanno riferimento ad apparecchiature a 16 canali [8, 9]. Uno studio su 25 pazienti effettuato con tecnologia a 16 canali e gating retrospettivo, ha riportato come la presenza di artefatti da movimento a carico delle strutture vascolari del torace sia dipendente dalla fase di ricostruzione durante il ciclo cardiaco e come la fase ottimale sia a sua volta dipendente dalla frequenza cardiaca del paziente durante l'esame [4]. Questa osservazione era già nota dalla precedente esperienza sulle coronarie [10]. Nel caso dell'aorta toracica, la fase ottimale è stata identificata a 75% dell'intervallo RR per frequenze pari a 70 bpm, e 50% del medesimo intervallo per frequenze superiori ai 70 bpm [10]. Un altro studio su 52 pazienti con apparecchiatura a 4 canali, ha confrontato gli artefatti da movimento senza e con l'applicazione della sincronizzazione ECG di tipo prospettico e retro-

TABELLA I. — Valutazione qualitativa.

	Artefatti			
		Da respiro	Indurimento fascio	Difetti di gating ¹
Gruppo 1 (n=33)	Assente Lieve Evidente	94% (31) 6% (2) 0	67% (22) 15% (5) 18% (6)	85% (28) 0 15% (5)
Gruppo 2 (n=15)	Assente Lieve Evidente	100% (15) 0 0	80% (12) 13% (2) 7% (1)	— — —

1) Nel gruppo 2 gli artefatti da difetti di gating sono assenti per ragioni tecniche. scendente Anteriore; Cx=Arteria Circonflessa; CDx=Arteria Coronaria Destra) sualzzati perché assenti (e.g. dominanza sinistra con assenza del segmento 3

TABLE I. — Qualitative evaluation.

	Artefacts			
		Breat-ing	Beam hardening	Gating defects ¹
Group 1 (n=33)	Absent Mild Evident	94% (31) 6% (2) 0	67% (22) 15% (5) 18% (6)	85% (28) 0 15% (5)
Group 2 (n=15)	Absent Mild Evident	100% (15) 0 0	80% (12) 13% (2) 7% (1)	— — —

1) In group 2 artifacts from mis-triggering are absent for technical reasons. ing; Cx=circumflex; CDx=right coronary artery) were judged as assessable or absence of segment 3 of CDx), but the lack of a reference standard (Coronary

optimal in both groups with the exception of the ascending aorta. The visualization of the ascending aorta was poor or sub-optimal in 3 patients of group 2 (20%) due to motion artifacts.

The common trunk of the left coronary artery was assessable in 32 patients in group 1 (97%) and in 10 in group 2 (67%). The proximal, intermediate and distal tract of the left coronary artery (ADA), circumflex artery (Cx) and right coronary artery were not assessable in the control group (group 2). In group 1, the ADA, Cx and CDx were appraisable in the proximal segment, respectively in 94%, 91% and 91% with decreasing values in the intermediate and distal tract.

Discussion

The development of the new generation of MSCT scanners, with 16 rows of detectors, the increasing spatial and temporal resolutions, the gating of image reconstruction with the ECG allowed the non invasive examination of the coronary vasculature [2].

In the literature, preliminary experiences were reported concerning the use of ECG gating (prospective and retrospective) in assessing vascular structures of the chest to reduce the motion artifacts caused by the heart beating [3-5]. These preliminary observations were obtained

	Grossi vasi					Coronarie ³				
	Aorta ascendente	Arco aortico	Aorta discendente	Vene polmonari	Arterie polmonari ²		Tc	ADA	Cx	CDx
Scarsa	0	0	0	0	0	Prox	97% (32)	94% (31)	91% (30)	91% (30)
Lieve	0	0	0	0	0	Medio		73% (24)	70% (23)	43% (14)
Ottimale	100% (33)	100% (33)	100% (33)	100% (33)	100% (33)	Distale		39% (13)	46% (15)	52% (17)
Scarsa	7% (1)	0	0	0	0	Prox	67% (10)	7% (1)	0	13% (2)
Lieve	13% (2)	0	0	0	0	Medio		0	0	0
Ottimale	80% (12)	100% (15)	100% (15)	100% (15)	100% (15)	Distale		0	0	0

2) Arterie polmonari valutate fino ai rami di 3^a generazione (rami segmentari). 3) Le arterie coronarie (Tc=tronco comune della coronaria sinistra; ADA=Arteria discendente giudicate valutabili o non valutabili o non valutabili; viene mostrata la percentuale di quelle valutabili; i segmenti distali in alcuni casi non sono stati visualizzati, ma la mancanza di un esame di riferimento (Angiografia Coronarica) non consente di quantificare tale fenomeno.

	Great vessels					Coronaries ³				
	Ascending aorta	Aortic arch	Descending aorta	Pulmonary veins	Pulmonary arteries ²		Tc	ADA	Cx	CDx
Poor	0	0	0	0	0	Prox	97% (32)	94% (31)	91% (30)	91% (30)
Mild	0	0	0	0	0	Middle		73% (24)	70% (23)	43% (14)
Optimal	100% (33)	100% (33)	100% (33)	100% (33)	100% (33)	Distal		39% (13)	46% (15)	52% (17)
Poor	7% (1)	0	0	0	0	Prox	67% (10)	7% (1)	0	13% (2)
Mild	13% (2)	0	0	0	0	Middle		0	0	0
Optimal	80% (12)	100% (15)	100% (15)	100% (15)	100% (15)	Distal		0	0	0

2) Pulmonary arteries were evaluated up to the 3rd generation (segmental branches). 3) Coronary arteries (Tc=left main common trunk; ADA=left anterior descending not assessable; the percentage of assessable vessels is displayed; distal segments in some cases are not visualised because they are not present (e.g. left dominance with angiography) does not allow to quantify this phenomenon.

spettivo [5]. Le tecniche prospettica e retrospettiva hanno mostrato una riduzione significativa degli artefatti da movimento a carico delle strutture vascolari del torace rispetto alla scansione tradizionale senza sincronizzazione ECG [5]. La differenza tra la tecnica prospettica e retrospettiva si estrinseca nei seguenti punti: 1) nella minore risoluzione spaziale della prima tecnica rispetto alla seconda (collimazione 2,5 mm contro 1,0 mm e incremento di ricostruzione 0,8 mm contro strati contigui, rispettivamente) atta ad effettuare la scansione del torace in una sola apnea; 2) nella maggiore sensibilità della prima tecnica rispetto alla seconda alla disomogeneità della frequenza cardiaca poiché si basa sul calcolo della finestra temporale di ricostruzione da applicare all'intervallo RR derivato dal battito precedente; 3) nella mancanza di flessibilità della prima tecnica rispetto alla seconda per quanto concerne la scelta della finestra temporale di ricostruzione poiché una volta scelta non può essere retrospettivamente modificata. Se è vero che questi svantaggi sembrano notevoli è anche vero che dallo studio citato le differenze sembrano invece trascurabili [5]. La spiegazione risiede nel fatto che non sono state valutate le arterie coronarie dei pazienti. La tecnica prospettica e retrospettiva non differiscono significativamente in termini di artefatti da movimento quando si analizzano i grossi vasi del torace. Non deve essere inoltre trascurato che la tecnica prospettica permette una significativa riduzione dell'esposizione del paziente ai raggi X.

with the 4 channel MSCT generation [4, 5], while a few works have been carried out using 16 rows scanners [8, 9]. An investigation with 25 patients performed with 16 rows technology reported that motion artifacts of the structures of the chest depends on the cardiac phase in which the reconstruction is performed and that the optimal phase depends on the heart rate [4]. Similar relationships were observed in previous works in coronary arteries [10]. For the thoracic aorta, the optimal reconstruction cardiac phase was observed at 75% of the RR interval for the heart rates of 70 bpm, and at 50% of the same interval for frequencies higher than 70 bpm [10]. Another study performed in 52 patients using a 4-row MSCT, compared the presence of motion artifacts with and without the prospective and retrospective ECG gating [5]. Prospective and retrospective ECG gating showed to reduce significantly the motion artifacts of the vascular structures of the chest compared to the conventional non ECG-gated scan [5]. The difference between the prospective and the retrospective techniques is caused by the following aspects; 1) lower spatial resolution of the former technique with respect to the latter (collimation 2.5 mm versus 1.0 mm, reconstruction increment 0.8 mm versus contiguous slices, respectively) for the scan of the chest in a single breath hold; 2) higher sensitivity to the irregularities of the heart rate of the first technique relative to the second because the reconstruction window is obtained from the RR inter-

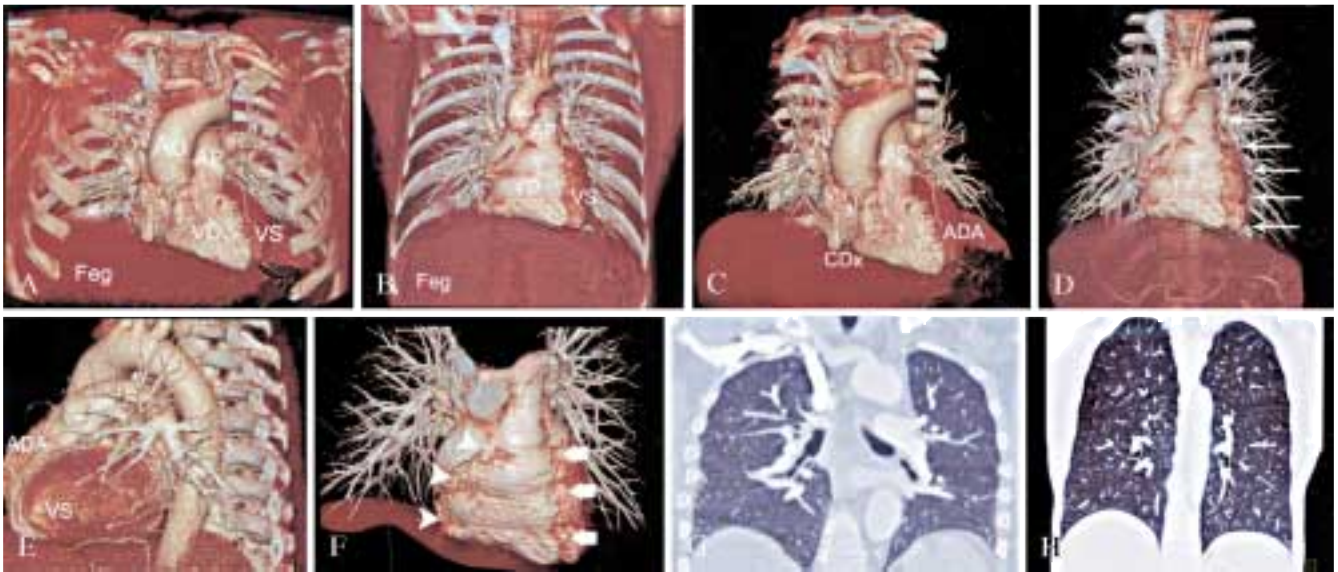


Fig. 1. — Esame Angio-TC del torace con scanner TCMS a 16 strati con gating cardiaco retrospettivo (A, C, E, G) e con protocollo convenzionale senza gating (B, D, F, H). Ricostruzione 3D Volume Rendering (VR) del torace con gating cardiaco (A) e senza gating (B): evidente è la completa assenza in A di artefatti da movimento cardiaco, con ottimale visualizzazione dell'aorta ascendente, del tronco comune dell'arteria polmonare e delle arterie coronarie. Ben visualizzate appaiono nel protocollo con gating cardiaco (C, E) le arterie coronarie; nell'esame senza gating (F) in corrispondenza dei solchi interventricolare anteriore (freccie spesse) ed atrio-ventricolare di destra (teste di freccie) non si apprezzano le arterie coronarie. In D (freccie sottili) si osservano irregolarità dei profili delle strutture mediastiniche determinate dai battiti cardiaci. In G ed H si osserva la superiore risoluzione spaziale a livello del parenchima polmonare nel protocollo senza gating dovuta alla differente modalità di ricostruzione delle immagini (AO= aorta; AP= arteria Polmonare; VS= ventricolo sinistro; VD= Ventricolo destro; Feg= fegato; ADA= arteria discendente anteriore; CDx=arteria coronaria destra).

CT angiography of the thorax using a 16-row MSCT scanner with retrospective ECG-gating (A, C, E, G) and with conventional protocol without gating (B, D, H, F). Three-dimensional reconstruction with Volume Rendering (VR) of the thorax with cardiac gating (A) and without (B): in A absence of motion artefacts, with optimal visualisation of the ascending aorta, of the common trunk of the pulmonary artery and of coronary arteries. Coronary arteries are well visualised in gated protocol (C, E); in the scan without gating (F) coronary arteries are not visualised in the anterior interventricular groove (thick arrows) and right atrio-ventricular groove (arrowheads). In D (thin arrows) the heart beats determines motion artefacts visible on the mediastinal profile. In G and H it is displayed the higher spatial resolution in lung parenchyma obtained using non gated protocol, due to the different reconstruction algorithm (AO= aorta; AP= pulmonary artery; VS= left ventricle; VD= right ventricle; Feg= Liver; ADA= left anterior descending; CDx= right coronary artery).

I principi descritti sono stati applicati nel presente studio in un protocollo (Gruppo 1) per lo studio delle patologie delle strutture vascolari intratoraciche incluse le arterie coronarie [2, 11]. I pazienti con aritmia cardiaca non sono stati inclusi nello studio perché le immagini avrebbero pesantemente risentito delle irregolarità della frequenza e perché in presenza di ritmo irregolare non è possibile applicare l'algoritmo di modulazione prospettica del milliamperaggio ai fini della riduzione della dose di radiazioni. I pazienti con frequenza cardiaca >70 bpm, invece, sono stati esclusi, poiché il software di gating cardiaco garantisce le migliori risoluzioni spaziali e temporali al di sotto di tale soglia. Al fine di mantenere una sufficiente omogeneità nelle due popolazioni di pazienti, anche nel gruppo di controllo (Gruppo 2) sono stati esclusi pazienti con aritmia e frequenza cardiaca >70 bpm.

Nel gruppo 1 è stata riscontrata una maggiore incidenza di artefatti da indurimento del fascio, associati a difetti di registrazione del gating cardiaco. La spiegazione di tale fenomeno è data dal differente algoritmo di ricostruzione applicato nei due differenti protocolli. Nel gruppo 1, infatti, l'immagine assiale viene ottenuta dai dati provenienti da una sola metà (180°) della singola rotazione. Nei protocolli convenzionali invece (gruppo 2) vengono utilizzati i 360° del-

val that precedes the reconstructed image; 3) absence of flexibility of the first technique, in which, once selected, the reconstruction window cannot be modified. Although the drawbacks of the first technique are prominent, the differences between the two techniques are unremarkable according to this study [5]. The explanation lies in the fact that the coronary arteries were not assessed. Prospective and retrospective techniques do not differ significantly concerning the motion artefacts in the major vessels of the thorax. The prospective technique allows significant reduction of X-rays exposure.

The above-mentioned principles have been applied to the present study in group 1 for assessing the diseased of the vascular structures of the thorax including the coronary arteries [2, 11]. Patients with arrhythmia were not included in this study because images would have been affected by such irregularities of the heart rate and because with irregular rate, prospective modulation of the milli-Ampere for radiation dose reduction. Patients with heart rate >70 bpm were excluded because the software for cardiac gating provides better spatial and temporal resolution under this threshold. In order to obtain homogeneous populations, in the control group (group 2) patients with heart rate >70 bpm were excluded.

la singola rotazione. Ciò comporta che in quest'ultimo protocollo le immagini sono create utilizzando due proiezioni del fascio di raggi X, con aumento del rapporto Segnale/Rumore.

Il tratto ascendente dell'aorta toracica è risultato meglio visualizzato nel gruppo 1 rispetto al gruppo di controllo; la miglior qualità d'immagine e di conseguenza il suo contenuto maggiormente informativo possono essere di grande rilevanza nello studio di pazienti con sospetto clinico di dissezione aortica acuta o di ematoma intramurale.

Con il protocollo TCMS convenzionale del gruppo 2 non si sono ottenute alcune informazioni relative al circolo coronarico, mentre il protocollo con gating cardiaco ha consentito la visualizzazione di tutti e quattro i vasi, con progressiva riduzione dell'accuratezza nei loro tratti più distali, come già precedentemente descritto [2].

La spiegazione della progressiva riduzione dell'accuratezza della metodica nei segmenti coronarici più distali è data dal minor calibro, dal loro orientamento spaziale nel piano, dalla contrazione atriale nella fase precoce della sistole che interessano soprattutto i tratti medi della Cx e della CDx ed infine dalla collimazione in acquisizione impiegata in tale protocollo (1,5 mm) al fine di rendere la scansione compatibile con una singola apnea respiratoria di 18-20 s.

La dose di radiazione somministrata al paziente è significativamente più elevata nel protocollo con gating cardiaco; è possibile, tuttavia, ridurre tale dose fino al 50% modulando la corrente applicata al tubo radiogeno in funzione delle differenti fasi del ciclo cardiaco, con riduzione del milliamperaggio (mAs) durante la fase sistolica [7].

Conclusioni

L'impiego del gating cardiaco retrospettivo nello studio cardiovascolare del torace con TCMS consente di ottenere un maggiore contenuto informativo rispetto al protocollo convenzionale. I principali vantaggi si ottengono a livello del tratto ascendente dell'aorta toracica e nel distretto coronarico.

La maggiore dose d'esposizione (in media 2-2.5 volte rispetto al protocollo tradizionale) a radiazioni ionizzanti del paziente deve essere comunque tenuta in considerazione nell'applicazione del protocollo con gating cardiaco in quei casi nei quali può essere utile ottenere migliori informazioni a livello, ad esempio, dell'aorta ascendente.

Bibliografia/References

- 1) Nieman K, Oudkerk M, Rensig BJ *et al*: Coronary angiography with multislice computed tomography. *Lancet* 357: 599-603, 2001.
- 2) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, *et al*: Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 106: 2051-4, 2002.
- 3) Morgan-Hughes GJ, Marshall AJ, Roobottom CA: Refined computed tomography of the thoracic aorta: the impact of electrocardiographic assistance. *Clin Radiol* 58: 581-8, 2003.
- 4) Morgan-Hughes GJ, Owens PE, Mar-

shall AJ *et al*: Thoracic aorta at multi-detector row CT: motion artifact with various reconstruction windows. *Radiology* 228: 583-8, 2003.

5) Roos JE, Willmann JK, Weishaupt D *et al*: Thoracic aorta: motion artifact reduction with retrospective and prospective electrocardiography-assisted multi-detector row CT. *Radiology* 222: 271-7, 2002.

6) Kalender WA, Schmidt B, Zankl M, *et al*: A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography. *Eur Radiol* 9: 555-62, 1999.

7) Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, *et al*: Multislice helical CT of the heart

In group 1 an higher rate of beam hardening artifacts was observed, in combination with mis-registration in cardiac gating. This phenomenon should be referred as to the different reconstruction algorithm of the two protocols. In group 1, axial images were generated from the data obtained through half rotation of the gantry (180°). In conventional protocol (group 2) the reconstruction is performed using data from a complete rotation of the gantry (360°). In the latter protocol, images are generated using two projections of the X-ray beam, with an increase of the signal-to-noise ratio.

Ascending aorta is better shown in group 1. The best image quality, with the highest information content can be vital if acute aortic dissection is clinically suspected or in case of intramural aortic haematoma.

In conventional MSCT protocol of group 2, information concerning coronary vascular system have never been obtained, while the cardiac gated protocol allowed the assessment of the 4 main vessels, with a decreasing sensitivity for distal vessels [2].

The explanation of the progressive reduction of accuracy of distal coronary vessels relies on their small size, orientation in respect to the scan plane, the atrial contraction in the early systole, which affects the visualization of the intermediate tracts of the Cx and CDx, and on the collimation of this protocol (1.5 mm), which was tailored to the patient apnea of 18-20s.

The radiation dose which is administered to the patient is significantly higher in the protocol with cardiac gating than in the conventional one. However, it is possible to reduce the dose up to 50% by modulating the current of the x-ray tube in respect to the cardiac cycle, with a reduction of the milli-Ampere (mAs) during the systolic phase [7].

Conclusions

Retrospective cardiac gating in the assessment of vascular structures of the thorax with MSCT provides finer information than conventional protocol (Figure 1). The main advantages relies on the ascending aorta and the coronary arteries. The higher X-ray exposure dose of the patient (2-2,5 times the conventional protocol) should be considered when using the cardiac gated protocol in cases in which improved information may be useful as in the assessment of the ascending aorta.

with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol* 12: 1081-6, 2002.

8) Cademartiri F, Nieman K, Mollet NR: The dynamics of an ascending aorta dissection by 16 row multislice computed tomography. *Heart* 89: 970, 2003.

9) Morgan-Hughes GJ, Roobottom CA, Marshall AJ: Electrocardiographic gated multislice computed tomography of the thoracic aorta. *Heart* 89: 838, 2003.

10) Hong C, Becker CR, Huber A *et al*: ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality. *Radiology* 220: 712-7, 2001.

11) Flohr T, Prokop M, Becker C *et al*: A retrospectively ECG-gated multislice spiral CT scan and reconstruction technique with suppression of heart pulsation artifacts for cardio-thoracic imaging with extended volume coverage. *Eur Radiol* 12: 1497-503, 2002.

Dott. F. Cademartiri
Viale Rustici 2
43100 Parma PR
Tel. 0521/961833
Fax 0031/104634033
E-mail: filippocademartiri@hotmail.com