

Diagnostic accuracy of 64-slice CT in evaluating coronary artery bypass grafts and of the native coronary arteries

Accuratezza diagnostica della TC multidetettore a 64 strati nella valutazione non invasiva dei bypass aorto-coronarici e della progressione di malattia nel circolo nativo

A. Romagnoli • A. Patrei • A. Mancini • C. Arganini • S. Vanni • M. Sperandio • G. Simonetti

Dipartimento di Diagnostica per Immagini, Imaging Molecolare, Radiologia Interventistica e Radioterapia, Università di Tor Vergata, Viale Oxford 81, 00133 Rome, Italy

Correspondence to: C. Arganini, Tel.: +39-06-20902400, Fax: +39-06-20902304, e-mail: chiara.arganini@gmail.com

Received: 10 September 2009 / Accepted: 9 February 2010 / Published online: 17 September 2010

© Springer-Verlag 2010

Abstract

Purpose. Our aim was to evaluate the accuracy, sensitivity and specificity of 64-slice multidetector computed tomography (MDCT) in the assessment of occlusions and stenoses of arterial and venous bypass grafts and disease progression in the native vessels distal to the graft, and to compare the results with those of conventional coronary angiography.

Materials and methods. We enrolled 78 individuals (45 men, 33 women; mean age 59) and evaluated 213 bypass grafts using a 64-slice MDCT scanner. All patients underwent conventional coronary angiography with a mean time interval between the two examinations of 2 days.

Results. One patient was excluded due to arrhythmia during the examination. The 212 bypass grafts in the remaining 77 patients (98.7%) consisted of 115 (54%) venous grafts and 97 (46%) arterial grafts. In the 115 venous grafts, MDCT showed a sensitivity, specificity and accuracy of 100% in evaluating occluded grafts and a sensitivity of 94.4%, specificity of 98.4% and accuracy of 96.9% in evaluating significant stenoses. In evaluating occluded arterial grafts, sensitivity was 83.3%, specificity 100% and accuracy 98.9%, whereas in evaluating stenoses of arterial grafts, sensitivity was 100%, specificity 97.7% and accuracy 98%.

Conclusions. Sensitivity, specificity and accuracy in evaluating native coronary vessels distal to the graft allow for a complete assessment of the surgical and native circulation. The examination appears therefore to be exhaustive in ruling out or confirming the presence of diseased vessels in the postoperative follow-up.

Riassunto

Obiettivo. Scopo dello studio è valutare l'accuratezza diagnostica, la sensibilità e la specificità della tomografia computerizzata (TC) a 64 strati nella valutazione delle occlusioni e delle stenosi di bypass arteriosi e venosi e dell'eventuale progressione di malattia a carico dei vasi nativi distali all'anastomosi chirurgica, rapportando i risultati ottenuti con i reperti della coronarografia convenzionale (CC).

Materiali e metodi. Sono stati sottoposti a studio con TC 64 strati 78 pazienti (45 maschi, 33 femmine; età media 59 anni) per un totale di 213 bypass (115 innesti venosi e 98 arteriosi). Tutti i pazienti sono andati incontro a CC dopo una media di 2 giorni.

Risultati. Un paziente (1,3%) è stato escluso per l'insorgenza di un episodio aritmico durante l'esame. I 212 bypass presi in esame dei rimanenti 77 soggetti (98,7%), erano costituiti da 115 (54%) innesti venosi e 97 (46%) innesti arteriosi. Nei 115 by-pass venosi, la TC ha mostrato una sensibilità, una specificità ed una accuratezza diagnostica del 100% nella valutazione dei bypass occlusi e una sensibilità del 94,4%, una specificità del 98,4% ed un'accuratezza diagnostica del 96,9% nella valutazione delle stenosi significative. Nei bypass arteriosi occlusi, la sensibilità è stata dell'83,3%, la specificità del 100% e l'accuratezza diagnostica del 98,9%, mentre nelle stenosi dei bypass arteriosi, la sensibilità è stata del 100%, la specificità del 97,7% e l'accuratezza diagnostica del 98%.

Conclusioni. Come dimostrato dai risultati ottenuti, la correttezza delle informazioni fornite dalla TC si avvicina

Keywords Coronary artery bypass grafting · Multislice computed tomography · Noninvasive coronary angiography · Coronary CT

a quelle della CC consentendo una completa valutazione del circolo chirurgico e nativo e risultando completamente esaustivo nell'escludere o confermare la presenza di patologia vasale nel follow-up post-operatorio.

Parole chiave Bypass aorto-coronarici · TCMS · Coronarografia virtuale · TC coronarico

Introduction

Coronary artery bypass grafting (CABG) is one of the most common methods of treating coronary artery disease (CAD) in symptomatic individuals [1]. In patients with multivessel disease, CABG is the treatment of choice and is associated with an improvement in quality of life and an increase in survival [2, 3]. However, the natural history of CABG involves patency rates at 10 years of 60% for venous grafts and 90% for arterial grafts [4].

Conventional coronary angiography (CCA) is considered the reference standard in evaluating bypass grafts. The technique is, however, intrinsically limited by the fact that it remains an invasive procedure, with major complications occurring in 1.7% of cases and with an associated mortality of 0.11% [5–7]. This appears to be extremely important, especially considering the frequent angiographic imaging that revascularised patients undergo to evaluate the patency of the vascular grafts. Given its noninvasiveness, multidetector-row computed tomography (MDCT) has become a robust alternative to CCA in evaluating the patency of CABG [8]. The merit of 16-slice MDCT systems is that they provide high accuracy in identifying vascular stenosis and distinguishing between patency and occlusion in CABG [9–12]. Nonetheless, the contemporary evaluation of vascular grafts, anastomoses and disease progression in the native vessels is still fraught with problems with 16-slice systems. Accuracy in the diagnosis of anastomoses and disease progression in the distal native vessels is, in fact, lower than the values obtained in the bypass grafts. A significant improvement in image quality has been achieved with the introduction of 64-slice scanners, which, thanks to the acquisition of the entire cardiac volume in 8–10 s, have made possible a more accurate evaluation of CABG and the native coronary arteries in surgical patients.

The aim of this study was to evaluate the accuracy, sensitivity and specificity of 64-slice MDCT in assessing occlusions and stenosis of arterial and venous bypasses and disease progression in the native vessels distal to the grafting site, and to compare the results with those of CCA.

Introduzione

La rivascolarizzazione chirurgica miocardica mediante confezionamento di bypass coronarici (coronary artery bypass grafting, CABG) è uno dei più comuni metodi di trattamento della patologia coronarica nei soggetti sintomatici [1]. Nei pazienti con malattia multivasale, essa rappresenta il trattamento d'elezione ed è associata ad un miglioramento della qualità di vita ed ad un aumento della sopravvivenza [2, 3]. Tuttavia la storia naturale dei CABG prevede una percentuale di pervietà a 10 anni del 60% per l'innesto venoso e del 90% per quello arterioso [4].

L'angiografia coronarica convenzionale (ACC) è considerata il gold standard nella valutazione dello shunt. I limiti intrinseci della tecnica sono rappresentati dal fatto che rimane una procedura invasiva, con percentuali di complicanze maggiori nell'1,7% dei casi ed un tasso di mortalità dello 0,11% [5–7]. Ciò appare estremamente importante soprattutto in considerazione dei frequenti controlli angiografici ai quali vanno incontro i pazienti rivascolarizzati al fine di valutare la pervietà degli innesti vascolari. La tomografia computerizzata multidetettore (TCMD) costituisce una ormai convalidata alternativa alla coronarografia, in quanto metodica non invasiva, nella valutazione della pervietà dei CABG [8]. Il merito delle generazioni di TCMD a 16 strati è quello di aver consentito un'elevata accuratezza nell'individuazione delle stenosi vasali, nonché nella distinzione tra pervietà e occlusione del CABG [9–12]. Ciononostante, la valutazione contemporanea degli innesti vascolari, delle anastomosi e della progressione di malattia nel circolo nativo è tuttora un problema diagnostico con le apparecchiature a 16 strati. L'accuratezza diagnostica nella valutazione dell'anastomosi e della progressione di malattia del circolo nativo distale risulta essere, infatti, sensibilmente minore rispetto a quella ottenuta con il corpo del bypass. Un significativo miglioramento della qualità d'immagine è avvenuto con l'introduzione dei nuovi scanner a 64 strati che, grazie all'acquisizione dell'intero volume cardiaco in 8–10 secondi, hanno reso possibile una valutazione più accurata del CABG e delle arterie coronarie native nei pazienti sottoposti a tale trattamento chirurgico.

Lo scopo di questo studio è di valutare l'accuratezza diagnostica, la sensibilità e la specificità della TCMD a 64 strati nella valutazione contemporanea delle occlusioni e delle stenosi di bypass arteriosi e venosi e dell'eventuale

Materials and methods

Patients

Our study included 78 patients (45 men, 33 women) with a mean age 59 (range±15) years for a total of 213 bypass grafts (115 venous and 98 arterial). The patients enrolled in the study were on the waiting list for CCA. Those with unstable angina, cardiac arrhythmias and contraindications to administration of contrast agents [creatininaemia >2.0 mg/dl (177 µmol/L)] were excluded. All patients subsequently underwent CCA with a mean time interval between the two examinations of 2 days (1–5 days). To reduce cardiac motion artefacts and obtain images of optimal diagnostic quality, the patients with a baseline heart rate (HR) >70 beats per minute (bpm) were given premedication with 50–100 mg of beta-blockers (atenolol) by mouth 60–90 min prior to the examination, with close monitoring of arterial pressure (AP) and HR. The study was done in agreement with the cardiologists and received ethics committee approval. All patients provided informed consent after a clear explanation of the benefits and potential risks.

Scan protocol

All patients underwent CT angiography with a 64-slice MDCT scanner (LightSpeed VCT, General Electric Medical Systems, USA). A preliminary baseline scan was acquired to precisely define the volume to be included in the acquisition and to calculate the coronary artery calcium score (SmartScore protocol). The main scan parameters in the precontrast phase were the following: beam collimation 8×2.5 mm, slice thickness 2.5 mm, table feed 1 cm every four acquisition of 2.5 mm, gantry rotation speed 0.35 s, tube voltage 120 kV, tube current 300 mA, FOV 25 cm, acquisition volume extending from the carina to the diaphragmatic surface of the heart, scan direction craniocaudal. An automatic injector (Stellant, MEDRAD, Pittsburgh, PA, USA) was used for the intravenous administration of 80 ml of nonionic iodinated contrast agent (Ultravist 370 Schering AG, Berlin, Germany), followed by an infusion of 40 ml of saline solution, both at an injection speed of 5 ml/s. The bolus-tracking technique was used to synchronise arrival of contrast agent in the coronary arteries with the beginning of acquisition.

Scan parameters in the contrast phase were the following: beam collimation 64×0.625 mm, slice thickness 0.625 mm, reconstruction increment 0.625 mm, table feed 2.9 mm/rotation, gantry rotation speed 0.35 s, tube voltage 120 kV, tube current 400–800 mA Roentgen modulation, FOV 25 cm, acquisition volume 12–20 cm according to

progressione di malattia a carico dei vasi nativi distali all'anastomosi chirurgica, riportando i risultati ottenuti con i reperti coronarografici.

Materiali e metodi

Pazienti

Sono stati inclusi nello studio 78 pazienti (45 maschi, 33 femmine; età media 59±15 anni) per un totale di 213 bypass (115 innesti venosi e 98 arteriosi). Sono stati reclutati soggetti in lista d'attesa per essere sottoposti a ACC, escludendo quelli con angina instabile, aritmia cardiaca, controindicazioni alla somministrazione di agenti contrastografici (creatininemia>2,0 mg/dl [177 µmol/L]). Tutti i pazienti sono stati successivamente sottoposti a ACC con un intervallo temporale medio tra i due esami di 2 giorni (1–5 gg). Con l'intento di ridurre gli artefatti da movimento cardiaco ed ottenere così la massima qualità diagnostica, i pazienti con una frequenza cardiaca (FC) basale>70 battiti per minuto (bpm) sono stati pre-medicati con 50–100 mg di β-bloccante (atenololo) per os, assunto circa 60–90 minuti prima dell'esame, sotto stretto monitoraggio della pressione arteriosa (PA) e della FC. Lo studio è stato concordato con i cardiologi ed ha ricevuto l'approvazione del comitato etico locale; i pazienti hanno fornito il proprio consenso informato all'esame dopo chiara spiegazione dei benefici e potenziali rischi.

Protocollo di scansione

Tutti i pazienti sono stati sottoposti a studio angio-TC coronarico mediante TCMD a 64 strati (LightSpeed VCT, General Electric Medical Systems, USA). Una preliminare scansione basale senza mezzo di contrasto ha permesso di definire con precisione il volume da includere nell'acquisizione e di calcolare il calcio score coronarico (protocollo SmartScore). I principali parametri di scansione nella fase pre-contrastografica sono stati: collimazione del fascio 8×2,5 mm, spessore di strato 2,5 mm, traslazione del lettino di 1 cm ogni 4 acquisizioni da 2,5 mm, velocità di rotazione del tubo radiogeno 0,35 s, voltaggio del tubo 120 kV, intensità del fascio di radiazioni 300 mA, campo di vista (FOV) 25 cm, volume di acquisizione esteso dalla carena alla superficie diaframmatica del cuore, direzione di scansione cranio-caudale. Attraverso un iniettore automatico (Stellant, MEDRAD, Pittsburgh, USA), sono stati somministrati per via endovenosa 80 ml di mezzo di contrasto organo iodato non-ionico (Ultravist 370 Schering AG, Berlino, Germania), seguiti dall'infusione di 40 ml di soluzione fisiologica, entrambi ad un flusso di 5 ml/s. Per sincronizzare l'arrivo del contrasto nelle arterie coronarie con l'inizio dell'acquisizione è stata utilizzata la tecnica del bolus track.

I parametri di scansione nella fase contrastografica sono stati: collimazione del fascio 64×0,625 mm, spessore di strato 0,625 mm, incremento di ricostruzione 0,625 mm,

the presence or otherwise of internal mammary artery grafts, scan direction craniocaudal. The acquisition volume in the presence of internal mammary artery grafts should include the origin of the arterial branch up to the diaphragm, whereas in cases of only venous bypass grafts, a smaller volume can be acquired, extending from the aortic anastomosis of the most cranial bypass to the diaphragmatic surface of the heart [13].

Image reconstruction with retrospective gating was performed with the use of three fixed time windows set at 70%, 75% and 80% of the R-R interval, corresponding to the mid-to-end diastolic phase. In the presence of motion artefacts, due to an increase or sudden change in HR during acquisition, end systolic windows were used (from 40% to 65% of the R-R interval).

Data analysis

Acquisition of raw data was followed by image evaluation and reconstruction at a workstation (Advantage Work Station 4.1, General Electric Medical System, Milwaukee, WI, USA) with dedicated cardiovascular software (Card IQ). All data were visualised and analysed using a number of reconstruction techniques: (a) axial scans, (b) multiplanar reformations (MPR), (c) maximum intensity projections (MIP), (d) curved multiplanar reconstructions and (e) three-dimensional volume rendering (3D-VR). The images were independently evaluated by a radiologist and a cardiologist, each with at least 3 years of experience in coronary artery imaging, and were compared double-blind with the findings of the CCA. In two cases of disagreement, consensus was reached following a joint evaluation of the two examinations.

Both the bypass grafts (arterial and venous) and the native vessels distal to the surgical anastomoses were evaluated in the framework of a 15-segment anatomical subdivision of the coronary arteries [7]. Each coronary graft and segment was then classified as assessable or nonassessable on the basis of diagnostic quality. After having evaluated the presence or otherwise of calcifications in each coronary segment, the analysis then regarded the presence of significant stenoses ($\geq 50\%$), nonsignificant stenoses ($< 50\%$) and total occlusions. Sensitivity, specificity and accuracy of MDCT in quantifying occlusions and significant stenoses in bypass grafts and native vessels distal to the surgical anastomoses were then calculated. These values were calculated separately for venous grafts, arterial grafts and coronary segments considered.

Conventional coronary angiography

CCA was performed with a Philips flat-panel system (Medical Philips System, The Netherlands) using multiple

velocità di avanzamento del lettino 2,9 mm/rotazione, velocità di rotazione del tubo radiogeno 0,35 s, voltaggio del tubo 120 kV, intensità del fascio di radiazioni compresa tra 400 e 800 mA roentgen modulation, FOV 25 cm, volume di acquisizione compreso tra 12 e 20 cm a seconda della presenza o meno di bypass arteriosi in mammaria interna, direzione di scansione cranio-caudale. Il volume di acquisizione in presenza di bypass arteriosi in mammaria interna deve includere l'origine del suddetto ramo arterioso sino al diaframma, mentre nel caso di bypass esclusivamente venosi può essere acquisito un volume corporeo inferiore, esteso dall'anastomosi aortica del bypass più craniale sino alla superficie diaframmatica del cuore [13].

La ricostruzione delle immagini, attraverso sincronizzazione retrospettiva, è stata eseguita con l'utilizzo di tre finestre temporali fissate al 70%, al 75% e all'80% del ciclo cardiaco, periodo compreso tra due onde consecutive R-R del tracciato elettrocardiografico (ECG), corrispondenti alla fase meso-telediastolica. Nel caso di artefatti da movimento, dovuti ad un aumento o ad una modificazione improvvisa della frequenza cardiaca durante l'acquisizione, sono state utilizzate finestre di ricostruzione telesistoliche (dal 40% al 65% del ciclo R-R).

Analisi dei dati

All'acquisizione dei dati grezzi ha fatto seguito la valutazione e la ricostruzione delle immagini mediante una workstation (Advantage Work Station 4.1, General Electric Medical System, Milwaukee, Wisconsin, USA) con software dedicato allo studio cardiovascolare (Card IQ). Tutti i data set sono stati visualizzati ed analizzati utilizzando diverse tecniche di ricostruzione: a) scansioni assiali; b) riformattazioni multiplanari (MPR); c) ricostruzioni in massima intensità di proiezione (MIP); d) ricostruzioni multiplanari curved; e) ricostruzioni tridimensionali con protocollo volume rendering (3D-VR). Le immagini sono state analizzate, in maniera indipendente, da un radiologo ed un cardiologo, ciascuno con esperienza di almeno 3 anni nell'imaging coronarico e rapportate in doppio cieco ai risultati della ACC. In due casi di disaccordo, è stata raggiunta una decisione congiunta dopo valutazione dei due esami in comparativa.

Sono stati esaminati sia i CABG (arteriosi e venosi) che il circolo coronarico nativo a valle delle anastomosi chirurgiche, tenendo conto della suddivisione anatomica delle coronarie in 15 segmenti [7]. Ciascun bypass e segmento coronarico è stato poi classificato come valutabile o non valutabile, in base alla qualità diagnostica. Dopo aver valutato la presenza o meno di calcificazioni in ciascun segmento coronarico in esame, si è passati a documentare l'eventuale presenza di stenosi significative ($\geq 50\%$), non significative ($< 50\%$) e delle occlusioni totali. È stata successivamente calcolata la sensibilità, la specificità e l'accuratezza diagnostica della TCMD nella quantificazione delle occlusioni e delle stenosi significative, in corrispondenza dei graft e del circolo nativo distale all'anastomosi chirurgica. Tali valori

views. The arteriograms were analysed by a blinded observer with a quantitative software package. The stenoses were evaluated as the percentage of the reference diameter measured in two orthogonal views and using the mean of the two samples as the final value. A value $\geq 50\%$ indicated significant stenosis.

Results

One (1.3%) of the 78 patients enrolled in the study was excluded due to the onset of arrhythmia during the examination. The remaining 77 (98.7%) completed the examination without complications and subsequently underwent CCA. HR measured during MDCT acquisition was around 63 ± 4 bpm. Of the 212 bypass grafts, 115 (54%) were venous and 97 (46%) were arterial fashioned from the left (LIMA) and right (RIMA) internal mammary artery.

Venous grafts

Of the 115 venous grafts, 25 (22%) were anastomosed to the left anterior descending coronary artery (LAD), 43 (37%) to the left circumflex artery (LCX) and 47 (41%) to the right coronary artery (RCA). Two of these (1.7%) were excluded from the study as they were nonassessable given the presence of calcifications at the distal anastomosis. Of the remaining 113 grafts, 53 (46.9%) were found at CCA to be affected by CAD (19 occlusions and 34 stenoses) and 60 (53.1%) showed no changes in the vessel walls (Fig. 1). In evaluating vascular occlusions, there was agreement between MDCT and CCA in 19 of 19 cases (100%). With regard to the identification of stenoses, 31 of 34 (91.1%) were correctly identified (Fig. 2). Two stenoses (6%) near the distal anastomosis were underestimated due to the presence of extensive calcifications of the native vessels (false negatives). In one case, the MDCT examination overestimated the severity of stenosis by attributing the classification of occlusion to a preocclusive stenosis of the proximal anastomosis (false positive).

In light of these findings, the sensitivity of MDCT in our series was 100%, specificity 100% and accuracy 100% in the identification of occlusions. With regard to stenosis in bypass grafts, MDCT showed a sensitivity of 94.4%, specificity of 98.4% and accuracy of 96.9%.

Arterial grafts

Of the 97 arterial grafts, 84 (86.6%) were anastomosed with the LAD, 12 with the LAD and the first diagonal branch (12.4%) and one with the LAD and LCX (1%).

sono stati calcolati separatamente per i bypass venosi, arteriosi e per i segmenti coronarici considerati.

Coronarografia convenzionale

L'esame coronarografico convenzionale è stato effettuato mediante un apparecchio flat panel Philips (Medical Philips System, Olanda) usando multiple proiezioni. I filmati sono stati analizzati da un operatore in cieco con un software quantitativo. Le stenosi sono state valutate come percentuale del diametro di riferimento determinato in due proiezioni ortogonali utilizzando la media dei due campioni come valore finale. Un valore $\geq 50\%$ ha indicato una stenosi significativa.

Risultati

Dei 78 pazienti arruolati per eseguire la TC, 1 di essi (1,3%) è stato escluso per l'insorgenza di un episodio aritmico durante l'acquisizione dell'esame. I restanti 77 soggetti (98,7%) hanno effettuato l'esame senza presentare complicanze e successivamente sono stati sottoposti ad esame ACC. La frequenza cardiaca durante l'acquisizione TC si è attestata intorno ai 63 ± 4 bpm. Dei 212 CABG rimanenti presi in esame, 115 (54%) erano costituiti da innesti venosi e 97 (46%) da innesti arteriosi, confezionati utilizzando l'arteria mammaria interna sinistra (AMIS) e destra (AMID).

Bypass venosi

Dei 115 bypass venosi, 25 (22%) erano anastomizzati alla discendente anteriore sinistra (DA), 43 (37%) all'arteria circonflessa (CX) e 47 (41%) all'arteria coronaria destra (Cdx). Due di essi (1,7%) sono stati esclusi dallo studio in quanto non valutabili per la presenza di calcificazioni a livello dell'anastomosi distale. Dei restanti 113 bypass venosi, 53 (46,9%) sono risultati sede di patologia aterosclerotica alla ACC (19 occlusioni e 34 stenosi) e 60 (53,1%) invece esenti da qualsiasi alterazioni parietale (Fig. 1). Nella valutazione delle occlusioni vasali, si è documentata una concordanza tra TC e ACC in 19 casi su 19 (100%). Per quanto riguarda invece l'identificazione delle stenosi, ne sono state correttamente identificate 31 su 34 (91,1%) (Fig. 2); sono state invece sottostimate 2 stenosi (6%), localizzate in prossimità della anastomosi distale per la presenza di estese calcificazioni del circolo coronarico nativo (falsi negativi). In un caso l'esame tomodensitometrico ha sovrastimato la severità del restringimento, giudicando occluso uno shunt con stenosi preocclusiva dell'anastomosi prossimale (falso positivo). Alla luce di questi risultati, nella nostra casistica la TCMD ha mostrato una sensibilità del 100%, una specificità del 100% ed una accuratezza diagnostica del 100% nella identificazione delle occlusioni. In riferimento invece alle stenosi occorse su bypass, la TCMD ha presentato rispettivamente una sensibilità del 94,4%, una specificità del 98,4% ed un'accuratezza diagnostica del 96,9%.

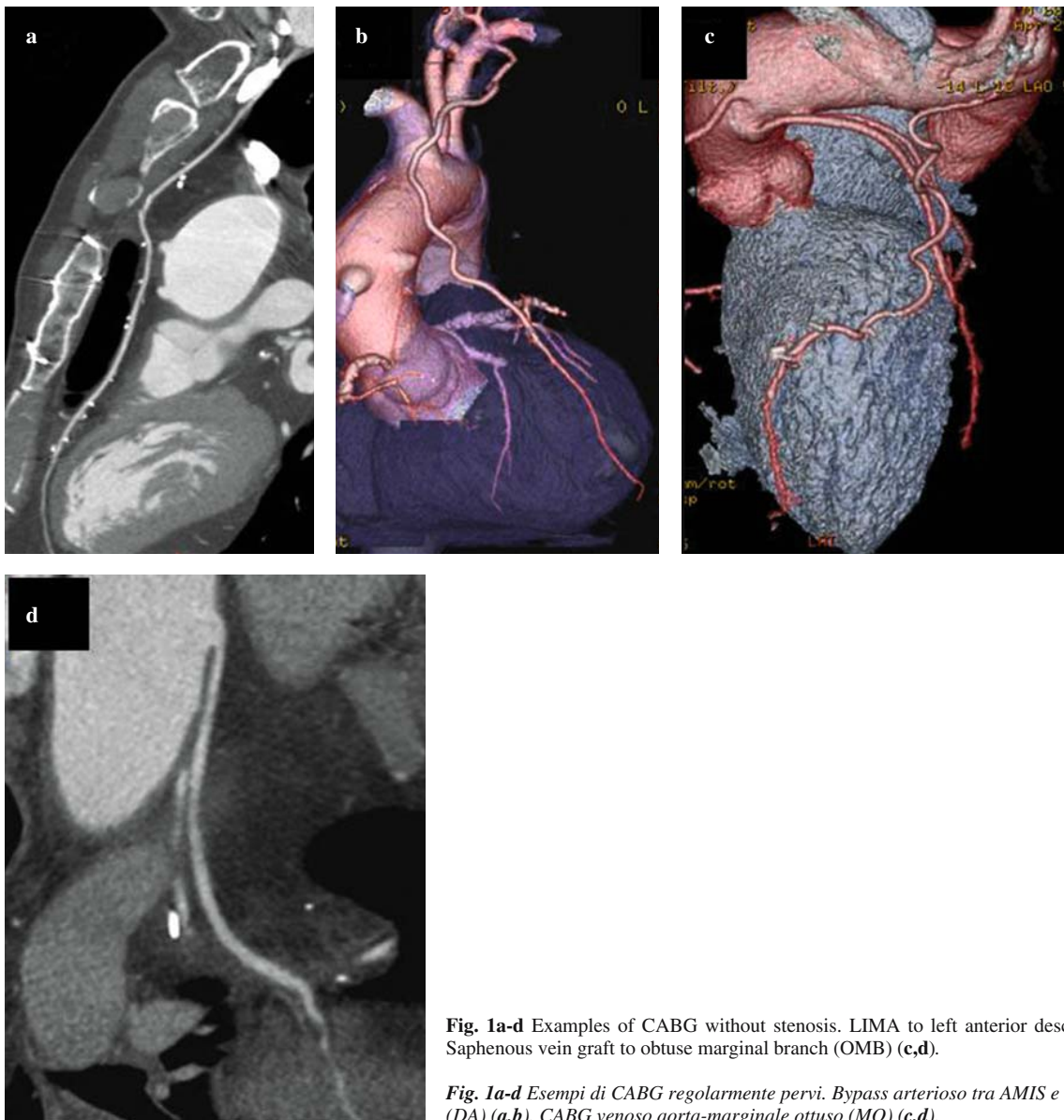


Fig. 1a-d Examples of CABG without stenosis. LIMA to left anterior descending (LAD) (a,b). Saphenous vein graft to obtuse marginal branch (OMB) (c,d).

Fig. 1a-d Esempi di CABG regolarmente pervi. Bypass arterioso tra AMIS e discendente anteriore (DA) (a,b). CABG venoso aorta-marginale ottuso (MO) (c,d).

CCA identified CAD in 12 grafts (five occlusions and seven significant stenoses), whereas 85 were found to be patent without significant reductions in diameter (Figs. 1 and 3). MDCT identified four occluded grafts (4%) (Fig. 4). In one case (1%), CCA demonstrated an occlusion at the distal anastomosis that was not visualised at MDCT due to beam hardening artefacts caused by a metal clip (false negative). The seven significant stenoses were all correctly identified at MDCT (true positives). Two stenoses (2%) judged to be nonsignificant at CCA were considered to be >50% at MDCT (false positives) due to the presence of motion artefacts caused by an increase in HR during acquisition (Fig. 5). Therefore, with regard to arterial graft occlusions, the sensitivity was 83.3%, specificity 100% and accuracy 98.9%,

Bypass arteriosi

Dei 97 bypass arteriosi, 84 (86,6%) sono stati anastomizzati con la DA, 12 con la DA e il ramo diagonale (12,4%) ed 1 con la DA e la CX (1%). Lo studio coronarografico ha identificato patologia aterosclerotica in 12 bypass (5 occlusi e 7 stenosi significative) mentre 85 sono risultati regolarmente pervi senza riduzioni significative di calibro (Figg. 1 e 3). Dai dati emersi dalla TCMD, 4 bypass (4%) sono risultati occlusi (Fig. 4). In 1 caso (1%), la ACC ha messo in evidenza un'occlusione a livello dell'anastomosi distale non evidenziata alla TC per la presenza di artefatti da indurimento del fascio da clip metallica (falso negativo). Le 7 stenosi significative sono state correttamente individuate all'esame TC (veri positivi). Due stenosi (2%) risultate non significative alla ACC sono state considerate alla TC superiori al 50%

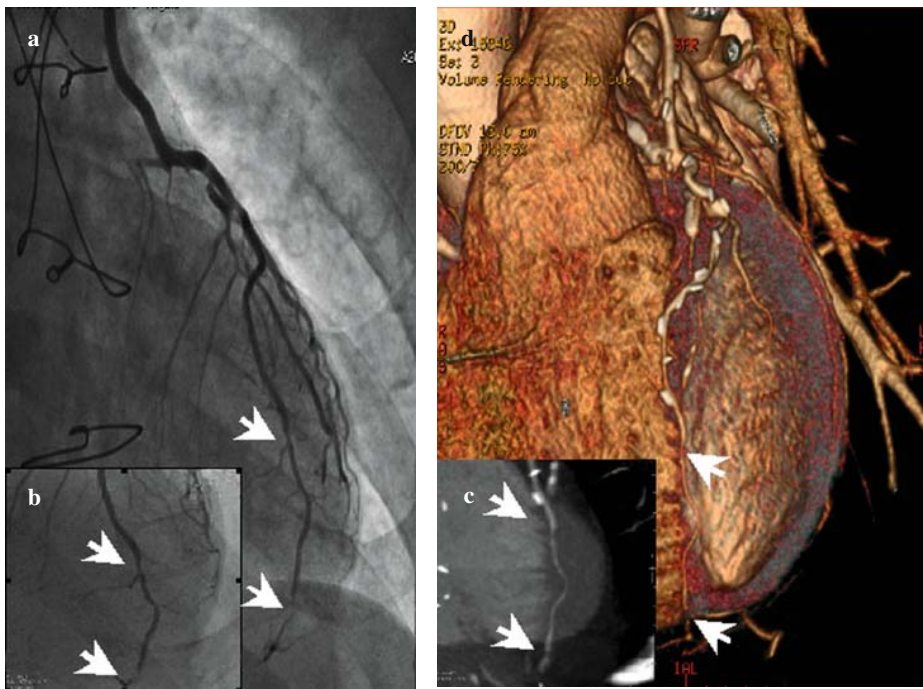


Fig. 2a-d Bypass of LAD. CCA (a,b) and CT with MIP (c) and VR reconstructions (d) show two significant stenoses before and after the graft.

Fig. 2a-d Bypass su DA. Lo studio coronarografico (a,b) documenta l'esistenza di duplice stenosi significativa in corrispondenza del tratto distale del vaso, a valle dell'anastomosi. Le ricostruzioni MIP (c) e VR (d) confermano quanto evidenziato con l'ACC.

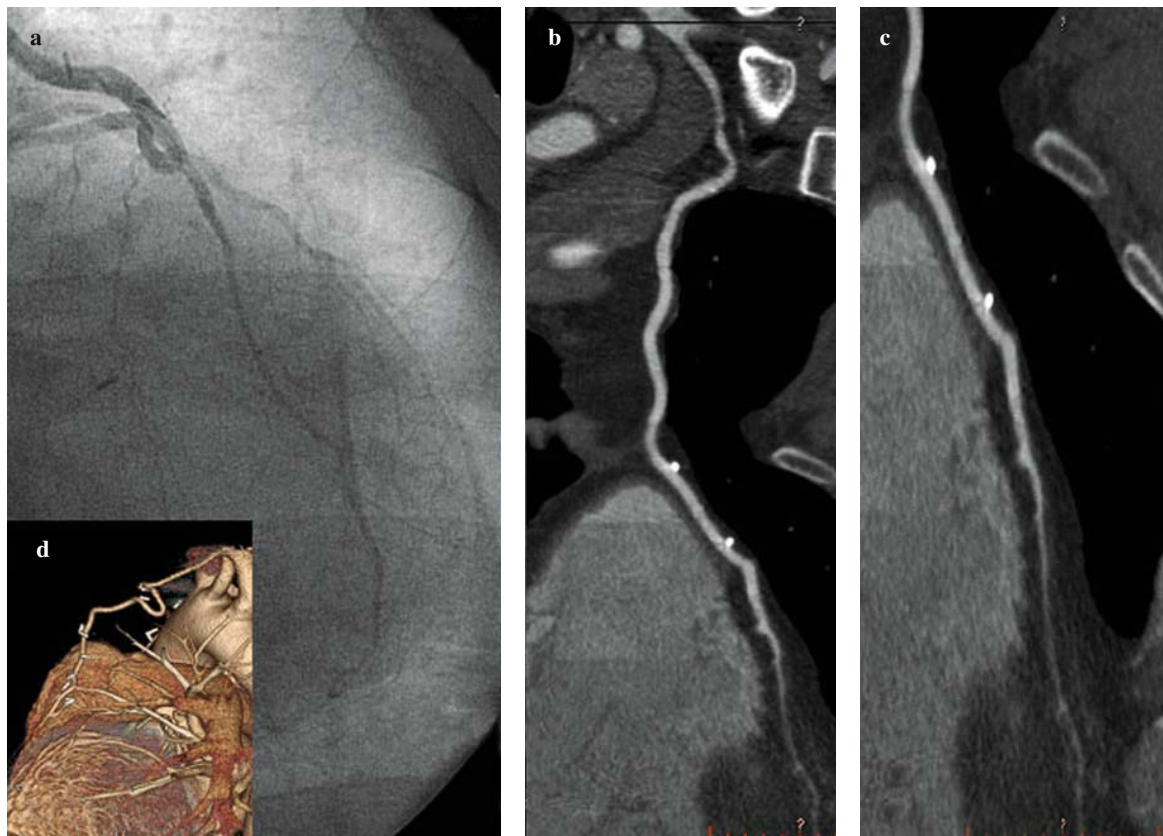


Fig. 3a-d LIMA to LAD artery. CCA (a) evaluates the patency of the bypass and the coronary distal to the graft. Curved 2D multiplanar reformation (MPR) (b,c) and VR (d) confirm the absence of stenosis (true negative).

Fig. 3a-d Bypass AMIS-DA. L'esame coronarografico (a) mostra regolare pervietà del bypass e del segmento a valle dell'anastomosi. Le ricostruzioni MPR curved 2D (b,c) e VR (d) confermano l'assenza di significative riduzioni di calibro dei vasi esaminati (vero negativo).



Fig. 4a-e LIMA to LAD artery. CCA (a-c) shows occlusion of proximal part of LIMA. CT with curved 2D MPR (d) and MIP (e) confirms the occlusion (true positive).

Fig. 4a-e Bypass AMIS-DA. L'esame coronarografico (a-c) mostra occlusione dell'arteria mammaria in corrispondenza del III prossimale. Le ricostruzioni MPR curved 2D (d) e MIP (e) confermano la mancata visualizzazione del vaso a monte dell'anastomosi (vero positivo).

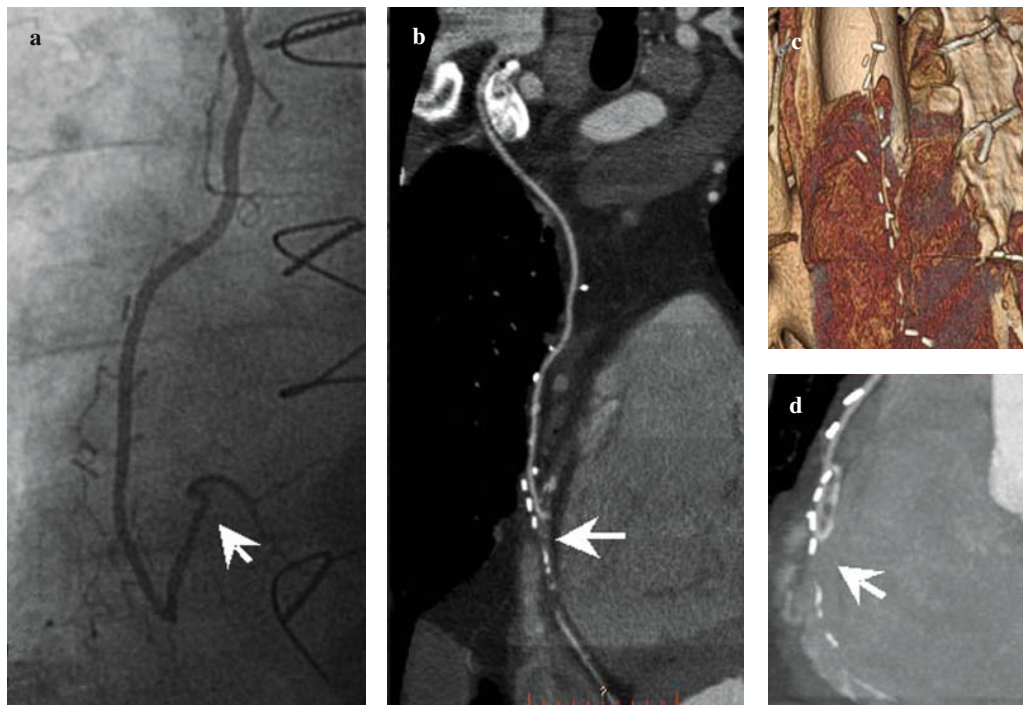


Fig. 5a-d RIMA to RCA. Conventional coronary angiography (a) shows the patency of the vessel distal to the graft. CT with curved 2D MPR (b), VR (c) and MIP (d) shows severe stenosis in the same place (false positive) due to cardiac motion artefacts.

Fig. 5a-d Bypass AMID-Cdx. L'esame coronarografico (a) mostra regolare pervietà del vaso a valle dell'anastomosi confezionata. All'esame TC le ricostruzioni MPR curved 2D (b), VR (c) e MIP (d) documentano la presenza di sub-occlusione della coronaria a valle dell'anastomosi (falso positivo) a causa degli artefatti da movimento cardiaco.

whereas with regard to stenosis of arterial grafts, the sensitivity was 100%, specificity 97.7% and accuracy 98%.

Native coronary arteries

All native coronary segments distal to the surgical anastomosis visualised with CCA were compared with the corresponding segments examined with MDCT. The evaluation included a total of 226 coronary segments (213 + 13 sequential), of which 20 (8.8%) were considered of poor diagnostic quality due to the presence of motion artefacts and vessel wall calcifications. However, no segment was excluded from the analysis. In this group of patients, CCA identified 184 coronary segments (81.4%) with no significant stenoses and 42 segments (18.6%) with significant stenoses. MDCT confirmed the negative finding at CCA in 180 out of 184 (97.8%) coronary segments. In the remaining four cases (2.2%), MDCT classified as significant, stenoses that were <50% at CCA (false positives). With regard to significant stenoses, 39 of 42 (92.8%) were correctly identified at MDCT. Two (4.8%) were underestimated (lumen reduction <50%) with respect to CCA findings. In one case (2.4%), MDCT classified an LAD stenosis as an occlusion that instead was subocclusive at CCA (false positive); this was due to cardiac motion artefacts. In evaluating disease progression, therefore, sensitivity was 95.4%, specificity 97.3% and diagnostic accuracy 97%.

Discussion

CCA is still considered the reference standard for evaluating CABG [14, 15] despite the unquestionable invasiveness of the procedure and the need for several days of hospitalisation, the costs of which are significant for the National Health Service. Given the economic costs and the greater risk compared with noninvasive procedures, it would appear desirable to reserve CCA only for patients with an elevated risk of disease in the grafts or native vessels distal to the surgical anastomoses. A number of noninvasive imaging techniques can be used in the follow-up of patients with CABG, especially in those, as stated above, where the risk of disease in the grafts or native vessels is low to intermediate. Magnetic resonance angiography (MRA) has proven to be an extremely valid technique in evaluating the patency of bypass grafts, with a sensitivity of 95.2% and specificity of 96.8% [16]. Nonetheless, this technique is limited by low spatial resolution and artefacts generated by metal clips, which render it difficult to evaluate small-diameter bypass grafts such as those fashioned between the LIMA and distal LAD. In

(falsi positivi) per presenza di artefatti da movimento dovuti alla crescita della frequenza cardiaca in fase d'acquisizione (Fig. 5). Quindi, considerando i bypass arteriosi occlusi, la sensibilità è stata dell'83,3%, la specificità del 100% e l'accuratezza diagnostica del 98,9%, mentre nelle stenosi dei bypass arteriosi, la sensibilità è stata del 100%, la specificità del 97,7% e l'accuratezza diagnostica del 98%.

Arterie coronarie native

Tutti i segmenti coronarici nativi distali all'anastomosi chirurgica visualizzati con la ACC sono stati confrontati con i corrispondenti segmenti esaminati alla TC. La valutazione ha compreso in tutto 226 segmenti coronarici (213+13 sequenziali), di cui 20 (8,8%) considerati di scarsa qualità diagnostica alla TC per la presenza di artefatti da movimento e di calcificazioni delle pareti vasali. Nessun segmento è stato tuttavia escluso dalla nostra analisi. In questo gruppo di pazienti la ACC ha identificato 184 segmenti coronarici (81,4%) esenti da stenosi significative, e 42 segmenti (18,6%) sede di stenosi significative. In 180 su 184 segmenti coronarici (97,8%), la TC ha confermato il reperto di negatività emerso alla coronarografia. Nei restanti 4 casi (2,2%) la TC ha giudicato significative stenosi inferiori al 50% all'indagine coronarografica (falsi positivi). Per quanto riguarda le stenosi significative, 39 su 42 (92,8%) sono state correttamente identificate alla TC, 2 (4,8%) sono state sottostimate (riduzione del lume vasale <50%) rispetto a quanto documentato alla ACC (falsi negativi). In 1 caso (2,4%), la TCMD ha definito come occlusione una stenosi della DA che è risultata subocclusiva alla ACC (falso positivo) a causa degli artefatti da movimento cardiaco. Nella valutazione della progressione di malattia, quindi, la sensibilità è stata del 95,4%, la specificità del 97,3% e l'accuratezza diagnostica del 97%.

Discussione

La ACC è tutt'oggi considerata il gold standard per la valutazione dei CABG [14, 15], nonostante la indiscutibile invasività della procedura e la necessità di alcuni giorni di ospedalizzazione i cui costi non sono indifferenti per il Servizio Sanitario Nazionale (SSN). Considerando l'aspetto economico ed i rischi maggiori per il paziente rispetto ad indagini non invasive sarebbe corretto riservare l'indagine angiografica solo a pazienti con rischio elevato di patologia dello shunt o del circolo nativo post-anastomosi. Ad oggi alcune tecniche di imaging non invasive possono essere impiegate nel follow-up dei pazienti con shunt coronarici in particolare, come già affermato sopra, in quel gruppo di pazienti dove il rischio di malattia coronarica o dello shunt e bassa-intermedia. La angiografia con RM (angio-RM) si è dimostrata tecnica estremamente valida nella valutazione della pervietà dei bypass con valori di sensibilità pari al 95,2% e specificità pari al 96,8% [16]. Ciononostante questa tecnica è attualmente

addition, MR can be extremely dependent on the optimal cooperation of the patient, and the technique requires longer and more elaborate acquisition and postprocessing times.

A large number of studies done with MDCT for evaluating CABG have shown that 16-slice MDCT systems make it possible to correctly analyse arterial and venous bypass grafts [17–19]. Despite the increased performance of 16-slice MDCT scanners over the older systems in terms of temporal and spatial resolution, evaluating native vessels in CABG patients remains a significant diagnostic problem [20, 21]. The new generations of 64-slice MDCT offer increased spatial and temporal resolution and allow the entire cardiac volume to be acquired in less than 9 s with an isotropic voxel resolution of 0.4 mm^3 [22–26]. Therefore, high-resolution images can be obtained with optimal timing of the contrast agent both in the entire length of the grafts and in the native coronary circulation distal to the anastomosis.

The aim of our study was to determine the accuracy of 64-slice MDCT and to test its potential in evaluating the patency of CABG and in the progression of CAD in the native coronary arteries. MDCT systems with 64 detectors have unquestionable advantages over their predecessors in terms of acquisition speed (6–10 s), which enables the cardiac volume to be acquired more rapidly and therefore with a marked reduction in motion artefacts due to respiration and HR variability in the initial and final phase of the acquisition. In addition, the acquisition can be targeted to the central and more stable phase of the breath-hold. In our experience, this enables a marked reduction in the number of patients and coronary segments excluded from the study. Only one patient (1.3%) was excluded due to arrhythmia with onset during the acquisition, and only two venous grafts (1.7%) were classified as nonassessable. This shows that the examination is more feasible than the study performed with 16-slice MDCT, which is affected by a drastic restriction in the number of nonassessable patients and coronary segments. In addition, the increase in acquisition speed offers the advantage of enabling acquisition in a selective phase of arterial enhancement, thus increasing the contrast resolution in relation to the adjacent structures and avoiding visualisation of overlying venous structures. In particular, this is an unquestionable advantage in evaluating small-diameter vessels, such as those distal to the anastomoses, as it improves their visualisation and the reliability in identifying stenoses.

Our findings confirm that the technique is highly reliable in evaluating venous and arterial bypass grafts, both at the site of the proximal and distal anastomoses, with sensitivity, specificity and accuracy values close to those obtained with CCA. It should be noted that similar results

limitata da una bassa risoluzione spaziale, e da artefatti generati dalle clips metalliche, che rendono difficoltosa la valutazione dei bypass di piccolo calibro come quelli confezionati tra mammaria interna sinistra e DA distale. Inoltre l'esame RM appare estremamente dipendente dalla ottimale collaborazione del paziente e peraltro richiede tempi di acquisizione e post-processing più lunghi ed elaborati.

Un gran numero di studi effettuati con TCMD per la valutazione dei CABG, ha dimostrato che la TC a 16 strati permette una corretta analisi dei bypass arteriosi e venosi [17–19]. Nonostante le aumentate performance della TCMD a 16 strati in termini di risoluzione temporale e spaziale rispetto agli scanner di vecchia generazione, la valutazione dei vasi nativi nei pazienti sottoposti a CABG resta ancora un importante problema diagnostico [20, 21]. Le nuove generazioni di TCMD a 64 strati offrono un'aumentata risoluzione spaziale e temporale e permettono di acquisire l'intero volume cardiaco in meno di 9 secondi con una risoluzione di voxel isotropico di $0,4 \text{ mm}^3$ [22–26]. Ciò consente di poter ottenere immagini ad elevata risoluzione e con un ottimale timing del MDC sia degli shunt dalla loro origine che del circolo coronarico nativo distale alla anastomosi.

Lo scopo del nostro studio è stato quello di determinare l'accuratezza diagnostica della TCMD a 64 strati e di testarne le sue potenzialità nella valutazione di pervietà dei CABG e della progressione di malattia nelle arterie coronarie native. Le generazioni di TC a 64detettori sono indubbiamente portatrici di importanti vantaggi rispetto alle generazioni precedenti, quali la velocità di acquisizione (6–10 s), consentendo di acquisire più rapidamente il volume, riducendo sensibilmente l'incidenza di artefatti da respiro e di artefatti dovuti alla variabilità della frequenza cardiaca nella fase iniziale e finale dell'acquisizione. Inoltre è possibile mirare l'acquisizione nella fase centrale, più stabile, dell'apnea. Nella nostra esperienza ciò ha consentito di ridurre sensibilmente il numero di pazienti e di segmenti esclusi dallo studio. Un solo paziente (1,3%) è stato escluso per aritmia insorta durante l'acquisizione, mentre solo due shunt venosi (1,7%) sono stati giudicati non valutabili. Da ciò si evince come l'esame sia più fattibile rispetto allo studio con TC a 16 detettori con una drastica restrizione dei pazienti e dei segmenti non valutabili. Inoltre l'incremento della velocità di acquisizione offre il vantaggio di poter acquisire lo studio in una selettiva fase di enhancement arterioso, incrementando la risoluzione di contrasto in rapporto alle strutture adiacenti ed evitando nello stesso tempo la sovrapposizione delle strutture venose. In particolare nella valutazione di vasi di piccolo calibro come quelli distali alle anastomosi ciò costituisce un indubbio vantaggio e migliora la loro visualizzazione e l'affidabilità nell'individuare stenosi.

I nostri risultati confermano come l'indagine sia estremamente affidabile nella valutazione del bypass venoso e arterioso, sia in sede di anastomosi prossimale, sia in sede di anastomosi distale, con valori di sensibilità, specificità e accuratezza diagnostica prossimi a quelli ottenuti con l'esame angiografico. È da sottolineare come risultati simili

can be obtained with 16-slice scanners, as reported by several studies in the literature [8–12]. The advantage of using a 64-slice system, however, is not only limited to an increase in sensitivity, specificity and accuracy, but also includes a marked broadening of the patient base and a significant reduction in the number of nonassessable segments due to motion artefacts caused by respiration or arrhythmias. It should also be noted that in the study of arterial grafts, the entire length of the internal mammary artery is evaluated, from its origin to the distal anastomosis, in contrast to the procedure with 16-slice scanners. The relatively low sensitivity (83.3%) obtained in identifying occlusions in arterial grafts can be explained by the low prevalence of occlusions in our patient population. In fact, only five patients out of 97 were found to have occlusions at CCA.

A word needs to be said with regard to the native coronary arteries distal to the surgical anastomosis. Our study only included segments distal to the surgical anastomoses and considered disease progression in the bypassed tracts to be of no influence. These are small-diameter vessels in which the CAD, and as a consequence calcification, is more advanced than found in the coronary arteries of patients who have not undergone surgical revascularisation. As the findings of our study show, in evaluating disease progression, the accuracy of the information provided by MDCT is close to that of CCA. We therefore believe that the sensitivity, specificity and accuracy values (95.4%, 97.3% and 97%) obtained in our patient population on native coronary arteries distal to the surgical anastomosis allow for a complete evaluation of the surgical and native circulation of the CABG patient. The examination is completely reliable in ruling out or confirming the presence of disease in the postoperative follow-up.

The one limitation to our study is the relatively low number of patients. Data obtained could be confirmed with the organisation of multicentre trials and enrolment of a greater number of patients.

Conclusions

In conclusion, 64-slice MDCT is a valid alternative to CCA in the follow-up of CABG patients in evaluating both the bypass grafts and the native coronary arteries distal to the anastomosis.

Conflict of interest None

siano ottenibili anche con apparecchiature a 16 detettori, come riportato da differenti esperienze in letteratura [8–12]. Il vantaggio di impiegare un'apparecchiatura a 64 detettori non si limita al solo incremento della sensibilità, specificità e accuratezza diagnostica, quanto nell'ampliare sensibilmente il gruppo di pazienti investigabili e nel ridurre in maniera significativa i segmenti scartati sia per la presenza di artefatti da respiro sia per irregolarità del ritmo. È inoltre da sottolineare come nello studio degli shunt arteriosi l'arteria mammaria interna venga valutata nella sua interezza a partire dall'origine fino all'anastomosi distale, a differenza di quanto avveniva con tomografi a 16 detettori. La relativa bassa sensibilità (83,3%) ottenuta nell'identificare le occlusioni nei bypass arteriosi è spiegabile con la bassa prevalenza di occlusioni nel nostro gruppo di pazienti, infatti solo 5 di essi sul gruppo totale di 97 sono risultati occlusi all'esame coronarografico.

Una considerazione a parte merita il circolo nativo distale alle anastomosi chirurgiche. Nel nostro studio sono stati inclusi solo i tratti di coronaria distale alle anastomosi chirurgiche, considerando non influenti le progressioni di malattia nei tratti prossimali bypassati. Si tratta di shunt di vasi di piccolo calibro nei quali la malattia aterosclerotica, e di conseguenza le calcificazioni, sono più avanzate rispetto a quanto documentabile nelle coronarie di pazienti non sottoposti a rivascolarizzazione chirurgica. Come dimostrato dai risultati ottenuti nel nostro gruppo di pazienti, la correttezza delle informazioni fornite dalla TCMD si avvicina a quelle fornite dall'ACC nella valutazione della progressione della malattia. Pertanto riteniamo che valori di sensibilità, specificità e di accuratezza diagnostica (95,4%, 97,3% e 97%), come quelli ottenuti nel nostro gruppo su coronarie native distali all'anastomosi, consentano realmente una completa valutazione del circolo chirurgico e nativo nel paziente sottoposto a bypass. L'esame risulta essere completamente affidabile nell'escludere o confermare la presenza di patologia vasale nei follow-up post-operatori.

Il limite attuale dello studio è costituito dall'esiguità della popolazione presa in esame. La conferma dei dati ottenuti è possibile mediante organizzazione di trial multicentrici con reclutamento di un numero maggiore di pazienti.

Conclusioni

In conclusione si può affermare la TCMD a 64 strati rappresenti ormai una valida alternativa all'ACC nel follow-up del paziente sottoposto a rivascolarizzazione mediante CABG, sia per la valutazione del grafting che del circolo coronarico nativo distale all'anastomosi.

References/Bibliografia

1. Fitz Gibbon GM, Leach AJ, Kafka HP et al (1991) Coronary bypass graft fate: long-term angiographic study. *J Am Coll Cardiol* 17:1075–1080
2. Eagle K, Guyton RA, Davidoff R et al (1999) ACC/AHA guidelines for coronary artery bypass graft surgery: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (Committee to revise the 1991 Guidelines for coronary artery bypass graft surgery) *J Am Coll Cardiol* 34:1262–1347
3. Cameron AA, Davis KB, Rogers WJ (1995) Recurrence of angina after coronary artery bypass surgery: predictors and prognosis (CASS Registry). *Coronary Artery Surgery Study. J Am Coll Cardiol* 26:895–899
4. Schlosser T, Konorza T, Hunold P et al (2004) Noninvasive visualization of coronary artery bypass grafts using 16-detector row computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 44:1224–1229
5. Pepine CJ, Allen HD, Bashore TM et al (1991) ACC/AHA guidelines for cardiac catheterization and cardiac catheterization laboratories. American College of Cardiology/American Heart Association Ad Hoc Task Force on Cardiac Catheterization. *Circulation* 84:2213–2247
6. Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM et al (1999) ACC/AHA guidelines for coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 33:1756–1824
7. Vergara G (2001) L'emodinamica con i sistemi portatili di nuova generazione: rapporti costi-benefici. *Ital Heart J Suppl* 2:25
8. Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E et al (2001) Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 88:792–795
9. Anders K, Baum U, Schmid M et al (2006) Coronary artery bypass graft (CABG) patency: assessment with high-resolution sub-millimeter 16-slice multidetector-row computed tomography (MDCT) versus coronary angiography. *Eur J Radiol* 57:336–344
10. Cademartiri F, Marano R, Luccichenti G et al (2004) Anatomia normale del circolo coronarico con TC multistrato a 16 canali. *Radiol Med* 107:11–21
11. Burgstahler C, Beck T, Kuettner A et al (2006) Non-invasive evaluation of coronary artery bypass grafts using 16-row multi-slice computed tomography with 188 ms temporal resolution. *Int J Cardiol* 106:244–249
12. Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A et al (2004) Evaluation of venous and arterial conduit patency by 16-slice spiral computed tomography. *Circulation* 110:3234–3238
13. Stauder N, Kuettner A, Schroder S et al (2006) Coronary artery bypass grafts: assessment of graft patency and native coronary artery lesions using 16-slice MDCT. *Eur Radiol* 16:2512–2520
14. Detre KM, Wright E, Murphy ML et al (1975) Observer agreement in evaluating coronary angiograms. *Circulation* 52:979–986
15. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT et al (2002) ACC/AHA 2002 Guideline Update for Exercise Testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). *Circulation* 106:1883–1892
16. Stauder NI, Klumpp B, Stauder H et al (2007) Assessment of coronary artery by-pass grafts by magnetic resonance imaging. *BJR* 80:975–983
17. Salm LP, Bax JJ, Jukema JW et al (2005) Comprehensive assessment of patients after coronary artery bypass grafting by 16-detector-row computed tomography. *Am Heart J* 150:775–781
18. Leta R, Carreras F, Alomar X et al (2004) Non-invasive coronary angiography with 16 multidetector-row spiral computed tomography: a comparative study with invasive coronary angiography. *Rev Esp Cardiol* 57:217–224
19. Crusco F, Antoniella A, Papa V et al (2007) Evidence based medicine: role of multidetector CT in the follow up of patients receiving coronary artery bypass grafts. *Radiol Med* 112:509–525
20. Schroeder S, Kopp AF, Kuettner A et al (2002) Influence of heart rate on vessel visibility in noninvasive coronary angiography using new multislice computed tomography: experience in 94 patients. *Clin Imag* 26:106–111
21. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ et al (2002) Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate. *Heart* 88:470–474
22. Feuchtner GM, Schachner T, Bonatti J et al (2007) Diagnostic performance of 64-slice computed tomography in evaluation of coronary artery bypass grafts. *AJR Am J Roentgenol* 189:574–580
23. Desbiolles L, Leschka S, Plass A et al (2007) Evaluation of temporal windows for coronary artery bypass graft imaging with 64-slice CT. *Eur Radiol* 17:2819–2828
24. Pache G, Saueressig U, Frydrychowicz A et al (2006) Initial experience with 64-slice cardiac CT: non-invasive visualization of coronary artery bypass grafts. *Eur Heart J* 27:976–980
25. Auguadro C, Manfredi M, Scalise F et al (2009) Multislice computed tomography for the evaluation of coronary bypass grafts and native coronary arteries: comparison with traditional angiography. *J Cardiovasc Med* 10:454–460
26. Nazeri I, Shahabi P, Tehrai M et al (2009) Assessment of patients after coronary artery bypass grafting using 64-slice computed tomography. *Am J Cardiol* 103:67–73