

## Accuratezza diagnostica della coronarografia-TC a 16 strati nella valutazione dei segmenti coronarici

Filippo CADEMARTIRI<sup>1</sup> - Nico R. MOLLET<sup>1,2</sup>  
Giuseppe RUNZA<sup>3</sup> - Giacomo LUCCICHENTI<sup>4</sup>  
Massimo GUALERZI<sup>5</sup> - Lorenzo BRAMBILLA<sup>5</sup>  
Massimo GALIA<sup>3</sup> - Gabriel P. KRESTIN<sup>1</sup>  
Paolo CORUZZI<sup>5</sup> - Massimo MIDIRI<sup>3</sup> - Manuel BELGRANO<sup>6</sup>

**Scopo.** Misurare l'accuratezza diagnostica della coronarografia-TC a 16 strati (16-AC-TCMS) nella valutazione non invasiva delle stenosi coronariche significative.

**Materiali e metodi.** Quaranta pazienti (36 maschi, età 59±11 anni) con sospetta malattia coronarica ostruttiva e con frequenza cardiaca durante la scansione <65bpm sono stati arruolati per lo studio. La 16-AC-TCMS (Sensation 16, Siemens, Forchheim, Germania) è stata effettuata con tecnica retrospettiva, basata sul segnale ECG, dopo la somministrazione endovenosa di un bolo di 100 ml di mezzo di contrasto iodato seguito da un bolus chaser di soluzione salina. I parametri di scansione utilizzati sono stati i seguenti: collimazione 16×0,75 mm, tempo di rotazione 0,42 s, avanzamento/rot. 3mm (pitch 0,25), 120 kVp, 500 mAs. Due osservatori hanno valutato in cieco la presenza di stenosi significative (riduzione del diametro coronarico ≥50%) dei segmenti coronarici con diametro ≥2,0mm. Come gold-standard, per valutare l'accuratezza (validità) dei dati acquisiti, è stata usata la coronarografia convenzionale quantitativa.

**Risultati.** La frequenza cardiaca media durante la scansione è stata di 55±6 bpm. Novantadue dei 428 segmenti di diametro ≥2,0mm avevano una stenosi significativa. Senza escludere alcun segmento (428): sensibilità, specificità, valore predittivo positivo e negativo, per la rilevazione di segmenti ostruiti (≥50%), sono stati 95,7% (88/92), 95,8% (322/336), 86,3% (88/102) e 98,8% (322/326), rispettivamente.

**Conclusioni.** La 16-AC-TCMS in una popolazione selezionata di pazienti con bassa frequenza cardiaca fornisce un'elevata accuratezza diagnostica nella valutazione delle stenosi coronariche significative.

PAROLE CHIAVE: Coronarografia; imaging non invasivo - Tomografia computerizzata multistrato.

## Diagnostic accuracy of 16-row multislice CT angiography in the evaluation of coronary segments

**Purpose.** To evaluate the diagnostic accuracy of 16-row multislice spiral computed tomography coronary angiography (16-MSCT-CA) for the non-invasive assessment of significant coronary artery stenosis.

**Materials and methods.** We enrolled 40 patients (36 male, aged 59±11 yrs) with suspected obstructive coronary artery disease and a heart rate <65 bpm during the scan. The 16-MSCT-CA (Sensation 16, Siemens, Forchheim, Germany) was performed with electrocardiographically-gated technique after the intravenous administration of 100 ml of iodinated contrast material followed by a saline bolus chaser. The scan parameters were: collimation 16×0.75 mm, rotation time 0.42 s, feed/rot. 3 mm (pitch 0.25), 120 kVp, 500 mAs. All coronary segments ≥2 mm in diameter were evaluated by two independent observers for the presence of significant coronary artery stenosis (≥50%). Consensus reading was compared to quantitative coronary angiography.

**Results.** The average heart rate was 55±6 bpm. Of the 428 segments of ≥2.0 mm diameter 92 were significantly diseased. Without exclusion of any branches (428), the sensitivity, specificity, positive, and negative predictive values to identify ≥50% obstructed segments were 95.7% (88/92), 95.8% (322/336), 86.3% (88/102), and 98.8% (322/326), respectively. No occluded left main, left anterior descending, circumflex or right coronary artery segments remained undetected.

**Conclusions.** 16-MSCT-CA in a selected low-heart-rate patient population provides high diagnostic accuracy in the evaluation of significant coronary artery stenosis.

KEY WORDS: Coronary angiography - Non-invasive coronary imaging - Multislice Computed Tomography.

## Introduzione

Dalla sua introduzione nella pratica clinica, l'angiografia coronarica convenzionale (AC) rappresenta lo strumento più accurato per la valutazione emodinamica delle arterie coronarie [1, 2]. Questa tecnica, di natura proiettiva, è invasiva e costosa e, quindi, non può essere applicata su larga scala, se non in pazienti con precise indicazioni cliniche.

L'imaging delle arterie coronarie, a causa delle dimensioni delle strutture studiate e del movimento indotto dalle pulsazioni cardiache, necessita di risoluzioni spaziale e temporale

## Introduction

Since its introduction into clinical practice, conventional coronary angiography (CA) has been the most accurate technique for the haemodynamic assessment of the coronary arteries [1, 2]. The technique, which is projective in nature, is both invasive and expensive, and therefore cannot be applied on a large scale, if not in patients with precise clinical indications.

Owing to the size of the structures studied and the movement induced by the beating heart, imaging of the coronary

<sup>1</sup>Dipartimento di Radiologia - <sup>2</sup>Dipartimento di Cardiologia - Erasmus Medical Center - Rotterdam (Olanda) - <sup>3</sup>DIBIMEL - Sezione di Scienze Radiologiche - Università di Palermo - <sup>4</sup>Fondazione Biomedica Europea - Roma - <sup>5</sup>U.O. di Prevenzione e Riabilitazione Cardiovascolare - Fondazione Don C. Gnocchi-ONLUS - Università di Parma - <sup>6</sup>Istituto di Radiologia - Ospedale di Cattinara - Università degli Studi di Trieste.

Pervenuto alla Redazione il 16.1.2004; revisionato il 29.3.2004; restituito corretto il 28.5.2004; accettato per la pubblicazione il 7.6.2004.

Indirizzo per la richiesta di estratti: Dott. F. Cademartiri - Viale Rustici, 2 - 43100 Parma PR - Tel. 0521/961833. E-mail: filippocademartiri@hotmail.com

elevate [3]. Negli ultimi anni, la TC spirale è notevolmente migliorata, in particolare, dopo l'introduzione delle prime apparecchiature multistrato [4]. Le apparecchiature TC multistrato (TCMS) a 4 canali hanno fornito risultati incoraggianti, ma insufficienti, a causa di una elevata percentuale di vasi non valutabili [5-9]. Gli scanner a 16 canali hanno permesso un elevato miglioramento della risoluzione spaziale e temporale ed una completa valutazione di tutti i segmenti [3]. La scansione coronarica può essere, infatti, completata in un tempo inferiore ai 20 s, con una risoluzione spaziale di 0,75 mm ed una risoluzione temporale pari a 210 ms [10-13]. Le esperienze preliminari effettuate in tal senso, hanno riportato risultati promettenti in termini di accuratezza diagnostica [3, 14, 15].

Scopo di questo lavoro è valutare l'accuratezza diagnostica della TCMS a 16 strati in una popolazione di pazienti selezionata in base alla loro frequenza cardiaca, farmacologicamente indotta, inferiore a 65 battiti per minuto (bpm).

## Materiale e metodi

### Popolazione

Cinquantuno pazienti (46 maschi, età  $59 \pm 12$  anni) di età inferiore a 70 anni e con sospetta malattia coronarica ostruttiva sono stati arruolati per lo studio. I pazienti con fibrillazione atriale, allergia nota al mezzo di contrasto iodato e insufficienza renale (creatinina sierica  $>120$  mmol/L) non sono stati sottoposti all'esame. Non sono stati esclusi, invece, i pazienti con singoli battiti prematuri sopra e sotto-ventricolari. Ai pazienti con frequenza cardiaca superiore a 65 bpm, sono stati somministrati per os, 45-60 minuti prima della scansione, 100 mg di metoprololo-tartrato. I pazienti con frequenza cardiaca superiore a 65 bpm durante la scansione sono stati esclusi dallo studio.

Il mezzo di contrasto iodato è stato somministrato con un iniettore automatico per via endovenosa antecubitale mediante un'agocannula da 18-20 G ad una velocità di 4 ml/s.

### Scansione e ricostruzione delle immagini

La scansione angiografica è stata effettuata con uno scanner TC spirale a 16 linee di detectori (Sensation 16, Siemens, Forchheim, Germania). Allo scopo di ottenere un potenziamento arterioso è stato somministrato, per via endovenosa antecubitale, un bolo di 100 ml di mezzo di contrasto iodato non ionico (Iomeprol 400 mgI/ml, Iomeron, Bracco, Italia) ad una velocità di 4 ml/s, seguito da un bolo da 40 ml di soluzione salina alla stessa velocità. Per la somministrazione del mezzo di contrasto è stato utilizzato un iniettore automatico a doppia testa (Stellant, MedRad, USA).

I parametri di scansione e ricostruzione per la generazione TCMS a 16 strati sono: numero di detectori/collimazione 16/0,75 mm, tempo di rotazione del tubo radiogeno 420 ms, avanzamento/rotazione 3,0 mm (pitch 0,25), kVp 120, mAs 400-500, campo di vista 150 mm, spessore effettivo dello strato 0,75 mm, incremento di ricostruzione 0,4 mm e filtro di convoluzione per tessuti molli (B30f).

Le immagini sono state ricostruite con modalità retrospettiva basata sul segnale ECG [3]. Le finestre temporali di ricostruzione utilizzate sono state -350 ms, -400 ms e -450 ms dalla successiva onda R (tecnica del ritardo assoluto inverso) [3]. La migliore delle tre ricostruzioni è stata poi selezionata per la valutazione delle immagini.

*arteries requires high spatial and temporal resolution [3]. Spiral computed tomography (CT) has markedly improved in recent years, particularly following the introduction of the first multislice CT (MSCT) devices [4]. Four-row MSCT devices have provided encouraging albeit insufficient results owing to the high percentage of non assessable vessels [5-9]. The introduction of 16-row scanners has enabled significant improvement of the spatial and temporal resolution and a complete assessment of all segments [3]. A scan of the coronary arteries can in fact be performed in less than 20 s, with a spatial resolution of 0.75 mm and a temporal resolution of 210 ms [10-13]. Preliminary studies have reported promising results in terms of diagnostic accuracy [3, 14, 15].*

*The aim of this study was to assess the diagnostic accuracy of 16-row MSCT in a population of patients selected on the basis of a pharmacologically induced heart rate of less than 65 beats per minute (bpm).*

## Materials and methods

### Population

*We enrolled 51 patients (46 males, age  $59 \pm 12$  years) below 70 years of age with suspected coronary occlusive disease. Patients with atrial fibrillation, a known allergy to iodinated contrast material or kidney failure (serum creatinine  $>120$  mmol/L) were excluded from the study. In contrast, patients with single premature ventricular beats were not excluded. Patients with a heart rate above 65 bpm received 100 mg of metoprolol tartrate orally 45-60 min prior to the scan. Patients with a heart rate above 65 bpm during the scan were excluded from the study.*

*The iodinated contrast material was administered intravenously via an 18-20 G needle cannula at a speed of 4 ml/s.*

### Scanning and image reconstruction

*The angiographic scan was performed with a 16-row spiral CT scanner (Sensation 16, Siemens, Forchheim, Germany). To obtain arterial enhancement 100 ml of non ionic iodinated contrast material (Iomeprol 400 mgI/ml, Iomeron, Bracco, Italy) was intravenously administered at a speed of 4 ml/s, followed by 40 ml of saline solution at the same speed. The contrast material was administered with a dual-syringe automatic injector (Stellant, MedRad, USA).*

*The scan and reconstruction parameters for the 16-row MSCT device are: number of detectors/collimation 16/0.75 mm; gantry rotation time 420 ms; feed/rotation 3.0 mm (pitch 0.25); kVp 120; mAs 400-500; field of view 150 mm; effective slice thickness 0.75 mm; reconstruction increment 0.4 mm; soft-tissue convolution kernel (B30f).*

*The images were reconstructed retrospectively based on the electrocardiogram signal [3]. The reconstruction windows used were -350 ms, -400 ms and -450 ms from the following R wave (inverse absolute delay technique) [3]. The best of the three reconstructions was then selected for image assessment.*

### Analisi delle immagini

Le immagini sono state inviate ad una stazione di lavoro dedicata (Leonardo<sup>®</sup>, Siemens, Forchheim, Germania). Tutte le tecniche disponibili (immagini assiali, ricostruzioni multiplanari-MPR, riformattazione centroluminale-cMPR, proiezione di massima intensità-MIP e Volume Rendering-VR) sono state impiegate per valutare le immagini. Due osservatori in cieco hanno valutato tutti i pazienti. La presenza di calcificazioni è stata così valutata: assente, nodulare (piccoli noduli calcifici senza influenza sul lume vasale), estesa (calcificazioni di medie e grandi dimensioni con influenza variabile sul lume vasale). È stata determinata la qualità della visualizzazione dei segmenti secondo la seguente scala: scarsa (lume del vaso scarsamente visualizzato per gli artefatti), buona (lume del vaso ben visualizzato pur in presenza di artefatti) o ottima (lume del vaso perfettamente visualizzato).

Le stenosi coronariche sono state definite come significative quando la loro influenza sul lume vasale era  $\geq 50\%$ . I casi di disaccordo tra gli osservatori sono stati rivalutati in consenso.

### Angiografia diagnostica

La AC è stata effettuata in tutti i pazienti inseriti nel protocollo di studio, con tecnica standard, in un intervallo di tempo variabile tra una settimana prima ed una settimana dopo la coronarografia TC. I video sono stati poi analizzati da un operatore in cieco mediante un software quantitativo (CAAS, Pie Medical, Olanda). La calibrazione delle immagini è stata effettuata sulla dimensione del catetere ed è stato utilizzato un algoritmo automatico per la rilevazione del margine del vaso e per valutare il diametro di tutti i rami coronarici. Le stenosi sono state valutate come percentuale di riduzione del diametro di riferimento, ottenuto in due proiezioni ortogonali utilizzando la media dei due campioni come valore finale. Un valore  $>0=also\%$  sta ad indicare una stenosi significativa.

### Analisi statistica dei dati

I segmenti che la AC ha stabilito di diametro  $\geq 2$  mm sono stati presi in considerazione per la valutazione. L'accuratezza diagnostica della TCMS per la rilevazione di stenosi significative (riduzione del diametro luminale  $\geq 50\%$ ) è stata valutata utilizzando come standard di riferimento la AC quantitativa. Tutti i vasi sono stati inclusi nello studio, indipendentemente dalla qualità delle immagini. La valutazione è stata effettuata per segmento (secondo la classificazione a 15 segmenti dell'American Heart Association) [16]. La presenza di calcificazioni è stata rilevata in ogni segmento e classificata come assente, nodulare o estesa. La statistica descrittiva convenzionale è stata utilizzata per valutare ogni singolo osservatore e l'esattezza delle misurazioni è stata espressa con intervalli di confidenza del 95%. La concordanza interosservatore è stata calcolata ed espressa con il valore di Kappa.

### Risultati

Dopo aver escluso i pazienti con frequenza cardiaca, durante la scansione, superiore ai 65 bpm, la popolazione di studio è divenuta di quaranta pazienti (36 maschi, età  $59 \pm 11$  anni). Di questi, 18 (45%) erano già in trattamento con  $\beta$ -bloccanti, in 25 (63%), invece, sono stati somministrati per os, 45-60 minuti pri-

### Image analysis

*All the images were sent to a dedicated workstation (Leonardo, Siemens, Forchheim, Germany). All of the available techniques (axial images, multiplanar reconstructions, curved multiplanar reformation, maximum intensity projection and volume rendering) were used for assessment. Two observers independently assessed all of the patients. The presence of calcification was assessed according to the following criteria: absent, nodular (small calcific nodules not affecting the vessel lumen) and extensive (medium-to-large-sized calcifications with variable influence on the vessel lumen). The quality of the visualisation of the segments was assessed according to the following scale: poor (vessel lumen barely visible owing to artefacts), good (adequate visualisation of the vessel lumen despite the presence of artefacts) and excellent (vessel lumen perfectly visualised).*

*Coronary stenoses were defined as significant when their influence on the vessel lumen was  $\geq 50\%$ . The cases of discordance between observers were reassessed in agreement.*

### Diagnostic angiography

*Standard CA was performed in all patients included in the study protocol in a time range varying between one week prior to and one week after CT coronarography. The videos were then analysed using quantitative software (CAAS, Pie Medical, Netherlands) with the operator blind. The calibration of the images was performed on the size of the catheter and an automatic algorithm was used for the identification of the vessel margin and to assess the diameter of all the coronary branches. The stenoses were assessed as a percentage reduction of the reference diameter, obtained in two orthogonal projections using the mean of the two samples as the final value. A value  $\geq 50\%$  indicates a significant stenosis.*

### Statistical analysis

*The segments that CA established as having a diameter  $\geq 2$  mm were assessed. The diagnostic accuracy of MSCT for the identification of significant stenoses (reduction of the vessel lumen  $\geq 50\%$ ) was assessed using quantitative CA as a reference standard. All of the vessels were included in the study, regardless of image quality. The assessment was performed per segment (in accordance with the American Heart Association classification) [16]. The presence of calcifications was identified in each segment and classified as absent, nodular or extensive. Conventional descriptive statistical analysis was used to assess each individual observer and the preciseness of the measurements was expressed with confidence intervals of 95%. Interobserver agreement was calculated and expressed with the kappa value.*

### Results

*After having excluded patients with a heart rate during the scan greater than 65 bpm the study population was reduced*

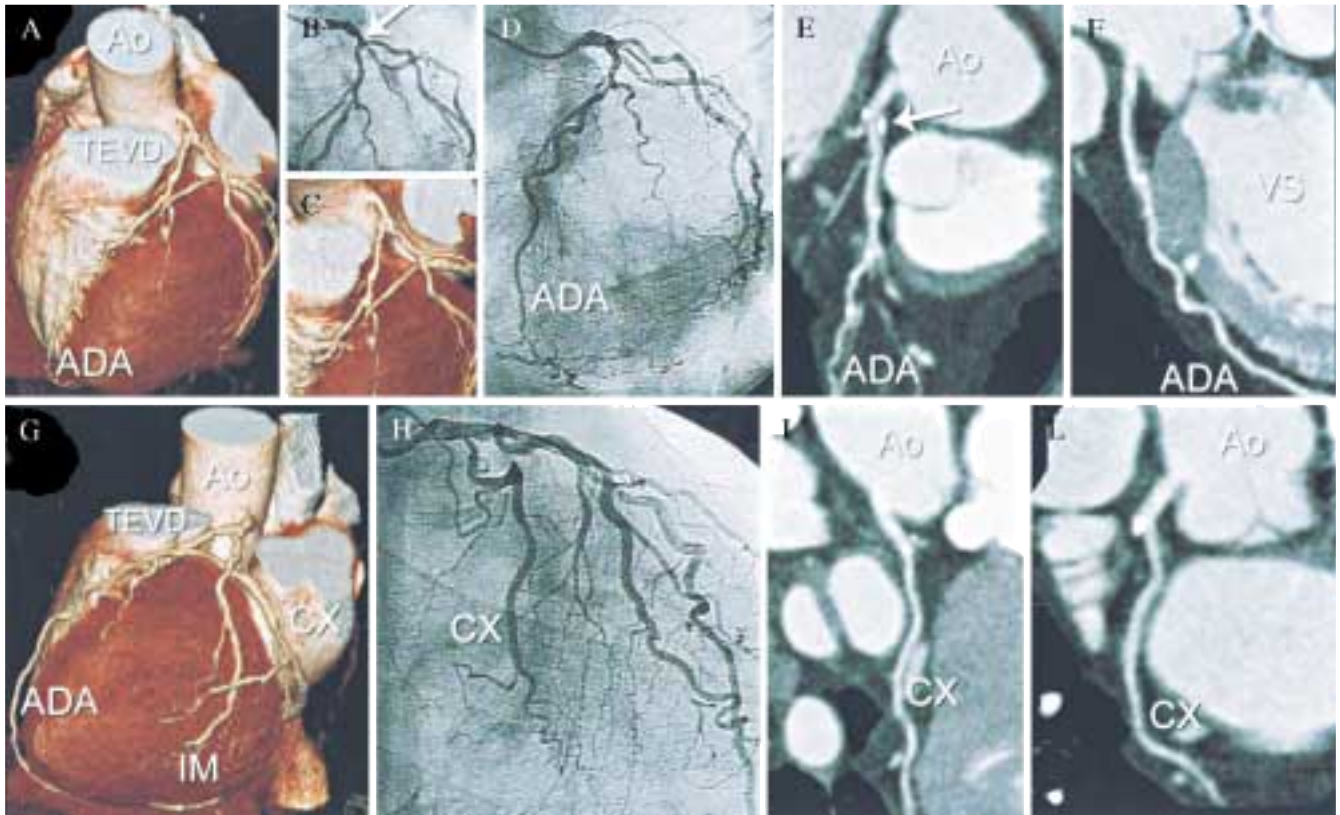


Fig. 1. — Esempio di stenosi significativa mediante coronarografia-TC a 16 strati. In un paziente maschio di 56 anni con angina stabile la coronarografia-TC con volume rendering (A) mostra la coronaria di sinistra. La coronarografia convenzionale (B - freccia) e l'ingrandimento della coronarografia-TC con volume rendering (C) dimostrano il sito di una stenosi localizzata al confine tra tronco comune distale e arteria discendente anteriore (ADA) prossimale. In D la visualizzazione panoramica dell'ADA. In E una ricostruzione multiplanare para-assiale mostra il lume dell'ADA prossimale in un solo piano e la lesione significativa (freccia) mista (calcificata con tessuto soffice). In F una ricostruzione ortogonale ad E mostra un quadro relativamente meno severo dell'ADA prossimale che corre sul ventricolo sinistro (VS). La proiezione per la coronaria circonflessa (CX) viene mostrata in G mediante coronarografia-TC e volume rendering. In H la corrispondente immagine coronografica. Le ricostruzioni multiplanari curvate per il lume della CX non mostrano stenosi significative (I ed L). Abbreviazioni: Ao: aorta ascendente; ADA: arteria discendente anteriore; CX: arteria circonflessa sinistra; TEVD: tratto di efflusso del ventricolo destro; VS: ventricolo sinistro.

*Example of significant stenosis with 16-row multislice spiral computed tomography coronary angiography (16-MSCT-CA). In a 56-year-old male with stable angina, 16-MSCT-CA with volume rendering (A) shows left coronary artery. Conventional coronary angiography (B - arrow) and the magnification of 16-MSCT-CA with volume rendering (C) show the location of a significant stenosis. In (D) a panoramic visualisation of left anterior descending artery (ADA). In (E) a para-axial curved multiplanar reconstruction shows the lumen of proximal ADA in one image and the mixed (calcified with soft tissue) significant lesion (arrow). In (F) a curved multiplanar reconstruction orthogonal to (E) shows a less severe stenosis at the level of proximal ADA that runs on the wall of the left ventricle (VS). The projection for the left circumflex (CX) is displayed in (G) with MSTC coronary angiography and volume rendering. In (H) the corresponding image with conventional coronary angiography. Curved multiplanar reconstructions for the lumen of CX do not show significant stenosis (I and L). Ao ascending aorta; ADA left anterior descending artery; CX circumflex; TEVD right ventricle outflow tract; VS left ventricle.*

ma dell'esame, 100 mg di metoprololo-tartrato. La frequenza cardiaca media durante la scansione è stata pari a 55,6 bpm.

Sono risultati valutabili, complessivamente, 428 segmenti di diametro  $\geq 2$  mm. Di questi, alla AC quantitativa hanno mostrato stenosi significative 92 (21%). Le stenosi significative (fig. 1) interessavano principalmente i primi due segmenti della coronaria destra e della discendente anteriore (coinvolti sempre per valori  $>30\%$  della loro lunghezza complessiva). Il 63% dei segmenti (271/428) presentava nel contesto calcificazioni. Di questi, il 37% (99/271) erano calcificazioni di medie e grandi dimensioni, mentre, il 63% (172/271) erano calcificazioni nodulari. La qualità della visualizzazione per segmento è risultata ottima nell'81% (346/428) dei casi, buona nel 17% (72/428) e scarsa nel 2% (10/428).

Considerando tutti i rami coronarici, la sensibilità, speci-

to 40 patients (36 males, age  $59 \pm 11$  years). Of these, 18 (45%) were already undergoing treatment with beta-blockers, whereas 25 (63%) received 100 mg of metoprolol-tartrate orally 45-60 min prior to the examination. The mean heart rate during the scan was  $55 \pm 6$  bpm.

Overall, 428 segments with a diameter  $\geq 2$  mm proved assessable. Of these 92 (21%) displayed significant stenoses at quantitative CA. The significant stenoses (Fig. 1) mainly involved the first two segments of the right and the anterior descending coronary arteries (with  $>30\%$  involvement of their overall length). Calcifications were present in 63% of segments (271/428). Of these, 37% (99/271) were medium-to-large-sized calcifications, whereas 63% were nodular calcifications. The quality of the visualisation per segment was excellent in 81% (346/428)

TABELLA I. — In Tabella viene mostrata l'accuratezza diagnostica per segmento (segm.) secondo la classificazione della American Heart Association (AHA). I valori di accuratezza diagnostica sono espressi in percentuale con intervalli di confidenza del 95% (95% CI).

AHA	Vaso/ segmento	N. segm.	Segm. ≥50% (%)	Sensibilità (95% CI)	Specificità (95% CI)	VPP (95% CI)	VPN (95% CI)
CDx	Complessivo	105	35 (33)	97.14 (85-98)	92.64 (83-97)	87.17 (72-97)	98.43 (91-99)
1	CDx pro.	40	12 (30)	100 (73-100)	92.85 (76-99)	85.71 (57-99)	100 (86-100)
2	CDx med.	29	16 (48)	100 (79-100)	84.61 (54-98)	88.88 (65-98)	100 (71-100)
3	CDx dist.	22	5 (19)	100 (47-100)	94.11 (71-99)	83.33 (35-99)	100 (79-100)
4	ADP	14	2 (13)	50 (1-87)	100 (73-100)	100 (2-100)	92.3 (63-99)
5	LM	40	0	NV	100 (91-100)	NV	100 (91-100)
ADA	Complessivo	157	33 (21)	93.93 (79-98)	95.16 (89-98)	83.78 (67-97)	98.33 (94-99)
6	ADA pro.	40	14 (35)	85.71 (57-98)	88.46 (69-97)	80 (51-97)	92 (73-99)
7	ADA med.	37	15 (41)	100 (78-100)	100 (84-100)	100 (78-100)	100 (84-100)
8	ADA dist.	34	2 (6)	100 (15-100)	96.87 (83-99)	66.66 (9-99)	100 (88-100)
9	1° diag.	30	2 (7)	100 (15-100)	92.85 (76-99)	50 (6-96)	100 (86-100)
10	2° diag.	16	0	NV	100 (79-100)	NV	100 (79-100)
CX	Complessivo	126	24 (19)	95.83 (78-99)	97.05 (91-99)	88.46 (69-98)	99 (94-99)
11	ACx pro.	39	8 (21)	87.5 (47-99)	96.77 (83-99)	87.5 (47-99)	96.77 (83-99)
12	1° marg.	35	10 (29)	100 (69-100)	96 (79-99)	90.9 (58-99)	100 (85-100)
13	ACx med.	30	5 (17)	100 (47-100)	96 (79-99)	83.33 (35-99)	100 (85-100)
14	2° marg.	15	0	NV	100 (78-100)	NV	100 (78-100)
15	PL	7	1 (14)	100 (2-100)	100 (54-100)	100 (2-100)	100 (54-100)
Tutti	Complessivo	428	92 (21)	95.65 (89-98)	95.83 (93-97)	86.27 (78-93)	98.77 (96-99)

CDx= coronaria destra; ADA= coronaria discendente anteriore; CX= coronaria circonflessa; VPP= Valore predittivo positivo; VPN= Valore predittivo negativo.

TABLE I.—Overall and per segment diagnostic accuracy according to the American Heart Association (AHA) classification. The diagnostic accuracy values are expressed in percentages with confidence intervals of 95% (CI 95%).

AHA	Vessel/ segment	No. segm.	Segments ≥50% (%)	Sensitivity (95% CI)	Specificity (95% CI)	PPV (95% CI)	NPV (95% CI)
CDx	Overall	105	35 (33)	97.14 (85-98)	92.64 (83-97)	87.17 (72-97)	98.43 (91-99)
1	Proximal RC	40	12 (30)	100 (73-100)	92.85 (76-99)	85.71 (57-99)	100 (86-100)
2	Medial RC	29	16 (48)	100 (79-100)	84.61 (54-98)	88.88 (65-98)	100 (71-100)
3	Distal RC	22	5 (19)	100 (47-100)	94.11 (71-99)	83.33 (35-99)	100 (79-100)
4	PDA	14	2 (13)	50 (1-87)	100 (73-100)	100 (2-100)	92.3 (63-99)
5	LM	40	0	NV	100 (91-100)	NV	100 (91-100)
ADA	Overall	157	33 (21)	93.93 (79-98)	95.16 (89-98)	83.78 (67-97)	98.33 (94-99)
6	Proximal ADA	40	14 (35)	85.71 (57-98)	88.46 (69-97)	80 (51-97)	92 (73-99)
7	Medial ADA	37	15 (41)	100 (78-100)	100 (84-100)	100 (78-100)	100 (84-100)
8	Distal ADA	34	2 (6)	100 (15-100)	96.87 (83-99)	66.66 (9-99)	100 (88-100)
9	1 <sup>st</sup> diag.	30	2 (7)	100 (15-100)	92.85 (76-99)	50 (6-96)	100 (86-100)
10	2 <sup>nd</sup> diag.	16	0	NV	100 (79-100)	NV	100 (79-100)
CX	Overall	126	24 (19)	95.83 (78-99)	97.05 (91-99)	88.46 (69-98)	99 (94-99)
11	Proximal ACx	39	8 (21)	87.5 (47-99)	96.77 (83-99)	87.5 (47-99)	96.77 (83-99)
12	1 <sup>st</sup> marg.	35	10 (29)	100 (69-100)	96 (79-99)	90.9 (58-99)	100 (85-100)
13	Medial ACx	30	5 (17)	100 (47-100)	96 (79-99)	83.33 (35-99)	100 (85-100)
14	2 <sup>nd</sup> marg.	15	0	NV	100 (78-100)	NV	100 (78-100)
15	PL	7	1 (14)	100 (2-100)	100 (54-100)	100 (2-100)	100 (54-100)
All	Overall	428	92 (21)	95.65 (89-98)	95.83 (93-97)	86.27 (78-93)	98.77 (96-99)

RCA: right coronary artery. PDA: posterior descending artery. ADA: anterior descending coronary artery. LM: left main coronary artery. CX: circumflex coronary artery. PL: posterior lateral artery. PPV: positive predictive value. NPV: negative predictive value.

ficità ed il valore predittivo positivo e negativo, sono risultati, rispettivamente, 95,7% (88/92), 95,8% (322/336), 86,3% (88/102) e 98,8% (322/326). Dei 4 casi con stenosi significativa rilevata dalla TC, due interessavano la discendente anteriore, uno la discendente posteriore ed uno la circonflessa. In tutti e quattro i casi, la stenosi rilevata mediante coronarografia convenzionale era >60%. Uno dei casi localizzati nella discendente anteriore corrispondeva ad un'estesa calcificazione del segmento, mentre, nel caso della circonflessa e della discendente posteriore, la causa era da attribuire, verosimilmente, alle piccole dimensioni del vaso. In 8 dei 14 segmenti identificati, erroneamente, come significativamente stenotici erano presenti estese calcificazioni. Nessuna occlusione totale è rimasta non diagnosticata. La concordanza tra gli osservatori è risultata buona (Kappa= 0,76). Una descrizione dettagliata dei risultati è riportata nella Tabella I.

of cases, good in 17% (72/428) of cases and poor in 2% (10/428) of cases.

Considering all the coronary artery branches, the sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value were 95.7% (88/92), 95.8% (322/336), 86.3% (88/102) and 98.8% (322/326), respectively. Of the four cases of significant stenosis identified with CT, two involved the anterior descending coronary artery, one the posterior descending coronary artery and one the circumflex coronary artery. One of the stenoses located in the anterior descending coronary artery was related to extensive calcification, whereas the stenoses of the circumflex and posterior descending coronary arteries were probably due to the small size of the vessel. In 8 of the 14 segments mistakenly identified as significantly stenotic extensive calcifications were

## Discussione

Le arterie coronarie sono molto piccole (diametro minore di 5 mm) e si muovono molto velocemente a causa del battito cardiaco. La risoluzione spaziale e temporale delle apparecchiature sono i principali fattori che ne limitano la visualizzazione. Per questa ragione, la AC rappresenta, al momento, l'unica tecnica disponibile nella pratica clinica.

Lo sviluppo della tecnologia multistrato ed, in particolare, la recente introduzione delle apparecchiature a 16 strati ha reso possibile l'impiego della TC per l'imaging vascolare non invasivo delle arterie coronarie. Ciò è stato possibile aumentando la risoluzione spaziale mediante l'impiego di spessori di strato <1 mm. L'aumento della risoluzione temporale è stato ottenuto riducendo i tempi di rotazione del gantry a valori <500 ms. I risultati finali indicano che è possibile, nella maggior parte dei pazienti, effettuare una valutazione completa e accurata di tutti i vasi coronarici [14, 15].

Utilizzando un'analisi dell'albero vascolare coronarico per segmento, i risultati di questo studio forniscono un'accuratezza diagnostica ottima (sensibilità 96%; specificità 96%). Il miglioramento dei risultati è spiegabile in parte con l'ottimizzazione della metodica, ma è anche legato ai rigorosi criteri di selezione dei pazienti. Infatti, i pazienti di età superiore ai 70 anni sono stati esclusi per evitare che le eccessive calcificazioni delle arterie coronarie ne compromettessero la valutazione. I pazienti con pregresso trattamento percutaneo o bypass aorto-coronarico non sono stati inclusi perché portatori di stent o caratterizzati da un quadro complesso. Inoltre, sono stati inclusi nella valutazione solo i pazienti con frequenza cardiaca, durante la scansione, inferiore o uguale a 65 bpm. Per tale ragione 11 soggetti sono stati esclusi dalla iniziale popolazione di 51 pazienti. Utilizzando questa modalità d'inclusione/esclusione di pazienti è, quindi, possibile ottenere risultati estremamente interessanti dal punto di vista diagnostico. Come riportato in precedenti esperienze, nessun vaso è stato escluso dalla valutazione [14]. Il valore più basso di sensibilità (86%), se si esclude il 50% per l'arteria discendente posteriore (segmento 4), perché caratterizzata da piccolo diametro e posizione parallela al piano di scansione a livello diaframmatico, è stato ottenuto per il tratto prossimale dell'arteria discendente anteriore (segmento 6). Questo valore dimostra sia l'elevata prevalenza di malattia a questo livello (nel 35% dei casi era presente una stenosi significativa), che la marcata presenza di calcificazioni (peraltro in diretta relazione alla presenza di malattia). La sensibilità diagnostica complessiva per la discendente anteriore raggiunge valori del 94% quando si sommano i valori ottenuti per ogni singolo segmento dello stesso vaso. Una sensibilità (88%) relativamente bassa è stata ottenuta anche a livello della circonflessa prossimale (segmento 11). Questo valore può essere giustificato dalle sue dimensioni che risultano mediamente inferiori rispetto alla discendente anteriore ed alla coronaria destra.

Quest'esperienza costituisce, inoltre, una tra le prime effettuate con apparecchiature TC dotate di 16 strati effettivi. Le casistiche precedenti infatti sono state effettuate con scanner TC a 16 strati, ma con protocollo di scansione a 12 strati [14, 15].

Nieman *et al.* [14], eseguendo una valutazione per vaso e senza esclusione di alcun segmento, hanno riportato una sensibilità, specificità, valore predittivo positivo e negativo pari a 95%, 86%, 80%, e 97%, rispettivamente. Ropers *et al.*, invece,

*present. No total occlusion went undiagnosed. The interobserver agreement was good ( $\kappa=0.76$ ). A detailed summary of the results can be found in Table I.*

## Discussion

*The coronary arteries are very small (<5 mm diameter) and they move very quickly owing to the heart beat. The spatial and temporal resolution of the imaging devices are the main factors which limit their visualisation. For this reason, CA is at the moment the only available technique in clinical practice.*

*The development of multislice technology, and more recently the introduction of 16-row devices, has enabled the use of CT for the non invasive vascular imaging of the coronary arteries. This was made possible by increasing the spatial resolution with the use of slices <1 mm in thickness. The increase in temporal resolution was obtained by reducing the gantry rotation times to <500 ms. The final results indicate that in most patients a complete and accurate assessment of all the coronary vessels can be performed [14, 15].*

*In this study, the use of an analysis of the coronary vascular tree per segment provided excellent diagnostic accuracy (sensitivity 96%, specificity 96%). The improvement is due in part to the optimisation of the method, but also to the strict patient selection criteria. In fact patients above 70 years of age were excluded to avoid excessive calcification of the coronary arteries compromising the assessment. Patients who had undergone prior percutaneous or coronary bypass procedures were excluded because they have stents or are characterised by complex clinical pictures. Patients with a heart rate greater than 65 bpm during the scan were also excluded, eliminating five subjects from the initial patient population of 51. By adopting these patient inclusion criteria extremely interesting diagnostic results can be obtained. As noted in an earlier study [14] no vessel was excluded from the assessment. The lowest sensitivity value (86%), if we exclude the 50% obtained for the posterior descending artery (segment 4) owing to its small diameter and its position parallel to the scanning plane at the level of the diaphragm, was obtained for the proximal tract of the anterior descending artery (segment 6). This value demonstrates both the high prevalence of disease at this level (in 35% of cases significant stenosis was present) and the marked presence of calcifications (directly related to the presence of disease). The overall diagnostic sensitivity for the anterior descending artery reaches values of 94% when the values obtained for each individual segment of the same vessel are summed. A relatively low sensitivity (88%) was also obtained at the level of the proximal circumflex artery (segment 11). This value can be justified by the size of this segment which on average is smaller than the anterior descending and the right coronary arteries.*

*This study is one of the first to be performed with an effective 16-row CT device. Previous studies have been performed with a 16-row scanner, but using a 12-slice protocol [14, 15].*

*Nieman et al. [14] performed an assessment per vessel and without the exclusion of any segment, reporting a sensitivity, specificity, positive predictive value and negative pre-*

escludendo il 12% dei segmenti di diametro uguale o superiore a 1,5 mm [15], hanno ottenuto valori di sensibilità, specificità, valore predittivo positivo e negativo, rispettivamente, del 92%, 93%, 79%, e 97% [15]. In quest'ultima esperienza, l'esclusione di vasi dalla valutazione può essere attribuita al loro diametro <1,5 mm. La modalità di scoring delle stenosi adottata da quest'ultimo gruppo di studio è stata meno "difensiva" rispetto al nostro criterio valutativo. Quest'approccio è stato adottato anche negli studi precedenti dal gruppo di Erlangen (esclusione tra il 29% ed il 32% con apparecchiature a 4 strati) [5, 17].

Le limitazioni del presente studio sono legate ai criteri d'inclusione che determinano gli ottimi risultati ottenuti, applicabili ad una popolazione di pazienti molto limitata e ben selezionata. Peraltro, quest'approccio permette di identificare chiaramente almeno una popolazione nella quale questa tecnica può competere con la AC. La frequenza cardiaca è risultata essere, in un caso, un fattore determinante sull'accuratezza diagnostica. Nessun paziente con stent o bypass coronarico è stato incluso.

In conclusione, possiamo affermare che la 16-TCMS-AC può essere ritenuta una tecnica diagnostica affidabile, anche se in una popolazione di pazienti selezionata e con bassa frequenza cardiaca. Verosimilmente, esperienze più estese e multi-centriche su popolazioni meno selezionate mostreranno meglio i limiti di questa tecnologia.

*dictive value of 95%, 86%, 80%, and 97%, respectively. Ropers et al. [15], on the other hand, excluded 12% of segments with a diameter equal to or less than 1.5 mm, reporting a sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value of 92%, 93%, 79%, and 97%, respectively. The scoring method for stenosis adopted by the latter study group was less "defensive" than our assessment criteria. This approach was also adopted in the previous studies performed by the Erlangen group (exclusion between 29% and 32% with 4-row devices) [5, 17].*

*The limitations of the present study are related to the inclusion criteria, which were responsible for the excellent results achieved but which are only applicable to a very limited and well selected patient population. However, this approach does enable at least one patient population to be identified in which this technique can compete with CA. Heart rate proved to be, in one case, a determinant for diagnostic accuracy. No patient with stent or coronary bypass was included in the study.*

*In conclusion we can state that 16-row MSCT CA can be considered a reliable diagnostic technique, even though a selected patient population with low heart rate is required. It is likely that further, multicentre studies on less select patient populations will reveal the limits to this technology.*

## Bibliografia/References

- 1) Passariello R, De Santis M: Coronary artery disease. Update and prospects of radiologic imaging with CT and MR. *Radiol Med* 101: 411-423, 2001.
- 2) Traversi E, Aldrovandi A, Barazzoni G *et al*: Non-invasive coronary angiography by multislice computed tomography: a new diagnostic method? *Ital Heart J* 3: 665-668, 2002.
- 3) Cademartiri F, Luccichenti G, Marano R *et al*: Non-invasive angiography of the coronary arteries with multislice computed tomography: state of the art and future prospects. *Radiol Med* 106: 284-296, 2003.
- 4) Cademartiri F, Luccichenti G, Marano R *et al*: Spiral CT-angiography with one, four, and sixteen slice scanners. Technical note. *Radiol Med* 106: 269-283, 2003.
- 5) Achenbach S, Giesler T, Ropers D *et al*: Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 103: 2535-2538, 2001.
- 6) Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U *et al*: Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation* 102: 2823-2828, 2000.
- 7) Knez A, Becker C, Ohnesorge B *et al*: Noninvasive detection of coronary artery stenosis by multislice helical computed tomography. *Circulation* 101: E221-222, 2000.
- 8) Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ *et al*: Coronary angiography with multislice computed tomography. *Lancet* 357: 599-603, 2001.
- 9) 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: 712-717, 2001.
- 10) Heuschmid M, Kuttner A, Flohr T *et al*: Visualization of coronary arteries in CT as assessed by a new 16 slice technology and reduced gantry rotation time: first experiences. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahren* 174: 721-724, 2002.
- 11) Flohr T, Stierstorfer K, Bruder H *et al*: New technical developments in multislice CT-Part 1: Approaching isotropic resolution with sub-millimeter 16-slice scanning. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahren* 174: 839-845, 2002.
- 12) Flohr T, Bruder H, Stierstorfer K *et al*: New Technical Developments in Multislice CT. Part 2: Sub-Millimeter 16-Slice Scanning and Increased Gantry Rotation Speed for Cardiac Imaging. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahren* 174: 1022-1027, 2002.
- 13) Cademartiri F, Nieman K, Raaymakers RH *et al*: Non-invasive demonstration of coronary artery anomaly performed using 16-slice multidetector spiral computed tomography. *Ital Heart J* 4: 56-69, 2003.
- 14) Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA *et al*: Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 106: 2051-2054, 2002.
- 15) Ropers D, Baum U, Pohle K *et al*: Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 107: 664-666, 2003.
- 16) Austen WG, Edwards JE, Frye RL *et al*: A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association. *Circulation* 51: 5-40, 1975.
- 17) Giesler T, Baum U, Ropers D *et al*: Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast-enhanced multi-detector CT: influence of heart rate on image quality and stenosis detection. *AJR* 179: 911-916, 2002.

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