

La Radiologia Medica - Radiol Med 106: 382-390, 2003
Edizioni Minerva Medica - Torino

Eco color-Doppler vs angio-TC nella selezione delle placche aterosclerotiche carotidiche da trattare chirurgicamente Studio prospettico

Alessandro VIT - Alessandro DE CANDIA
Gianluca PICCOLI - Giuseppe COMO
Francesco PELIZZO - Massimo BAZZOCCHI

Scopo. Comparare l'accuratezza diagnostica dell'eco color-Doppler a quella della angio-TC nella selezione delle placche aterosclerotiche carotidiche da trattare con tromboendarterectomia o angioplastica.

Materiale e metodi. Mediante eco color-Doppler e angio-TC abbiamo studiato 35 placche in 20 pazienti valutando, all'ecografia: grado di stenosi geometrica (con metodo NASCET), massima velocità di picco sistolico in corrispondenza della stenosi e caratteristiche del flusso poststenotico; all'angio TC: grado di stenosi geometrica (con metodo NASCET) e quantità di calcio. Abbiamo comparato il grado di stenosi geometrica determinato con le due metodiche e l'impatto di ciascuna sulla selezione dei pazienti chirurgici. L'angio-TC è stata considerata il gold standard.

Risultati. Tre su 35 placche determinavano una ostruzione completa all'angio-TC; tutte 3 sono state riconosciute anche ecograficamente; 12/35 placche determinavano una stenosi maggiore del 60% alla TC, 11 (91,6%) delle quali correttamente identificate anche ecograficamente; infine 19/35 provocavano una stenosi minore del 60% alla TC, 17 delle quali (89,5%) correttamente quantificate anche all'ecografia. I valori predittivo positivo e predittivo negativo nell'identificazione delle stenosi maggiori del 60% sono risultati rispettivamente del 92,3% e del 95%.

Discussione e conclusioni. È riconosciuto il ruolo dell'eco color-Doppler (ECD) come indagine di primo livello nella diagnosi di aterosclerosi carotidea e nello studio della placca, al fine di selezionare le placche da trattare con endoarterectomia o angioplastica. È invece discusso il fatto che l'ECD possa rappresentare l'unica indagine nella selezione delle placche da trattare in maniera non conservativa o debba essere invece sempre integrata da indagini più costose ed invasive quali angio-TC, angio-RM e angiografia. I risultati del nostro studio suggeriscono che l'ecografia ha una accuratezza paragonabile a quella dell'angio-TC nella determinazione del grado di stenosi geometrica determinata dalla placca ed inoltre fornisce informazioni sugli effetti emodinamici della placca stessa. L'angio-TC, considerata a buon diritto dalla letteratura indagine gold-standard, rimane fondamentale nello studio della composizione della placca (in particolare nella determinazione della presenza e della quantità di calcio), e nei casi in cui, per motivi anatomici (collo corto, biforcazione alta), o per motivi anatomo-patologici (placche calcifiche ad anello, estrema tortuosità dei vasi), l'ecografia non sia in grado di fornire risultati conclusivi.

PAROLE CHIAVE: Arterie carotidi, malattia - Arterie carotidi, Doppler - Arterie carotidi, angio-TC.

Color-Doppler sonography vs CT-angiography in discriminating carotid atherosclerotic plaques for surgical treatment. A prospective study

Purpose. To compare the diagnostic accuracy of colour-Doppler sonography and CT-angiography in the selection of extracranial stenosis of the internal carotid artery to be treated with either endarterectomy or percutaneous transluminal angioplasty.

Materials and methods. A total of 35 atherosclerotic plaques in 20 patients were studied with colour-Doppler sonography and CT-angiography (technical parameters: 2 mm raw thickness; 3.5 helical pitch; 2 mm image thickness; 1 mm reconstruction interval; non ionic contrast medium; Iodine concentration: 400 mg/ml, injection rate 5 ml/sec; Sure Start). On colour-Doppler sonography, we evaluated: the level of geometric stenosis (NASCET classification), maximum systolic peak velocity at the point of maximal stenosis and post-stenotic flow features. On CT-angiography we evaluated the level of geometric stenosis (NASCET classification) and the presence of calcium. We compared the degrees of geometric stenosis obtained with both techniques and considered the role each technique had in selecting candidates for surgery. CT-angiography was considered the gold standard.

Results. Three out of 35 plaques on CT-angiography were determining total carotid occlusion; all three of them were also shown on colour-Doppler sonography; 12 of 35 plaques were responsible for a degree of stenosis over 60% on CT-angiography and 11 of them (91.6%) were correctly shown on colour-Doppler sonography. 19 out of 35 plaques were determining a degree of stenosis less than 60% on CT-angiography and 11 of them (89.5%) were correctly shown on colour-Doppler sonography. The positive and negative predictive values were 92.3% and 95%, respectively, in detecting the plaques responsible for a degree of stenosis greater than 60%.

Discussion and conclusions. Colour-Doppler sonography is considered the first step in the diagnostic work-up of carotid atherosclerosis and evaluation of plaque conspicuity to select which plaques need to be treated with endarterectomy or percutaneous transluminal angioplasty. It has not been clearly demonstrated whether colour-Doppler sonography should be regarded as the sole preoperative imaging test or whether more expensive and invasive procedures such as CT-angiography, MRI and angiography are required. This study suggests that the accuracy of colour-Doppler sonography is comparable to that of CT-angiography in evaluating the degree of geometric stenosis caused by the plaque; in addition, it provides functional information on the plaque's haemodynamics effects. CT-angiography, rightly regarded as the gold standard, should be used for evaluating plaque composition (in particular predicting calcium presence and conspicuity) and in those cases in which the sonographic evaluation is not conclusive.

KEY WORDS: Carotid arteries diseases - Carotid arteries, Doppler - Carotid arteries, angio-CT.

Istituto di Radiologia - Università degli Studi di Udine - Udine.

Pervenuto alla Redazione il 6.9.2002; revisionato il 14.1.2003; restituito corretto il 3.3.2003; accettato per la pubblicazione il 10.3.2003.

Indirizzo per la richiesta di estratti: Dott. A. Vit - Istituto di Radiologia - Policlinico Universitario a gestione diretta - Via Colugna 50 - 33100 Udine UD.

Introduzione

La stenosi aterosclerotica della biforcazione carotidea e della carotide interna, oltre ad essere il più importante fattore di rischio ictale (responsabile di circa il 70% degli ictus ischemici) rappresenta anche l'unica situazione suscettibile di correzione mediante endoarterectomia carotidea (EC) o angioplastica percutanea transluminale (PTA). Importanti studi multicentrici (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial; European Carotid Surgery Trial; Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study and Veterans Affairs Cooperative Study) hanno da tempo dimostrato l'efficacia dell'EC nella riduzione del rischio di ictus sia nei pazienti sintomatici che in quelli asintomatici [1-4].

Vi è ormai accordo nel considerare una percentuale di stenosi superiore al 70% (calcolata secondo il metodo NASCET: $1 - \text{diametro alla stenosi} / \text{diametro dell'arteria carotide interna a valle della stenosi}$), come sicura indicazione all'intervento. Più dibattuta è l'indicazione all'intervento nei pazienti sintomatici con stenosi inferiore al 70% e nei pazienti asintomatici. Sembra comunque che, in entrambi i casi, possa essere ritenuto ragionevole un cut-off del 60% di stenosi, valore al di sopra del quale sarebbe indicato l'intervento di EC o di PTA. Accordo vi è anche sull'indicazione al trattamento conservativo della placca quando questa determini stenosi inferiori al 50% od una occlusione completa del vaso, condizione quest'ultima in cui non è tecnicamente possibile intervenire sulla placca. Nel caso di pazienti sintomatici con stenosi compresa tra il 50 e il 60% l'indicazione all'intervento andrebbe valutata caso per caso [1-5].

Nello studio delle placche aterosclerotiche carotidee, al fine di selezionare quelle da trattare con EC o con PTA, risulta pertanto fondamentale stabilire il grado di stenosi determinato dalla placca e, in particolare, se questa superi o meno il 60% del lume del vaso. È inoltre necessario distinguere le occlusioni complete dalle pseudo-occlusioni, in cui il flusso residuo, anche se filiforme, rende ancora possibile l'intervento di rimozione della placca e il ripristino della pervietà del vaso.

L'angiografia convenzionale dei tronchi sovraortici, utilizzata nei principali studi sull'argomento, rappresenta ancora oggi il gold standard nella selezione delle placche da trattare in maniera non conservativa. Tuttavia la sua invasività, il costo elevato, il rischio non trascurabile di complicanze maggiori e i progressi ottenuti nelle metodiche non invasive (Doppler pulsato, angio TC e angio RM), hanno fatto sì che il suo ruolo venga messo sempre maggiormente in discussione [6-12].

L'eco color-Doppler (ECD) carotideo, per la sua non invasività, la facile ripetibilità, la relativa economicità ed affidabilità, è indicato come esame di primo livello nella diagnosi di stenosi carotidea e nella selezione delle placche candidate al trattamento chirurgico o angioplastico [1-4, 10].

Ciò che è ancora oggetto di discussione è se, e quando, l'ECD possa rappresentare l'unica indagine diagnostica preoperatoria o se, e quando, debba essere invece supplementata da indagini più costose e invasive quali angio-TC, angio-RM e angiografia convenzionale [12-16].

Il nostro lavoro si propone di comparare l'accuratezza diagnostica dell'ECD a quella della angio-TC nella selezione delle placche da trattare con tromboendoarterectomia o angioplastica.

Introduction

Atherosclerotic stenosis of the carotid bifurcation and internal carotid artery, besides being the most important risk factor for stroke (accounting for about 70% of ischaemic strokes) is also the only situation eligible for repair with carotid endarterectomy (CEA) or percutaneous transluminal angioplasty (PTA). Important multicentric studies (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial; European Carotid Surgery Trial; Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study and Veterans Affairs Cooperative Study) have long demonstrated the efficacy of CEA in reducing the risk of stroke in both symptomatic and asymptomatic patients [1-4].

There is general agreement stenosis greater than 70% (calculated according to the NASCET method: $1 - \text{diameter at stenosis} / \text{diameter of the internal carotid artery downstream from stenosis}$) constitutes a definite indication for surgery. A more controversial issue is the indication for surgery in symptomatic patients with stenosis less than 70% and in asymptomatic patients. However, in both cases a cut-off level of 60% stenosis appears reasonable, any value above that constituting an indication for CEA or PTA. It is also accepted that plaques causing less than 50% stenosis or complete occlusion of the vessel – which makes it technically impossible to intervene on the plaque – should be treated conservatively. In symptomatic patients with stenosis between 50% and 60% the indication to surgery should be assessed on a case-by-case basis [1-5].

In the study of carotid atherosclerotic plaques it is therefore crucial to establish the degree of stenosis caused by the plaque and, more specifically, to establish whether or not the stenosis exceed 60% to be able to screen patients for CEA or PTA. Moreover, it is necessary to distinguish complete occlusions from pseudo-occlusions, in which residual flow is sufficient to allow surgery and restore vessel patency.

Conventional angiography of the supra-aortic trunks, used in the most important studies on this topic, still represents the gold standard for selecting plaques eligible for conservative treatment. However, the technique's invasiveness, high cost, and non-negligible risk of major complications, combined with the advances made in non-invasive methods (pulse-wave Doppler, CT-angiography and MR-angiography) are leading to reconsider its role [6-12].

Carotid colour-Doppler sonography (CDS) is non-invasive, easily repeatable, relatively inexpensive and reliable, and is indicated as a first-line examination in the diagnosis of carotid stenosis and in the screening of plaques eligible for surgery or angioplasty [1-4, 10].

An issue that is still being debated is whether and when CDS can be used as the only pre-operative diagnostic examination and whether and when it should instead be complemented by more invasive and costly examinations such as CT-angiography, MR-angiography and conventional angiography [12-16].

The present study aims to compare the diagnostic accuracy of CDS and CT-angiography in the selection of plaques to be treated with thromboendarterectomy or angioplasty.

Materiale e metodi

Da luglio a dicembre 2001 abbiamo prospetticamente studiato mediante ECD e angio-TC 35 placche aterosclerotiche carotidee in 20 pazienti (15 maschi e 5 femmine, età tra 59 e 83 anni, età media 69 anni). In particolare sono state incluse nello studio le placche che all'ECD determinavano una stenosi pari o superiore al 40% e quelle per le quali non è stata possibile una adeguata valutazione sia con modulo colore che all'esame Doppler; sono state escluse le placche che, ad una valutazione color-Doppler giudicata soddisfacente, determinavano una stenosi sicuramente inferiore al 40%.

Delle 35 placche, 8 (22,8%) erano sintomatiche (associate ad almeno un episodio di amaurosi fugace, attacco ischemico transitorio emisferico o ictus dallo stesso lato della placca) e 27 (77,2%) erano asintomatiche.

Tutti gli esami ECD sono stati eseguiti, da operatori esperti, con ecografo HDI 5000 (Advanced Technology Laboratories, Bothell, Washington, USA) e sonda lineare multibanda da 5-12 MHz.

Il grado di stenosi è stato determinato geometricamente: utilizzando il power Doppler e scansioni longitudinali, sono stati misurati lume residuo nel punto di massimo restringimento e lume della arteria carotide interna a valle della stenosi. La percentuale di stenosi è stata calcolata con metodo NASCET.

Quando non è stata possibile una soddisfacente visualizzazione dei contorni della placca (8 casi), il grado di stenosi è stato determinato emodinamicamente: utilizzando il color-Doppler e scansioni longitudinali sono stati visualizzati i punti di massima velocità a livello della stenosi, in corrispondenza dei quali è stato effettuato il campionamento Doppler pulsato con angolo di insonazione compreso tra 40° e 60° e volume campione di 1,5 mm. In questi casi la percentuale di stenosi è stata determinata sulla base della massima velocità di picco sistolico, facendo riferimento ad apposite tabelle presenti in letteratura.

In tutti i casi è stato comunque eseguito uno studio color-Doppler degli effetti emodinamici della placca con valutazione dello spettro Doppler a monte, a valle, e in corrispondenza della stenosi.

Gli esami angio-TC sono stati eseguiti con apparecchiatura spirale multidetettore (Toshiba, Aquilion, Tokio, Japan). Sono state eseguite scansioni dirette (5-3-7-7) e successivamente, dopo fleboclisi di mdc Iodato alla concentrazione di 400 mg/ml (Iomeron 400, Bracco, Milano, Italia), al flusso 5 ml/s attraverso agocannula da 18 G posizionata a livello controlaterale rispetto alla sede della stenosi (2-3,5-2-1). Le immagini sono state acquisite in fase arteriosa utilizzando un software di partenza sicura in dotazione alla nostra apparecchiatura (Sure Start®). Sono state eseguite successivamente ricostruzioni tridimensionali Maximum Intensity Projection e Volume Rendering e riformattazioni multiplanari curvilinee mediante consolle di rielaborazione (Toshiba Anet, Tokio, Japan).

La percentuale di stenosi è stata determinata sulle immagini assiali e sulle ricostruzioni similangiografiche Maximum Intensity Projection con metodo NASCET.

L'angio-TC così eseguita è stata considerata il gold-standard, paragonabile alla angiografia digitale.

Materials and methods

Between July and December 2001 we prospectively studied 35 atherosclerotic carotid plaques in 20 patients (15 males and 5 females, aged between 59 and 83 years, mean age 69 years) with CDS and CT-angiography. Included in the study were plaques causing stenoses equal to or greater than 40% at CDS and those that could not be adequately studied with either colour or Doppler sonography; plaques causing under 40% stenosis, at colour-Doppler examinations regarded as satisfactory, were excluded.

Of the 35 plaques, 8 (22.8%) were symptomatic (associated with at least one episode of amaurosis fugax, hemispheric transient ischaemic attack or stroke on the same side as the plaque) and 27 (77.2%) were asymptomatic.

All the CDS examinations were performed by expert operators on an HDI 5000 (Advanced Technology Laboratories, Bothell, Washington, USA) unit with a 5-12 MHz linear multifrequency transducer.

The degree of stenosis was measured with the geometric method: using power Doppler and longitudinal scans, we determined the residual lumen at the point of maximum stenosis and the lumen of the internal carotid artery downstream from the stenosis. The percentage of stenosis was measured according to the NASCET method.

When conspicuity of the plaque contours was not satisfactory (8 cases), the degree of stenosis was measured with the haemodynamic method: using colour-Doppler and longitudinal scans we visualised the points of maximum flow velocity at the level of the stenosis, and performed pulse-wave Doppler samplings at those points with sonication angles between 40° and 60° and sampling volumes of 1.5 mm. In these cases the percentage of stenosis was measured based on the maximum systolic peak flow velocity and calculated according to published reference tables.

In all cases we performed a colour-Doppler study of the haemodynamic effects of the plaque with evaluation of the Doppler spectrum upstream, downstream and in correspondence to the stenosis.

The CT-angiography studies were carried out with a multidetector spiral scanner (Toshiba, Aquilion, Tokyo, Japan). The exam consisted of unenhanced scans (5-3-7-7) followed by contrast-enhanced scans, acquired after administering iodinated contrast material at a concentration of 400 mg/ml (Iomeron 400, Bracco, Milan, Italy), at a flow rate of 5 ml/s via a 18G needle cannula positioned contralaterally to the stenosis (2-3, 5-2-1). The images were acquired in the arterial phase using the software supplied with the CT scanner (Sure Start®). We then obtained Maximum Intensity Projection and Volume Rendering three-dimensional reconstructions and curvilinear multiplanar reformations at the post-processing workstation (Toshiba Anet, Tokyo, Japan).

The percentage of stenosis was measured on the axial images and on the Maximum Intensity Projection angiographic reconstructions using the NASCET method.

CT-angiography was considered the gold standard, comparable to digital angiography.

TABELLA I. — Confronto tra grado di stenosi dell'arteria carotide interna (metodo NASCET) determinato all'eco color-Doppler ed all'angio-TC nei 35 casi studiati.

N. casi	% Stenosi geometrica ecografica	VPS max cm/s	% Stenosi angio-TC
1	N.Q. (biforc. alta)	N.Q.	40
2	70-75	210	75
3	55	120	50
4	N.Q. (calcif.)	120	65-70
5	50	98	45-50
6	63	110	55
7	95	F. nastriforme*	95
8	45	116	50
9	100	—	100
10	N.Q. (calcif.)	100	45
11	50-55	110	50
12	N.Q. (calcif.)	180	75
13	65	215	65-70
14	47	95	50
15	53	70	50
16	N.Q. (calcif.)	200	75
17	48	110	50-55
18	85	280	90
19	70	115	60
20	100	—	100
21	N.Q. (calcif.)	95	40
22	80	250	85
23	45	90	48
24	65	128	55
25	N.Q. (calcif.)	86	40
26	95	F. nastriforme*	90-95
27	N.Q. (calcif.)	110	45
28	65	110	60-65
29	48	95	50
30	100	—	100
31	50	90	50
32	N.Q. (calcif.)	260	80
33	50	120	45
34	65	130	65
35	50	95	40-50

VPS max: velocità di picco sistolico nel punto di massima stenosi.
N.Q.: non quantificabile.

TABLE I.—Comparison of degree of internal carotid stenosis (NASCET method) by duplex sonography versus CT angiography in the 35 cases examined.

No cases	Geometric %stenosis sonography	PVS max cm/s	% Stenosis angio-TC
1	N.Q. (high bifurc.)	N.Q.	40
2	70-75	210	75
3	55	120	50
4	N.Q. (calcif.)	120	65-70
5	50	98	45-50
6	63	110	55
7	95	String-like flow	95
8	45	116	50
9	100	—	100
10	N.Q. (calcif.)	100	45
11	50-55	110	50
12	N.Q. (calcif.)	180	75
13	65	215	65-70
14	47	95	50
15	53	70	50
16	N.Q. (calcif.)	200	75
17	48	110	50-55
18	85	280	90
19	70	115	60
20	100	—	100
21	N.Q. (calcif.)	95	40
22	80	250	85
23	45	90	48
24	65	128	55
25	N.Q. (calcif.)	86	40
26	95	String-like flow	90-95
27	N.Q. (calcif.)	110	45
28	65	110	60-65
29	48	95	50
30	100	—	100
31	50	90	50
32	N.Q. (calcif.)	260	80
33	50	120	45
34	65	130	65
35	50	95	40-50

PVS max: peak systolic velocity at the point of maximum stenosis.
N.Q.: not quantifiable.

Risultati

Tre su 35 placche determinavano ostruzione completa all'angio-TC, tutte e 3 riconosciute anche ecograficamente, 12/35 provocavano una stenosi maggiore del 60% alla TC, 11 (91,6%) identificate ecograficamente e 19/35 davano stenosi minore del 60% alla TC, 17 (89,5%) identificate all'ECD. Infine una placca, che determinava stenosi stimata in circa il 60% all'esame TC, all'ECD provocava una stenosi del 70% se calcolata geometricamente, e di circa il 50% sulla base dei parametri emodinamici (tab. I, caso 19).

Abbiamo riscontrato un valore predittivo positivo dell'ECD nell'identificazione delle placche da trattare in maniera non conservativa (stenosi >60% all'angio-TC) pari al 92,3%, con un solo caso falso positivo (2,86%), in cui il grado di stenosi è stato sovrastimato (tab. I, caso 24).

Il valore predittivo negativo è risultato del 95%, con un unico caso falso negativo (2,86%), in cui la stenosi è stata sottostimata (tab. I, caso 4). Delle 2 placche che determinavano stenosi <del 60% non correttamente identificata all'ecografia, una era stata giudicata «non valutabile» a cau-

Results

Three of 35 plaques were found to be causing complete occlusion on CT-angiography, all three of them were also identified at sonography; 12/35 were responsible for stenosis greater than 60% on CT, 11 (91.6%) of these were also identified at sonography; 19/35 were causing stenosis under 60% at TC, 17 (89.5%) also identified at sonography. Finally, one plaque, which caused an estimated degree of stenosis of 60% at CT, was found to be causing a stenosis of 70% at CDS if calculated using the geometric method and of about 50% if calculated based on haemodynamic criteria (table I, case 19).

CDS was found to have a positive predictive value in identifying plaques to be treated non-conservatively (>60% stenosis at CT-angiography) equal to 92.3%, with only one false positive (2.86%), in which it overestimated the degree of stenosis (table I, case 24).

The negative predictive value was 95%, with only one false negative (2.86%), in which the stenosis was underestimated (table I, case 4). Of the two plaques causing stenosis

sa della posizione alta della biforcazione carotidea (tab. I, caso 1).

Discussione

Il ruolo dell'ECD come prima indagine nella diagnosi di aterosclerosi carotidea e nello studio delle placche aterosclerotiche, al fine di selezionare quelle da trattare con EC o PTA, non è attualmente in discussione [1-4, 10].

Si discute invece sul fatto che l'ECD possa rappresentare l'unica indagine, sulla base della quale, tenendo anche conto della clinica del paziente, selezionare le placche da trattare in maniera non conservativa [13, 15] o se debba essere solo un primo passo nello studio della placca, da completare sempre con indagini diagnostiche più costose e invasive quali angio-TC, angio-RM e angiografia [12].

Da una revisione dei dati presenti in letteratura emerge come l'angiografia, sebbene a tutt'oggi rappresenti ancora il gold standard nella determinazione del grado di stenosi determinato dalla placca aterosclerotica, presenti un rischio piuttosto elevato nei pazienti con stenosi carotidea, con tassi di complicanze maggiori e minori variabili da 0,5% a 4% nelle diverse casistiche [3, 6]. Alcuni autori segnalano inoltre una discrepanza fino al 20% sulla percentuale di stenosi stimata da operatori esperti diversi che pur utilizzino gli stessi criteri di misurazione [7].

L'angio TC, più economica, notevolmente meno invasiva e gravata da un tasso molto minore di complicanze dell'angiografia, ha recentemente mostrato una accuratezza paragonabile a quella dell'angiografia nella determinazione del grado di stenosi determinato dalla placca, risultando addirittura superiore nello studio della morfologia della placca e nell'identificazione di ulcerazioni della stessa [10]. L'angioTC è inoltre superiore a ogni altra metodica nella differenziare le placche «dure» da quelle «mollie» e nello studio del pattern di calcificazione della placca; inoltre, grazie alla possibilità di eseguire ricostruzioni volumetriche multiplanari, permette una corretta quantificazione del grado di stenosi anche in presenza di voluminose placche calcifiche circolari che, impedendo il passaggio degli ultrasuoni, non consentono invece una adeguata valutazione ecografica [9].

L'economicità, la non invasività e la ripetibilità sono i vantaggi riconosciuti all'ECD, che la rendono indiscussa come indagine strumentale di primo livello nella patologia aterosclerotica carotidea [1-4, 10]. La dipendenza dall'operatore, l'impossibilità di ottenere uno studio adeguato in situazioni particolari (quali la posizione alta della biforcazione carotidea, la presenza di estese calcificazioni anulari o l'estrema tortuosità dei vasi), e la difficile distinzione tra stenosi sub-occlusiva e occlusione completa del vaso, sono gli altrettanto riconosciuti limiti di tale indagine [13, 17, 18].

Decisamente più controversa risulta, dall'analisi della letteratura, l'accuratezza dell'ECD nella quantificazione del grado di stenosi dell'arteria carotide interna e quindi nella selezione delle placche suggestive di trattamento non conservativo [12-16, 19, 20].

In accordo con alcuni dei dati più recenti presenti in letteratura [9, 10, 21], e convinti che l'angiografia convenzionale sia destinata a diventare sempre più una metodica squisitamente terapeutica e a vedere drasticamente ridotto il suo ruolo diagnostico, a favore di metodiche meno invasive quali angio-

es greater than 60% non correctly identified at sonography, one was judged "non evaluable" due to the high position of the carotid bifurcation (table I, case 1).

Discussion

The role of CDS as a first-line imaging method in the diagnosis of carotid atherosclerosis and in the selection of atherosclerotic plaques to be treated by CEA or PTA is not a matter of debate [1-4, 10].

What is controversial, however, is whether, besides the patient's clinical data, the decision to treat plaques non-conservatively should be solely based on CDS [13, 15] or whether CDS should only be regarded as a first step to be complemented by more costly and invasive diagnostic tests such as CT-angiography, MR angiography and angiography [12].

A review of the literature shows that while angiography still represents the gold standard in the measurement of the degree of stenosis caused by the atherosclerotic plaque, the procedure carries a fairly high risk in patients with carotid stenosis, with reported rates of major and minor complications ranging from 0.5% to 4% [3, 6]. Some authors have found up to 20% discrepancy in the percentage of stenosis estimated by expert operators even when the same measures are used [7].

CT-angiography, which is less expensive and considerably less invasive than angiography and associated with a far lower rate of complications, has recently been shown to have similar levels of accuracy to angiography in determining the degree of stenosis caused by the plaque, proving to be even superior to angiography in the study of plaque morphology and in identifying plaque ulcerations [10]. CT-angiography is also better than any other method in differentiating "hard" plaques from "soft" plaques and studying the plaque calcification patterns; in addition, thanks to the possibility of obtaining multiplanar 3D reconstructions, it enables the correct quantification of the degree of stenosis even in the presence of large anular calcific plaques which, by blocking the passage of the ultrasound beam, do not allow adequate assessment by sonography [9].

Low cost, non-invasiveness and repeatability are the known advantages of CDS, which make it an undisputed first-line method in the study of atherosclerotic carotid disease [1-4, 10]. Operator dependency, the inability to obtain an adequate study in certain situations (such as high position of the carotid bifurcation, the presence of extensive anular calcifications or extreme tortuosity of the vessels), and the difficulty in distinguishing between sub-occlusive stenosis and complete occlusion, are recognised as its main limitations [13, 17, 18].

A definitely more controversial issue emerging from our literature review regards the accuracy of CDS in quantifying the degree of stenosis of the internal carotid artery and therefore in selecting the plaques to be treated non-conservatively [12-16, 19, 20].

In agreement with some recent literature reports [9, 10, 21], and based on our conviction that conventional angiography is destined to become an exclusively therapeutic

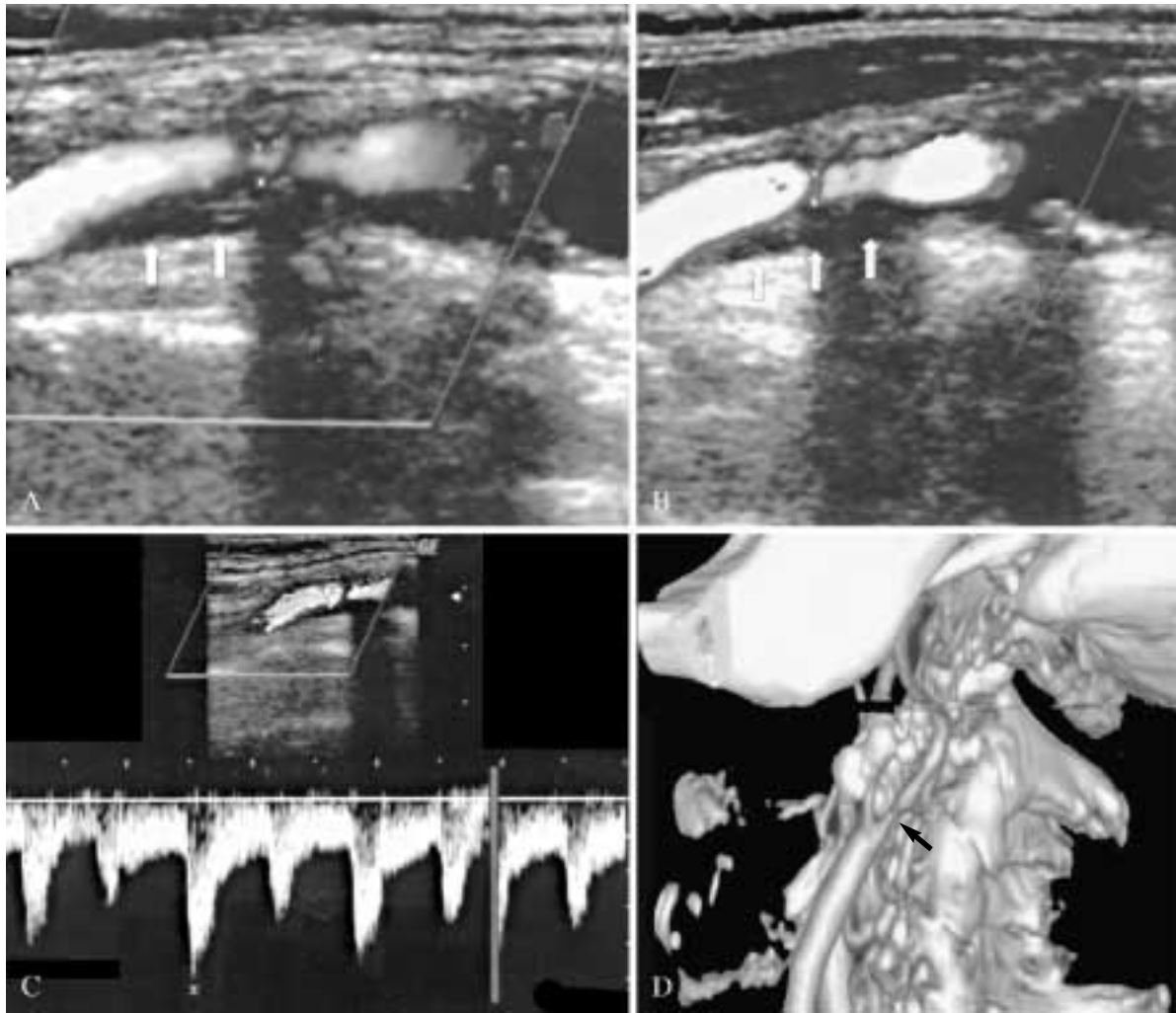


Fig. 1. — Arteria carotide interna sinistra con stenosi di circa il 65% dimostrata ecograficamente e confermata all'angio-TC. La scansione sagittale con color Doppler e power Doppler (A, B - codice cromatico rappresentato in bianco brillante) mostra una placca (freccie) che determina stenosi stimata in circa il 65%; il tracciato Doppler in corrispondenza della stenosi (C) mostra velocità di picco sistolico di circa 130 cm/s. L'angio-TC (D), con riformattazioni volume rendering conferma il dato ecografico (freccia). *Stenotic left internal carotid artery with an occlusion of almost 65% shown on sonography and confirmed on CT angiography. The longitudinal scan on colour and power Doppler (A,B - brilliant white colour code) shows a degree of occlusion of about 65% (arrows); the maximum systolic peak velocity measured on the Doppler spectrum at the stenotic point (C) is not far from 130 cm/sec. CT angiography (D) on volume rendering reformatted images confirms the sonographic data (arrow).*

TC e angio RM, in questo studio abbiamo considerato l'angio-TC come gold standard nella determinazione del grado di stenosi determinato dalla placca e abbiamo comparato i risultati ottenuti dall'ECD e dall'angio-TC nello studio di 35 placche aterosclerotiche coinvolgenti l'arteria carotide interna.

Per quanto riguarda la caratterizzazione ecografica morfostrutturale della placca aterosclerotica, la mancanza di un Gold standard super-partes (valutazione del reperto operatorio) e gli scarsi risultati riportati in letteratura, ci hanno suggerito di non prendere in considerazione tale aspetto.

In questo studio l'ECD si è rivelata una metodica accurata nella determinazione del grado di stenosi determinata dalla placca e nella selezione delle placche per le quali vi è indicazione al trattamento mediante EC o PTA, identificandone correttamente 11 su 12 (91,6%). Nell'unico caso

modality and to lose its diagnostic role to less invasive techniques such as CT-angiography and MR-angiography, in this study we regarded CT-angiography as the gold standard for determining the degree of stenosis and compared the results obtained with CDS and CT-angiography in 35 atherosclerotic plaques involving the internal carotid artery.

As regards the sonographic morphostructural characterisation of the atherosclerotic plaque, the lack of an independent gold standard (evaluation of the surgical specimen) and the poor results reported in the literature led us not to take into account this aspect.

In this study CDS proved to be an accurate method for determining the degree of stenosis caused by the plaque and for selecting the plaques with an indication for treat-

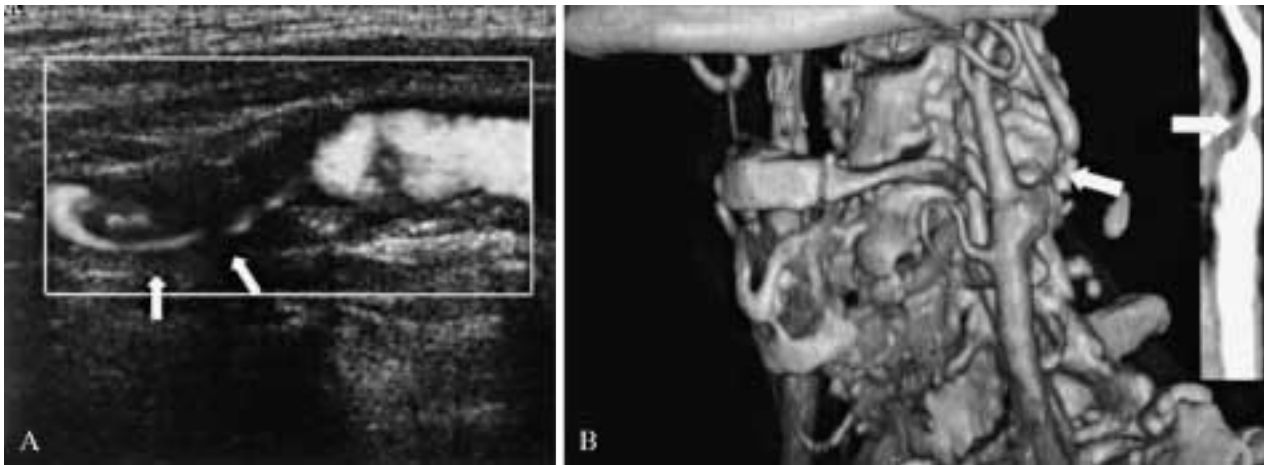


Fig. 2. — Arteria carotide interna sinistra con stenosi severa dimostrata all'ecografia con power Doppler e all'angio-TC. La scansione sagittale con power Doppler (A) mostra una arteria quasi completamente occlusa (freccie), con un flusso residuo che rende ancora possibile l'intervento chirurgico o angioplastico. L'angio-TC (B), con riformattazioni volume rendering e multiplanari curve (nel riquadro piccolo a destra dell'immagine), conferma la stenosi preocclusiva del lume arterioso (freccie) e dimostra la regolarità del vaso a valle.

Severe stenosis of left internal carotid artery on power Doppler sonography and on CT angiography. The longitudinal power Doppler scan (A) shows a subtotally but not totally occluded artery (arrows), with a residual flow that allowed surgical or angioplastic treatment. CT angiography (B), with volume rendering and multiplanar curved reformats (small picture on the right), confirms the preocclusive stenosis of the arterial lumen (arrows) and shows the regularity of the downstream arterial walls.

di stenosi maggiore del 60% non correttamente identificata, la presenza di voluminose calcificazioni a livello della biforcazione ostacolava la quantificazione geometrica della stenosi. Il grado di stenosi era stato stimato, soprattutto sulla base di valutazioni emodinamiche, intorno al 50%. Il successivo esame angio-TC dimostrava invece una stenosi di poco inferiore al 70% (tab. I, caso 4).

Delle 19 placche che provocavano una stenosi minore del 60%, 2 (10,5%) non sono state correttamente identificate. Tuttavia, solo una di queste, che determinava una stenosi del 55% alla TC, è stata sovrastimata all'ECD. Nel secondo caso, la posizione alta della biforcazione carotidea non aveva consentito di formulare risultati conclusivi all'esame ECD ed era stato mandatorio lo studio angio-TC.

In un caso abbiamo rilevato una notevole discrepanza, all'ECD, tra il grado di stenosi calcolato geometricamente, che risultava circa 70%, e quello calcolato sulla base dei criteri emodinamici, pari al 50%. Si trattava di una placca a morfologia irregolare, che determinava notevoli variazioni velocitometriche a fronte di piccoli spostamenti del volume campione all'interno del vaso. La presenza di calcificazioni inoltre rendeva difficile una precisa quantificazione geometrica della stenosi. Il successivo esame angio-TC ha mostrato un valore di stenosi del 60%, intermedio tra i due ottenuti all'ECD (caso 19).

Dai dati presenti in letteratura emerge come uno dei principali limiti dell'ECD sia la difficile distinzione tra stenosi pre-occlusiva e occlusione completa dell'arteria carotide interna, con percentuali di errore estremamente variabili nelle diverse casistiche [18]. Verosimilmente l'uso di apparecchiature sempre più evolute, con notevole sensibilità anche a flussi notevolmente ridotti, consentirà di ovviare a questo problema.

Nella nostra non ampia casistica solo 3 delle 35 placche studiate, davano stenosi completa all'esame angio-TC. Tutte

ment with CEA or PTA, by identifying correctly 11 out of 12 (91.6%). In the only case of stenosis greater than 60% that was not correctly identified the presence of extensive calcifications at the carotid bifurcation impeded geometric quantification of the stenosis. The degree of stenosis had been estimated to be about 50%, mainly based on haemodynamic parameters. The following CT-angiography exam revealed a stenosis just under 70% (table I, case 4).

Of the 19 plaques causing stenoses less than 60%, two (10.5%) were not correctly identified. However, only one of these—causing a 55% stenosis at CT—was overestimated at CDS; in the second, the high position of the carotid bifurcation had not allowed the formulation of conclusive results at CDS and the CT-angiography study had been mandatory.

In one case we noted a considerable discrepancy at CDS between the degree of stenosis calculated geometrically (about 70%) and calculated on the basis of haemodynamic criteria (50%). This was an irregularly-shaped plaque that exhibited remarkable variations in flow velocity in response to slight movements of the sample volume within the vessel. The presence of calcifications also made it difficult to quantify the degree of stenosis precisely with the geometric method. The subsequent CT-angiography revealed a percentage of stenosis equal to 60%, i.e. midway between the two percentages obtained at CDS (cases 19).

The literature data indicate that one of the main limitations of CDS is the difficulty in distinguishing between pre-occlusive stenosis and complete occlusion of the internal carotid artery, with extremely variable error rates in the different reports [18]. Likely, this problem will be overcome by the use of increasingly advanced equipment, achieving good sensitivity even at markedly reduced flow rates.

In our small series only 3 of the 35 plaques studied were

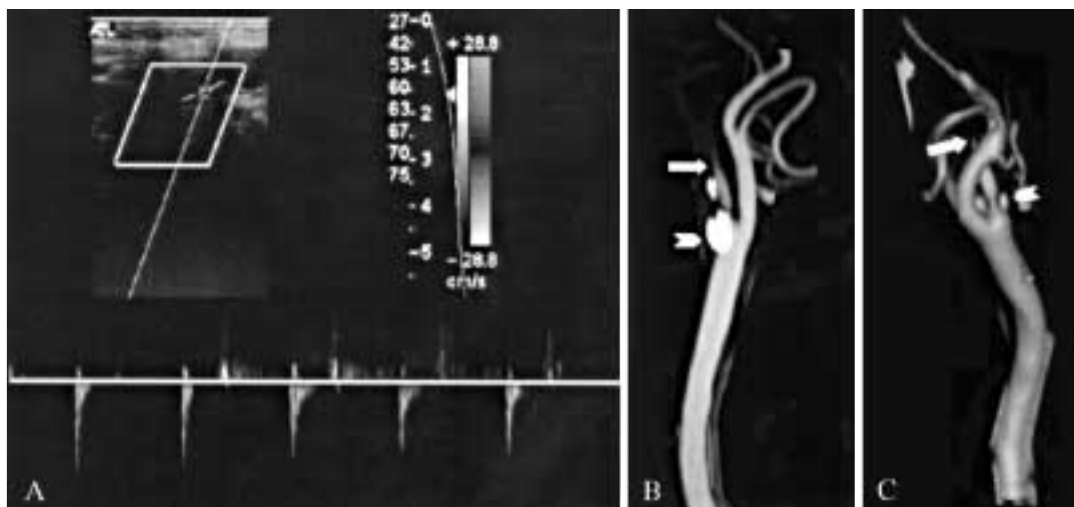


Fig. 3. — Arteria carotide interna destra completamente occlusa all'eco-color Doppler ed all'angio-TC. L'esame Doppler con campionamento a monte dell'ostruzione (A) dimostra un flusso caratteristico di tipo «stoppato», ad altissima resistenza e con reflusso durante la diastole. L'angio-TC, con riformattazioni maximum intensity projection (B) e volume rendering (C) conferma la totale occlusione del vaso (freccia) che si situa alcuni cm a valle di una grossa placca calcifica preoccludente (testa di freccia).

Totally occluded right internal carotid artery on duplex sonography and on CT angiography. Duplex sonography (A) shows a very high resistance Doppler spectral waveform with inversion of diastolic component. CT angiography, with maximum intensity projection (B) and volume rendering (C) reformat, confirms the total carotid occlusion (arrow) neighbouring a large calcific pre-occlusive plaque (arrowhead).

e 3 sono state correttamente identificate all'ECD (fig. 3). Due placche determinavano stenosi pre-occlusiva, anche queste correttamente identificate ecograficamente (fig. 2). Ci riserviamo comunque di rivalutare questo aspetto, anche alla luce di una casistica più ampia.

I principali limiti dell'ECD sono risultati essere, in accordo con quanto descritto in letteratura, quelli legati alla peculiare conformazione anatomica di ogni singolo paziente (collo corto, biforcazione alta), e quelli legati all'impossibilità degli ultrasuoni di attraversare le placche fortemente calcifiche che, quando estese lungo tutta la circonferenza del vaso, rendono lo studio ecografico molto difficile se non impossibile. In particolare, in un caso la posizione alta della biforcazione non ha consentito una adeguata valutazione ecografica, in 8 casi la presenza di calcificazioni ha ostacolato lo studio ecografico, non consentendo una soddisfacente visualizzazione dei contorni della placca e quindi impedendo la quantificazione geometrica del grado di stenosi.

Conclusioni

In conclusione, i nostri risultati suggeriscono che l'ecografia carotidea, eseguita da operatori esperti, abbia una accuratezza paragonabile a quella dell'angio-TC nella quantificazione della stenosi geometrica determinata dalla placca, in più, a differenza dell'angio-TC, fornisca informazioni sugli effetti emodinamici della placca.

L'angioTC resta fondamentale solo nello studio della composizione e del pattern di calcificazione e nei casi in cui, per motivi anatomici (collo corto, biforcazione alta) o per situazioni anatomico-patologiche (placche calcifiche ad anello, estrema tortuosità dei vasi), l'ecografista non sia in grado di fornire risultati conclusivi.

found to be causing complete stenosis at CT-angiography. All three of them were correctly identified at CDS (fig. 3). Two plaques were causing pre-occlusive stenosis, and these too were correctly identified at CDS (fig. 2). However, we will re-evaluate this finding on a larger series.

In agreement with the literature, the main limitations of CDS were found to be those related to the specific anatomy of each individual patient (short neck, high bifurcation), and those related to the inability of the ultrasound beam to pass through heavily calcified plaques which, when extending along the entire circumference of the vessel, make the sonographic study very difficult if not impossible to perform. In particular, in one case the high position of the carotid bifurcation did not allow an adequate sonographic evaluation, and in eight the presence of calcifications impeded sonographic evaluation by not allowing adequate visualisation of the plaque contours and thereby preventing geometric quantification of the degree of stenosis.

Conclusions

To conclude, our results suggests that carotid sonography performed by expert operators has an accuracy similar to CT-angiography in the geometric quantification of stenosis caused by the plaque; in addition, unlike CT-angiography, it is able to provide information on the haemodynamic effects of the plaque.

CT-angiography remains fundamental in the study of plaque composition and calcification patterns and in cases where, due to anatomical reasons (short neck, high bifurcation) or anatomico-pathological reasons (anular calcific plaques, extreme tortuosity of the vessels), sonography is unable to yield conclusive results.

Bibliografia/References

- 1) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators: Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high grade carotid stenosis. *N Engl J Med* 352: 445-453, 1991.
- 2) European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group: MRC Carotid European Surgery Trial: interim results for symptomatic patients with severe (79-99%) or with mild (0-29%) carotid stenosis. *Lancet* 337: 1235-1243, 1991.
- 3) Executive Committee for the Asymptomatic carotid atherosclerosis study: Endarterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis. *JAMA* 273: 1421-1428, 1995.
- 4) Hobson RW II, Weiss DG, Fields WS, *et al*: Efficacy of carotid endarterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis. The Veteran Affairs Cooperative Study Group. *N Engl J Med* 328: 221-227, 1993.
- 5) Sacco RL: Extracranial carotid stenosis. *N Engl J Med* 15: 1113-1118, 2001.
- 6) Hankey GJ, Warlow CP, Molyneux AJ: Complications of cerebral angiography for patients with mild carotid territory ischaemia being considered for carotid endarterectomy. *J Neurol Neuro-surg Psychiatry* 53: 542-548, 1990.
- 7) Rothwell PM, Gibson RJ, Slattery J *et al*: Prognostic value and reproducibility of measurements of carotid stenosis. A comparison of three methods on 1001 angiograms. *Stroke* 25: 2440-2444, 1994.
- 8) De Bray JM, Glatt B: Quantification of atheromatous stenosis in the extracranial internal carotid artery. *Cerebro-vasc Dis* 5: 414-426, 1995.
- 9) Randoux B, Marro B, Koskas F *et al*: Carotid artery stenosis: prospective comparison of CT, three-dimensional Gadolinium-enhanced MR, and conventional angiography. *Radiology* 220: 179-185, 2001.
- 10) Moll R, Dinkel HP: Value of CT angiography in the diagnosis of common carotid artery bifurcation disease: CT angiography versus digital subtraction angiography and color flow doppler. *Eur J Radiol* 39: 155-162, 2001.
- 11) Hirai T, Korogi Y, Ono K *et al*: Maximum stenosis of extracranial internal carotid artery: effect of luminal morphology on stenosis measurement by using CT angiography and conventional DSA. *Radiology* 221: 802-809, 2001.
- 12) Qureshi AI, Suri MFK *et al*: Role of conventional angiography in evaluation of patients with carotid artery stenosis demonstrated by Doppler Ultrasound in general practice. *Stroke* 32: 2287-2291, 2001.
- 13) Dinkel HP, Moll R, Debus S: Colour flow Doppler ultrasound of the carotid bifurcation: can it replace routine angiography before carotid endarterectomy? *Br J Radiol* 74: 590-594, 2001.
- 14) Grant EG, Duerinckx AJ, El Saden SM *et al*: Ability to use Duplex US to quantify internal carotid arterial stenosis: fact or fiction? *Radiology* 214: 247-252, 2000.
- 15) Mattos MA, Hodgson KJ, Fraught WE *et al*: Carotid endarterectomy without angiography: is color-flow duplex scanning sufficient? *Surgery* 116: 776-782, 1994.
- 16) Koga M, Kimura K, Minematsu K *et al*: Diagnosis of internal carotid artery stenosis greater than 70% with Power Doppler Duplex Sonography. *AJNR* 22: 413-417, 2001.
- 17) Mattos MA, Hodgson KJ, Ramsey DE *et al*: Identifying total carotid occlusion with colour flow duplex scanning. *Eur J Vasc Surg* 6: 204-210, 1992.
- 18) Bornstein NM, Beloev ZG, Norris JW: The limitations of diagnosis of carotid occlusion by Doppler ultrasound. *Ann Surg* 207: 315-317, 1988.
- 19) Golledge J, Ellis M, Sabharwal T *et al*: Selection of patients for carotid endarterectomy. *J Vasc Surg* 30: 122-130, 1999.
- 20) Bluth EI *et al*: Power Doppler imaging: initial evaluation as a screening examination for carotid artery stenosis. *Radiology* 215: 791-800, 2000.
- 21) Anderson GB *et al*: CT angiography for the detection and characterization of carotid artery bifurcation disease. *Stroke* 214: 247-252, 2000.

*Dott. A. Vit
Istituto di Radiologia
Policlinico Universitario
a gestione diretta
Via Colugna 50
33100 Udine UD*