

La Radiologia Medica - Radiol Med 108: 116-127, 2004
Edizioni Minerva Medica - Torino

L'angio-TC spirale nella valutazione della patologia ateromasica carotidea

Risultati di oltre due anni di esperienza

Stefano DEBERNARDI - Laura MARTINCICH
Davide LAZZARO* - Simone COMELLI*
Alberto Maria RASO* - Daniele REGGE

Scopo. Valutare il ruolo dell'angiografia TC (CTA) nello studio di pazienti affetti da patologia ateromasica degli assi carotidei, attraverso il confronto con l'eco color Doppler (ECD) dei tronchi sovraortici (TSA) e con il riscontro operatorio.

Materiale e metodi. Sono stati sottoposti ad ECD e quindi a CTA dei TSA 82 soggetti con sospetto di patologia carotidea. In una prima fase è stata valutata la concordanza fra ECD e CTA relativamente a: attribuzione della stenosi ad una determinata categoria NASCET, composizione della placca, presenza di ulcerazioni, di lesioni tandem nonché di anomalie di decorso. In una seconda fase i dati forniti dalle due metodiche sono stati confrontati col riscontro operatorio (35 pazienti); ove possibile (12 casi), la misurazione della stenosi è stata effettuata sul calco della placca carotidea ottenuto con silicone per impiego biologico.

Risultati. La concordanza fra ECD e CTA nella attribuzione della stenosi alla categoria NASCET è stata pari a 75,6%; la concordanza minore si è riscontrata per le stenosi moderate (61,1%) e per quelle severe (69,1%); la concordanza nella valutazione di anomalie di decorso, della composizione della placca e delle ulcerazioni è stata rispettivamente pari a 81,7%, 89,0% e 96,3%; la CTA ha inoltre evidenziato 11 lesioni tandem, non rilevate dall'ECD.

Rispetto alla chirurgia, la CTA ha attribuito alla corretta categoria NASCET 31 delle 35 lesioni (88,6%) contro 29 dell'ECD (82,9%), non sovrastimandone alcuna; la CTA si è dimostrata inoltre superiore all'ECD nel rilevare ulcerazioni di placca (sensibilità 75,0% vs 25,0%) e anomalie di decorso (sensibilità 100% vs 44,4%).

Conclusioni. La CTA è proponibile come esame di II livello in pazienti affetti da patologia ateromasica steno-ostruttiva degli assi carotidei candidati all'intervento chirurgico.

PAROLE CHIAVE: Angio-TC - Ecografia, Doppler - Arterie carotidi, stenosi - Endoarterectomia carotidea.

CT angiography in the assessment of carotid atherosclerotic disease: results of more than two years' experience

Purpose. To assess the role of CT Angiography (CTA) in patients with carotid atherosclerotic disease as compared to echo-colour Doppler (CDUS) ultrasound of the supra-aortic trunks (SAT) and surgery.

Materials and methods. Eighty-two patients with suspected carotid atherosclerotic disease were submitted to CDUS and CTA of the supra-aortic trunks. Agreement between CDUS and CTA was first evaluated with regard to the following parameters: degree of stenosis according to NASCET criteria, plaque morphology, presence of ulcerations, tandem lesions and vessel abnormalities. Secondly, data provided by the two methodologies were compared with the surgical specimens (35 patients); in 12 cases, the stenosis was measured on the cast of the carotid plaque made of for biological use silicone.

Results. The correlation between CDUS and CTA in evaluating the degree of stenosis was 75.6%; poor agreement was found for mild (61.1%) and severe (69.1%) stenoses; agreement in the evaluation of vessel abnormalities, plaque morphology and ulcerations was 81.7%, 89.0% and 96.3%, respectively. CTA demonstrated 11 tandem lesions not detected CDUS. Compared to surgery, CTA correctly classified the degree of stenosis according to NASCET criteria in 31/35 cases (88.6%) – as opposed to 29/35 by CDUS (82.9%) – and never overestimated the stenosis. CTA proved superior to CDUS in detecting plaque ulcerations (75% vs 25% sensitivity) and vessel abnormalities (100% vs 44.4% sensitivity).

Conclusions. CTA is recommended as a second-level examination in patients with carotid atherosclerotic steno-obstructive disease who are surgical candidates.

KEY WORDS: CT Angiography - Ultrasound - Carotid arteries, stenosis - Carotid endarterectomy.

Introduzione

Nelle nazioni industrializzate l'ictus ischemico rappresenta la prima causa d'invalidità naturale e la terza di morte nella popolazione adulta, rendendosi responsabile del 10–12% dei decessi annui totali [1]. La patologia aterosclerotica degli assi carotidei extracranici condiziona il 25–30% di tali episodi ischemici [2].

Studi prospettici multicentrici - North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET), European Carotid

Introduction

Stroke is the first cause of disability and the third leading cause of death among adults in industrialised countries, accounting for 10-12% of total annual deaths [1]. Extracranial carotid atherosclerosis accounts for 25-30% of such ischaemic episodes [2].

Multicentre prospective studies – North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET), European Carotid Surgery Trial (ECST) and Asymp-

UOA di Radiodiagnostica - Istituto per la Ricerca e la Cura del Cancro - Candiolo (TO) - *Cattedra e Scuola di Specializzazione in Chirurgia Vascolare - Università degli Studi di Torino - Torino.

Pervenuto alla Redazione l'1.10.2003; revisionato il 23.10.2003; restituito corretto il 13.2.2004; accettato per la pubblicazione il 20.2.2004.

Indirizzo per la richiesta di estratti: Dott. S. Debernardi - Servizio di Radiologia - Istituto per la Ricerca e la Cura del Cancro - Strada Provinciale 142, km 3,95 - 10060 Candiolo (TO) - Tel. 011/9933319 - Fax 011/9933301 - E-mail: stefano.debernardi@ircc.it

Surgery Trial (ECST) e Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study (ACAS) - hanno dimostrato che l'intervento chirurgico di endoarterectomia (EA) carotidea è una procedura efficace nella prevenzione primaria e secondaria dello stroke ischemico, significativamente superiore alla terapia con soli farmaci antiaggreganti piastrinici [3-6].

Alla base dell'efficacia del trattamento del paziente carotideo vi è una corretta diagnosi clinica e, soprattutto, strumentale, che fornisca le informazioni necessarie ad interpretare il singolo caso ed eventualmente a programmare la procedura chirurgica in tutti i suoi aspetti. A tal fine è oggi in atto un processo di rivalutazione e perfezionamento delle procedure diagnostiche mirato ad identificare lo strumento dotato di maggiore accuratezza e di minore invasività, in particolare in previsione di un intervento chirurgico [7-11].

Il nostro gruppo si è proposto di valutare l'utilità dell'impiego dell'angiografia TC (CTA) come esame di II livello nello studio di pazienti affetti da patologie steno-ostruttive degli assi carotidei extra-cranici, confrontandone le informazioni con quelle fornite dall'eco color Doppler (ECD) dei tronchi sovraortici (TSA).

I dati ottenuti con entrambe le metodiche sono stati successivamente posti in confronto - nei pazienti chirurgici - con il riscontro operatorio.

Materiali e metodi

In un periodo di 31 mesi sono stati esaminati 82 pazienti, per un totale di 164 assi carotidei (29 maschi e 53 femmine di età compresa fra 55 e 79 anni, con età media di 69 anni).

In 40 casi (48,8%) si è riscontrata una anamnesi positiva per episodi di deficit neurologici di diverso carattere; i restanti soggetti (51,2%) presentavano invece un sospetto diagnostico di patologia carotidea, identificato a seguito di riscontro occasionale di soffio carotideo o durante accertamenti di altra natura.

Ciascun paziente è stato sottoposto ad un preventivo esame anamnestico, quindi ad ECD e successivamente a CTA dei TSA.

Sono stati giudicati "chirurgici" - e quindi sottoposti ad intervento - 35 individui.

Le informazioni ottenute con le due metodiche sono state utilizzate per: 1) identificare le lesioni stenotiche; 2) quantificare la percentuale di stenosi ed attribuirle alla relativa categoria secondo i criteri NASCET; 3) definire la sede e l'estensione della lesione; 4) valutare la morfologia della placca; 5) riconoscere anomalie di decorso; 6) riconoscere lesioni tandem.

Gli esami ECD sono stati effettuati utilizzando alternativamente due apparecchi (ATL HDI 5000, Philips Medical Systems, MA, USA e Acuson Sequoia, Acuson Corporation, Mountain View, California, USA) con l'impiego di sonde lineari a frequenza variabile (5-7,5 MHz).

I criteri valutativi impiegati nell'esecuzione di ciascun esame ECD sono stati i seguenti:

- quantificazione emodinamica del grado di stenosi mediante misurazione della velocità di picco sistolico e della velocità di picco di fine diastole in cm/s;
- quantificazione anatomica della stenosi mediante misu-

tomatic Carotid Atherosclerosis Study (ACAS) - demonstrated that carotid endarterectomy (EA) is a useful procedure in primary and secondary prevention of ischaemic stroke, significantly superior to antiplatelet therapy alone [3-6].

The basis for an efficient treatment of patients with carotid stenosis is a correct clinical and, above all, instrumental diagnosis which provides the information necessary to manage the single case and to plan the surgical procedure in detail. To this end, diagnostic procedures are currently being re-assessed and refined to identify the most accurate and least invasive in particular for planning surgery [7-11].

Our aim was to assess the usefulness of CT angiography (CTA) as a second-level examination in the study of patients with stenosis-obstruction of extracranial carotid branches, by comparing the CT data with those provided by colour Doppler (CDUS) ultrasound of the supra-aortic trunks (SAT).

The findings of both modalities were subsequently compared with the surgical findings in the patients who underwent surgery.

Materials and methods

Eighty-two patients were examined over a period of 31 months for a total of 164 carotid arteries (29 men and 53 women; age range: 55-79 years; mean age: 69 years).

Forty patients (48.8%) had a positive history for neurological deficits of different nature; the remaining patients (51.2%) had suspected carotid disease based on incidentally discovered carotid murmur or incidental findings arising from other investigations. All patients underwent history taking, followed by CD US and CT angiography of the supra-aortic trunk. Thirty-five patients were considered candidates for surgery and therefore underwent surgery.

The data obtained from both methodologies were used to: 1) identify stenotic lesions; 2) quantify the percentage of stenosis and classify it according to the NASCET criteria; 3) define the site and extension of the lesion; 4) evaluate plaque morphology; 5) detect vessel abnormalities; 6) detect tandem lesions.

The CD US examinations were performed using alternatively two devices (ATL HDI 5000, Philips Medical Systems, Eindhoven, Netherlands and Acuson Sequoia, Acuson Corporation, Mountain View, California, USA) equipped with variable-frequency linear probes (5-7.5 MHz).

The following parameters were adopted to evaluate the CD US examinations:

- *haemodynamic quantification of the degree of stenosis by measuring peak systolic velocity and peak end-diastolic velocity in cm/s;*
- *anatomic quantification of the stenosis by measuring the diameter of the residual lumen according to the NASCET and ECST criteria;*

razione del diametro del lume residuo secondo i criteri NASCET e ECST;

— studio morfologico della placca e del suo profilo endoluminale.

Gli esami TC sono stati eseguiti utilizzando un apparecchio a strato singolo (Hi Speed CT/I, GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin, USA).

Prima di ogni esame è stato ottenuto — da parte di ciascun paziente — il necessario consenso informato scritto.

Ad ogni paziente è stata spiegata la modalità di esecuzione dell'indagine e l'importanza della immobilità. Ad ognuno è stato chiesto di rimuovere eventuali protesi dentarie mobili nonché di non deglutire e di respirare superficialmente (possibilmente tramite il naso) durante la fase di acquisizione.

Tutti i pazienti sono stati posizionati in decubito supino, con nuca poggiata su un sottile "rialzo" in gommapiuma, in modo che il piano di scansione fosse il più possibile perpendicolare a quello degli assi carotidei, senza dovere ricorrere all'inclinazione del gantry.

In ciascun paziente è stato preventivamente reperito un accesso venoso, mediante introduzione di agocannula da 20 G in una vena dell'avambraccio.

Ogni esame è stato effettuato previa effettuazione di uno scanogramma A-P (comprendente la regione del collo e del capo, allo scopo di ottenere una corretta centratura sul piano frontale) e di un successivo scanogramma L-L comprendente la stessa regione. E' stato quindi impostato un unico volume di acquisizione in direzione caudo-craniale, a partire da un piano passante per C6-C7 fino alla regione soprassellare, in modo da includere il poligono di Willis.

I parametri tecnici utilizzati sono stati i seguenti: matrice 512x512, campo di vista (FOV) 15 cm; mA 200-220; kv 120; collimazione 3 mm; intervallo di ricostruzione 1 mm; pitch 1.

Ad ogni paziente sono stati somministrati 120 ml di mdc non ionico (iomeprolo, alla concentrazione di 300 mg/ml — Iomeron, Bracco, Milano, Italia), introdotti mediante iniettore automatico con flusso di 3 ml/s e ritardo di scansione di 18-22 secondi, in base al grado di funzionalità cardiaca del paziente.

La durata delle acquisizioni è stata di circa 40-45 secondi.

Analisi dei dati

I dati così ottenuti sono stati trasferiti ad una consolle di elaborazione (Advantage Window 3.1 o 4.0, GE Medical Systems), per l'analisi delle immagini assiali e per l'effettuazione di ricostruzioni 3D con algoritmo VR (Volume Rendering) e MIP (Maximum Intensity Projection).

Le immagini assiali sono state analizzate con un ingrandimento di circa il 50% rispetto all'acquisizione; su di esse sono stati impostati valori di finestra compresi fra 500 e 900 e valori di livello compresi fra 80 e 200, in modo da ottenere il miglior contrasto fra parete del vaso, lume, componente fibro-molle e componente calcifica della placca.

Per la quantificazione della percentuale di stenosi ci siamo basati sulle immagini assiali; su di esse l'entità della stenosi è stata calcolata — in accordo con i criteri NASCET — rapportando il diametro del lume residuo nel punto di massima stenosi con quello dello stesso vaso, nel primo livello a valle ritenuto libero da patologia (fig. 1).

Anche per lo studio della morfologia e della estensione

— *evaluation of plaque morphology and endoluminal profile.*

The CT examinations were performed by means of a single-slice device (Hi Speed CT/I, GE Medical Systems, Milwaukee, Wisconsin, USA).

Written informed consent was obtained from each patient prior to the examinations. All patients were informed on the modality of execution and the importance of keeping still. They were asked to remove any removable dental prosthesis, to breathe superficially (if possible, through their nose) during the acquisition phase and not to swallow.

All patients were placed in the supine position with a thin foam-rubber support under their neck to ensure that the scan plane was as perpendicular as possible to that of carotid branches, so as not to have to use gantry inclination.

A venous access was previously established in each patient by introducing a 20 G needle cannula in a vein of the forearm.

Each examination was performed after a A-P scanogram (comprising the neck and head to obtain correct centering in the frontal plane) and subsequent L-L scanogram of the same region. A single acquisition volume was then set in a cranial-caudal direction, from a plane through C6-C7 to the supra-sellar region so as to include the circle of Willis.

The following technical parameters were used: 512x512 matrix; FOV 15 cm; mA 200-220; kv 120; 3 mm collimation; 1 mm reconstruction interval; pitch 1.

A dose of 120 ml of non-ionic contrast medium (Iomeprol, 300 mg/ml concentration — Iomeron, Bracco, Milan, Italy) was administered to all patients by means of an automatic injector at a rate of 3 ml/s and a scan delay 18-22 s, depending on each patient's heart function. Acquisition time was approximately 40-45 s.

Data analysis

The data obtained were sent to a processing console (Advantage Window 3.1 or 4.0, GE Medical Systems) to analyse the axial images and make 3D VR (Volume Rendering) and MIP (Maximum Intensity Projection) reconstructions.

The axial images were analysed after enlarging them by approximately 50% compared to acquisition; window values ranging from 500 to 900 and level values ranging from 80 to 200 were set to obtain the best contrast between vessel wall, lumen, fibrous-soft component and calcified component of the plaque.

The percentage of stenosis was quantified based on the axial images; the degree of stenosis was calculated — in agreement with NASCET criteria — as the ratio between the residual lumen diameter at the point of maximum stenosis and the diameter of the normal vessel just below the stenosis (fig. 1).

The study of plaque morphology and extension was also based principally on the axial images; in particular, we evaluated the degree of the calcified component as compared to



Fig. 1. — Quantificazione anatomica della stenosi secondo i criteri NASCET: ricostruzione VR di ICA stenotica e corrispondenti sezioni assiali. L'entità del restringimento viene calcolato rapportando il diametro del lume residuo nel punto di massima stenosi con quello dello stesso vaso, nel primo livello a valle ritenuto libero da patologia.

Anatomical quantification of the stenosis according to the NASCET criteria: VR reconstruction of stenotic ICA and corresponding axial sections. The degree of obstruction is calculated as the ratio between the residual lumen diameter at the point of maximum stenosis and the nearby normal vessel diameter.

della placca ci siamo avvalsi prioritariamente delle immagini assiali; in particolare, abbiamo valutato l'entità della componente calcifica rispetto alla componente fibro-molle nonché la presenza di ulcerazioni (figg. 2, 3).

In tutti i casi sono state effettuate ricostruzioni MIP e VR, queste ultime soprattutto al fine di fornire al chirurgo una migliore visione panoramica dell'asse carotideo in rapporto alle strutture scheletriche (piano vertebrale, angolo mandibolare), nonché una migliore percezione di eventuali anomalie di decorso (fig. 4).

Il tempo di post-processing è stato variabile fra 10 e 30 minuti.

Il nostro studio è stato condotto in due tempi.

Nella prima fase si è proceduto al confronto dei dati forniti dalle due metodiche relativamente a tutti i parametri presenti in esame.

Nella seconda fase sono stati confrontati i dati forniti dalle due metodiche con il riscontro operatorio. A questo proposito si è tenuto conto della valutazione estemporanea effettuata dall'operatore; inoltre, nei pazienti in cui l'EA si è conclusa con la rimozione dell'intera placca aterosclerotica in un'unica soluzione, senza provocare lesioni (12 casi), le quantificazioni dell'operatore sono state avvalorate da ulteriori misurazioni effettuate su calchi in silicone da esse ottenute.

Calco in silicone

Utilizzando il protocollo adottato dal gruppo di Eckstein [12] è stato possibile costruire calchi delle placche carotidiche iniettando al loro interno un collante liquido ed attendendone la solidificazione; il campione così ottenuto corrisponde al reale lume residuo dell'arteria in esame (fig. 5).

Placca e calco sono quindi stati tagliati perpendicolarmente al loro maggior asse in corrispondenza del punto di massima stenosi e le superfici così ottenute sono state colorate con inchiostro, al fine di lasciare un'impronta su carta su cui effettuare le misurazioni.

Quando disponibili, sono quindi stati questi ultimi i valori posti a confronto con i dati ECD e CTA e considerati il gold standard.

the fibrous-soft component and the presence of ulcerations (figs. 2, 3).

MIP and VR reconstructions were performed in all cases, the latter mainly to provide the surgeon with a better overall view of the carotid artery's relations with the skeletal structures (vertebral plane, mandibular angle) and a better visualisation of possible abnormalities of the vessel course (fig. 4).

Post-processing time varied between 10 and 30 minutes.

Our study was performed in two phases.

In the first phase, the data provided by the two modalities were compared by examining all the parameters considered, whereas in the second phase they were compared with the surgical findings.

The extemporaneous evaluation of the operator was taken into account; in the patients in whom EA was completed with the removal of the entire atherosclerotic plaque in one session without lesions (12 cases) the quantifications made by the operator were confirmed by further measurements on silicone casts.

Silicon cast

Based on the protocol adopted by Eckstein's team [12], we created casts of the carotid plaques by injecting them with a liquid glue and waiting for it to set; the resulting specimen corresponds to the real residual lumen of the artery under examination (fig. 5).

The plaque and cast were then cut lengthwise at the point of maximum stenosis, and the surfaces obtained were inked and pressed against paper to allow measurements to be made.

Once available, these measurements were compared to the data provided by CD US and CTA and considered as the gold standard.

The material used to make the casts was a silicone chosen for its peculiar characteristic of not interacting for biological use and/or altering the tissues with which it comes

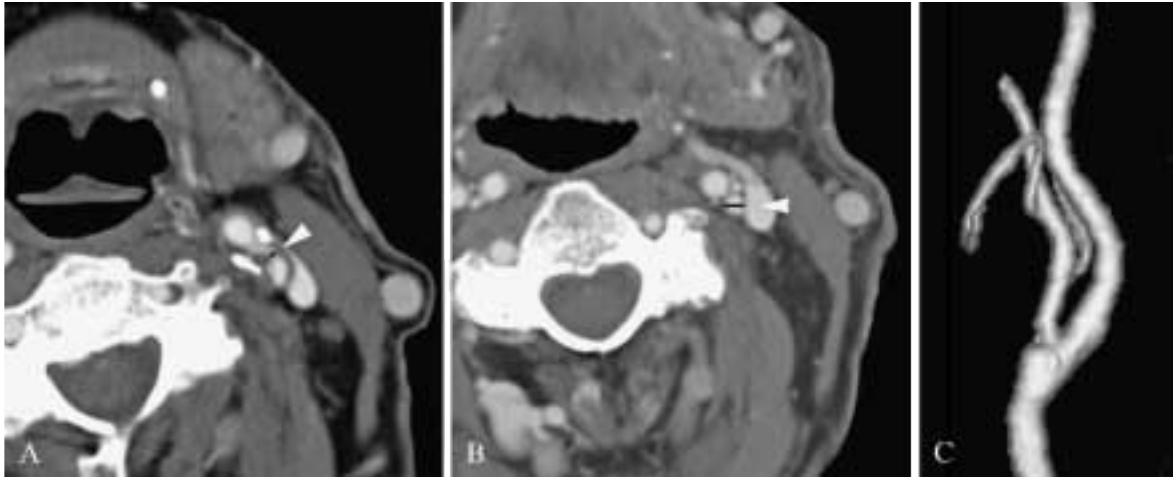


Fig. 2. — Quantificazione anatomica della stenosi secondo i criteri NASCET e valutazione morfologica della placca. A) immagine assiale: ICA a decorso tortuoso con placca in parte calcifica ed in parte fibromolle, con punto di massima stenosi poco dopo l'origine; B) immagine assiale dello stesso vaso, a valle del tratto stenotico; C) ricostruzione VR.

Anatomical quantification of the stenosis according to the NASCET criteria and morphologic evaluation of the atheromatous plaque: A) axial image: tortuous ICA with partly calcified and partly soft fibrous plaque and point of maximum stenosis just after the vessel origin; B) axial image of the same vessel caudally to the stenosis; C) VR reconstruction.

Il materiale impiegato per ottenere i calchi appartiene alla categoria dei siliconi per impiego biologico, scelto fra tanti per la sua peculiare caratteristica di non interagire e/o alterare i tessuti con cui entra in contatto (Silastic Medical Adhesive Silicone, Type A - Dow Corning spa).

Risultati

Prima fase

I risultati della fase preliminare del nostro studio sono riassunti nelle tabelle I e II.

Nella tabella I è rappresentato il numero di casi in cui ECD e CTA hanno fatto registrare una concordanza nell'identificare la presenza o l'assenza della variabile patologica in analisi: le percentuali di concordanza da noi riscontrate risultano elevate per tutti i parametri presi in esame ed in particolare per quanto concerne lo studio della composizione della placca aterosclerotica (96,3%) e della sua eventuale ulcerazione (89%); quest'ultimo dato è tuttavia influenzato dal numero elevato di casi negativi in quanto, come riportato in seguito, la sensibilità della CTA nell'identificare le ulcerazioni è risultata significativamente superiore a quella dell'ECD.

La tabella II approfondisce il primo dei quesiti presi in esame, facendo riferimento al numero di casi attribuiti dalle due metodiche a ciascuna delle quattro categorie di gravità di stenosi introdotte dal protocollo NASCET: in esse si considerano le volte in cui la CTA ha attribuito una lesione carotidea steno-ostruttiva alla medesima classe NASCET individuata dall'ECD e le corrispondenti percentuali di concordanza; queste ultime sono risultate più elevate per le stenosi lievi (91,7%) e per le occlusioni (77,8%) e più contenute per quelle lesioni che presentano un maggior interesse chirurgico (stenosi moderate, 61,1%; stenosi severe, 69,1%). Le restanti colonne precisano il numero di casi discordanti, per

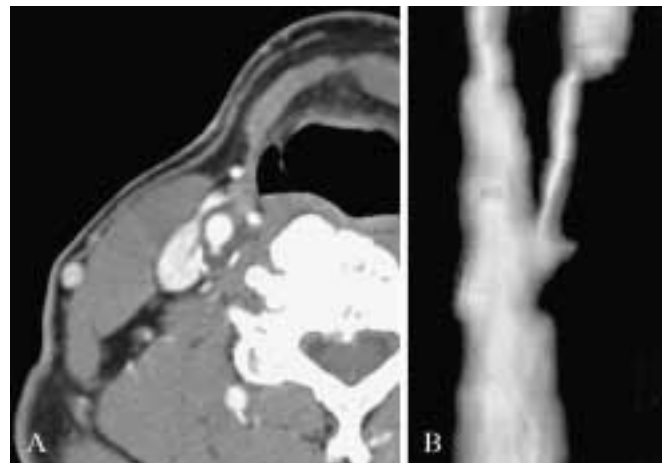


Fig. 3. — Ulcerazione di placca: A) immagine assiale; B) ricostruzione VR.

Ulcerated plaque: A) axial image; B) VR reconstruction.

into contact (Silastic Medical Adhesive Silicone, Type A - Dow Corning spa).

Results

First phase

The results of the preliminary phase of our study are reported in Tables I and II.

Table I shows the number of cases in which there was agreement between CD US and CTA in identifying the presence or absence of the disease. There was a high level of agreement for all the parameters considered, and in particular for plaque composition (96.3%) and possible ulceration.



Fig. 4. — Ricostruzioni VR di ICA con kinking prossimale e coiling distale precanalare senza (A) e con (B, C) mantenimento dei piani scheletrici.
VR reconstructions of ICA with proximal kinking and distal coiling without (A) and with (B-C) maintenance of skeletal structures.

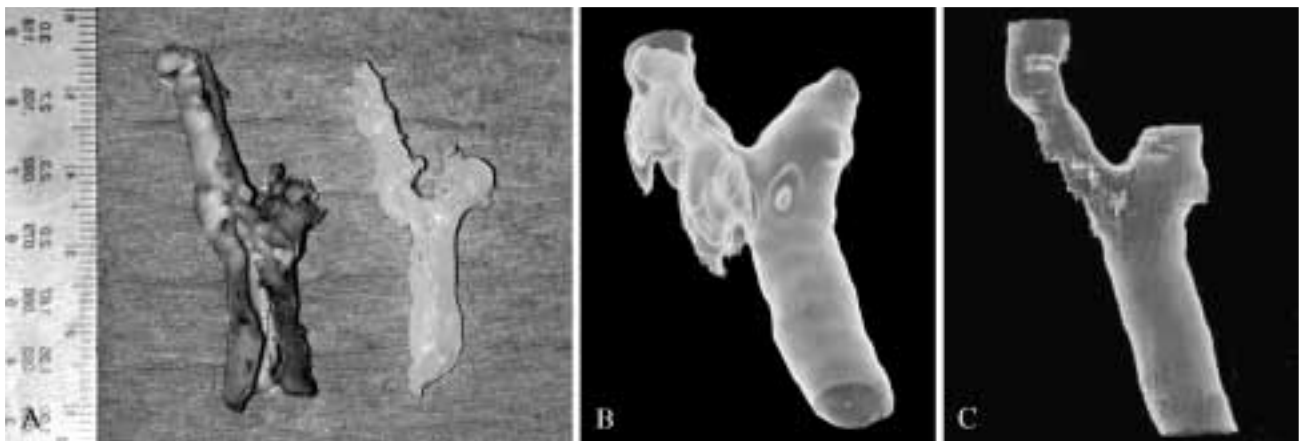


Fig. 5. — Reperto operatorio: A) placca aterosclerotica carotidea e suo calco in silicone; B, C) ricostruzioni VR prima e dopo rimozione della placca.
Surgical specimen: A) carotid atheromatous plaque and its silicone cast; B, C) VR reconstructions before and after plaque removal.

ciascuna categoria, che la CTA ha incluso in un gruppo a gravità maggiore o minore rispetto all'esame di primo livello.

Oltre ai parametri valutati nelle tabelle sopra descritte, la CTA ha identificato due casi di anomalia congenita di decorso dei TSA. In un caso veniva rilevata un'arteria carotide interna (ICA) con decorso in sede antero-mediale rispetto all'arteria carotide esterna; l'ECD descriveva invece lo stesso caso considerando i vasi secondo un decorso regolare. Nel secondo caso la CTA confermava il decorso inusuale del tratto d'origine di un'ICA a ridosso della parete postero-laterale destra del faringe, già evidenziato all'ECD; la migliore visione d'insieme e dei rapporti con le strutture circostanti ha però permesso la visualizzazione dell'impronta lasciata dal vaso sul faringe stesso, inducendo il radiologo ad estendere l'esame fino all'arco aortico e consentendo il riconoscimento di una arteria lusoria con origine ectasica e decorso retrotracheale e retroesofageo.

tion (89%); however, the agreement in detecting plaque ulceration is conditioned by the large number of negative cases, since CTA sensitivity in detecting ulcerations was significantly superior to that of CD US.

Table II shows the number of cases that each of the two modalities assigned to each of the four NASCET categories: these show how many times CTA assigned a carotid stenosis-obstruction to the same NASCET category as identified by ECD, and the corresponding concordance percentages; these were higher for mild stenoses (91.7%) and occlusions (77.8%), but modest for potentially surgical lesions (moderate stenoses, 61.1%; severe stenoses, 69.1%). The remaining columns show the number of discordant cases, by category, that CTA assigned to a higher or lower degree of severity as compared to first-level examination.

Besides the parameters evaluated in Tables I and II,

TABELLA I. — Risultati I fase: concordanza CTA/ECD.

Quesiti	N. casi concordanti	% Concordanza
Categoria NASCET	124/164	75,6
Anomalie decorso	134/164	81,7
Composizione placca	158/164	96,3
Ulcerazione placca	146/164	89,0

TABLE I.—Phase I results: CTA/CDUS agreement.

Queries	No. of concordances	% Concordance
NASCET Category	124/164	75.6
Course anomalies	134/164	81.7
Plaque composition	158/164	96.3
Plaque ulceration	146/164	89.0

TABELLA II. — Risultati I fase: Casi attribuiti dalla CTA ad una categoria NASCET concordante o discordante (maggiore o minore) con l'ECD.

Stenosi	ECD	CTA	% Concordanza	Severità classe CTA	
				>	<
Lieve (0-29%)	48	44	91,7	4	—
Moderata (30-69%)	43	28	61,1	9	6
Severa (70-99%)	55	38	69,1	2	15
Occlusione (100%)	19	14	77,8	—	5

TABLE II.—Phase I results: cases assigned by CTA to a concordant or discordant (greater or lesser) NASCET degree of stenosis, with respect to CDUS.

Stenosi	CD US	CTA	%agreement	CTA severity class	
				>	<
Mild (0-29%)	48	44	91.7	4	—
Moderate (30-69%)	43	28	61.1	9	6
Severe (70-99%)	55	38	69.1	2	15
Occlusion (100%)	19	14	77.8	—	5

Da sottolineare infine il riscontro occasionale alla CTA di 11 lesioni tandem (intese come patologia dell'asse carotideo posta distalmente ad una lesione sita a livello della biforcazione) non segnalate all'ECD per l'inaccessibilità agli ultrasuoni delle regioni interessate. Nel dettaglio, si tratta di 6 casi di stenosi del tratto intracranico dell'ICA, di 2 coiling e di 3 tortuosità, queste ultime però non emodinamiche, poste a livello della porzione distale della branca montante della mandibola.

Seconda fase

I dati forniti da ECD e CTA sono stati confrontati con le evidenze intraoperatorie al fine di potere calcolare sensibilità, specificità, valore predittivo positivo (Vpp), valore predittivo negativo (Vpn) e accuratezza di ciascuna metodica, relativamente ai quesiti presi in esame.

I risultati ottenuti confrontando i dati strumentali relativi ai 35 pazienti sottoposti ad endarterectomia con le valutazioni intraoperatorie sono riassunti nelle tabelle III e IV.

La CTA ha fatto registrare una corretta attribuzione alla categoria NASCET di gravità delle lesioni steno-ostruttive

CTA identified two cases of congenital anomaly of the supra-aortic vessels. In the first case, an internal carotid artery (ICA) ran antero-medially to the external carotid artery (ECA), an abnormality missed at CD US. In the second case, CTA confirmed the CD US findings of an anomalous initial segment of the ICA that coursed close to the right postero-lateral wall of the pharynx. However, the better overall view and the better depiction of the relations with adjacent structures afforded by CTA enabled visualisation of the vessel's imprint on the pharynx itself; this prompted the radiologist to extend the examination to the aortic arch leading to discovery of an arteria lusoria with ectasic origin and retro-tracheal and retro-oesophageal course.

Finally, CTA enabled detection of 11 tandem lesions (carotid lesions located distally to a lesion at the bifurcation); these were missed by CD US as they were located at sites not accessible to sonography. More specifically, the lesions were six stenoses of the intracranial ICA, two coilings, and three tortuosities, the latter were not haemody-

TABELLA III. — Risultati II fase: Valori percentuali di Sensibilità, Specificità, Valore predittivo positivo, Valore predittivo negativo ed Accuratezza relativi alla capacità di CTA ed ECD di identificare una stenosi severa, una stenosi moderata e l'ulcerazione della placca, in rapporto al controllo chirurgico.

Quesiti	Sensibilità		Specificità		Vpp		Vpn		Accuratezza	
	CTA	ECD	CTA	ECD	CTA	ECD	CTA	ECD	CTA	ECD
Stenosi severa	87,9	81,8	100	100	100	100	33,3	25,0	88,6	82,2
Stenosi moderata	100	25,0	87,9	100	33,3	28,5	100	100	88,6	85,7
Ulcerazione placca	75,0	25,0	100	100	100	100	93,1	81,1	94,3	82,8

TABLE III.—Phase II results: CTA and CDUS compared with surgery. Sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and accuracy in the assessment of severe or mild stenosis and plaque ulceration.

Queries	Sensitivity		Specificity		PPV		NPV		Accuracy	
	CTA	CD US	CTA	CD US	CTA	CD US	CTA	CD US	CTA	CD US
Stenosi severa	87.9	81.8	100	100	100	100	33.3	25.0	88.6	82.2
Stenosi moderata	100	25.0	87.9	100	33.3	28.5	100	100	88.6	85.7
Ulcerazione placca	75.0	25.0	100	100	100	100	93.1	81.1	94.3	82.8

TABELLA IV. — Risultati II fase: Categorie NASCET risultate corrette, sovrastimate e sottostimate da CTA ed ECD al controllo chirurgico.

NASCET	Atto chirurgico	Corretta		Sovrastima		Sottostima	
		CTA	ECD	CTA	ECD	CTA	ECD
Moderata	2	2	2	—	—	—	—
Severa	33	29	27	—	1	4	5
Totale	35	31	29	—	1	4	5

TABLE IV.—Phase II results: CTA and CDUS compared to surgery. Accuracy, over- and underestimation in the assessment of the degree of stenosis according to the NASCET criteria.

NASCET	Surgery	Correct		Overestimation		Underestimation	
		CTA	CD US	CTA	CD US	CTA	CD US
Moderate	2	2	2	—	—	—	—
Severe	33	29	27	—	1	4	5
Total	35	31	29	—	1	4	5

carotidea in 31 (88,6%) dei 35 pazienti operati, identificando entrambe le stenosi di classe moderata (100%) e 29 (87,9%) delle 33 severe, sottostimandone 4, considerate appartenenti alla classe immediatamente inferiore. Tutte le lesioni stenotiche giudicate di interesse chirurgico interessavano l'ICA e la regione bulbare.

L'intervento chirurgico ha permesso di evidenziare in 8 casi su 35 la presenza di una placca aterosclerotica complicata da ulcerazione, quindi potenzialmente emboligena. Di questi, la CTA è stata in grado di identificarne correttamente 6.

Infine, dei 35 pazienti operati, 9 risultarono portatori di

stenosi significativamente e furono localizzate al livello della branca ascendente distale della mandibola.

Seconda fase

Le dati forniti da CD US e CTA sono stati confrontati con i risultati intraoperatori per calcolare sensibilità, specificità, valore predittivo positivo (PPV), valore predittivo negativo (NPV) e accuratezza di ciascuna modalità, relative alle interrogazioni considerate.

Le risultati del confronto tra le immagini di

anomalie di decorso, tutte evidenziate dalla CTA; nel dettaglio, si trattava di 4 casi di kinking e di 5 casi di tortuosità (a "C" o a "S") dell'ICA.

L'ECD è stato in grado di identificare la corretta categoria NASCET di appartenenza di 29 (82,2%) delle 35 stenosi carotidiche giunte all'intervento; l'esame è stato in grado di interpretare in modo esatto entrambe le lesioni moderate e 27 delle 33 severe, sottostimandone 5 come moderate e considerandone 1 occlusa.

Degli 8 pazienti portatori di placca aterosclerotica ulcerata, l'ECD ne ha identificati 2.

L'ECD è stato infine in grado di riconoscere in modo corretto 4 delle 9 anomalie di decorso confermate all'atto chirurgico, in particolare i 4 casi di kinking, trascurando le 5 restanti tortuosità e segnalandone 1, non confermata all'intervento.

Discussione

Nel nostro lavoro abbiamo deciso di assumere come standard di riferimento il riscontro chirurgico, senza fare ricorso alla angiografia convenzionale (DSA). Ciò in considerazione del fatto che tale metodica, oltre ad essere gravata da una certa percentuale di complicanze [13-15] può fallire nella valutazione della stenosi quando il lume vasale è ellittico [16-18].

Relativamente alla capacità dell'ECD e della CTA di attribuire la stenosi alla corretta categoria NASCET, il nostro studio ha dimostrato una elevata concordanza per le lesioni lievi, una buona concordanza per le occlusioni ed una minore concordanza per le stenosi severe e per quelle moderate. Lo stesso limite è scaturito anche dal confronto con il dato operatorio, che ha dimostrato una scorretta attribuzione della categoria NASCET da parte dell'ECD in sei casi: uno considerato occluso a causa di una grossolana placca calcifica concentrica schermante l'esiguo lume residuo e cinque considerati con stenosi moderata anziché severa; in tali casi è sempre stata riscontrata una placca mista con discreta componente calcifica e/o una tortuosità del decorso del vaso. I limiti dell'ultrasonografia nella valutazione della stenosi sono riferiti da altri Autori: Binaghi *et al.* [9] riferiscono una percentuale di sottostima della stenosi da parte dell'ECD (rapportata alla DSA) del 2% ed una percentuale di sovrastima del 21%.

Dei quattro casi sottostimati dalla CTA rispetto al controllo chirurgico in due l'errore è stato indotto da artefatti da deglutizione. Negli altri casi è stato determinato dalla debolezza del metodo di quantificazione della stenosi secondo il protocollo NASCET. Infatti, in presenza di lesioni ateromasiche molto estese o di ipoplasia del vaso, il diametro del lume vascolare misurato a valle del punto di massima stenosi sarà ridotto, con conseguente sottostima della patologia; inoltre, la scelta del punto distale del vaso ritenuto libero da patologia è relativamente soggettiva, con conseguenti possibili discrepanze di valutazione fra più esaminatori [10, 19]. Potrebbe pertanto essere utile valutare sistematicamente anche la percentuale di stenosi segmentaria (secondo il protocollo ECST), confrontando il diametro del lume nel punto di massima stenosi con la sezione vera del vaso nella stessa sede, al fine di avere maggiori informazioni sulla reale entità della patologia.

Per la misurazione della stenosi ci siamo sempre basati

ings and the intra-operative evaluations of the 35 patients who underwent endarterectomy are reported in Tables III and IV.

CTA correctly classified steno-obstructive carotid lesions according to the NASCET criteria in 31/35 (88.6%) surgical patients, identifying both of the moderate stenoses (100%) and 29/33 (87.9%) severe stenoses; four lesions were underestimated and assigned to the immediately lower class. All stenoses regarded as eligible for surgery were located in the ICA and bulbular region.

In 8/35 cases, surgery allowed detection of an ulcerated and therefore potentially emboligenic atheromatous plaque. Of these, six were correctly classified by CTA.

Finally, of the 35 patients who underwent surgery, nine had vessel abnormalities, all of which were detected by CTA. These included four kinkings and five tortuosities (S- or C-shaped) of the ICA.

CD US correctly classified the surgical carotid stenoses according to the NASCET criteria in 29/35 (82.2%) cases, detecting both moderate and 27/33 severe lesions; five stenoses were underestimated as moderate and one was considered occluded. Of eight patients with ulcerated atherosclerotic plaque, two were identified by CD US.

Finally, CD US detected 4/9 vessel abnormalities confirmed at surgery, in particular four kinkings; it failed to identify five tortuosities and detected one that was not confirmed at surgery.

Discussion

In this study we decided to consider surgery as the reference standard. Conventional angiography (DSA) was not used owing to its complication rate [13-15] and because it may fail to detect stenosis in vessels with elliptical lumen [16-18].

*Regarding the capabilities of CD US and CTA in correctly classifying stenosis according to the NASCET criteria, our study demonstrated a high level of agreement for mild lesions, a good agreement for occlusions and a lower level of agreement for severe and moderate stenoses. Likewise, there was disparity between CD US and the surgical findings: in 6 cases, CD US was unable to correctly classify the degree of stenosis according to the NASCET criteria. One stenosis was considered to be occluded due to a gross concentric calcified plaque masking the small residual lumen and five were read as moderate instead of severe stenoses; in all of these cases the plaque had a discrete calcific component and/or there was vessel tortuosity. The limitations of ultrasound in evaluating stenosis have already been reported by other authors. According to Binaghi *et al.* [9], compared to DSA, CD US underestimated the stenosis in 2% of cases and overestimated it in 21%.*

Of the four cases underestimated by CTA with respect to the surgical findings, two were due to swallowing artifacts. In the remaining cases, underestimation was due to a failure to quantify the degree of stenosis according to the NASCET protocol. In the presence of large atherosclerotic

sulle immagini TC assiali; nel caso di vasi con decorso particolarmente tortuoso ci siamo avvalsi delle ricostruzioni MIP per scegliere con maggiore precisione il punto di massima stenosi.

Secondo Addis *et al.* [20] la misurazione della stenosi su ricostruzioni VR tende ad essere più precisa rispetto a quella effettuata sulle immagini assiali e su altri tipi di ricostruzione. Tuttavia, l'impostazione dei parametri utilizzati per ottenere le immagini VR è molto delicata, con conseguenti possibili errori di sotto- o di soprastima, ciò che ha indotto vari Autori a basarsi sulle immagini assiali, ricorrendo alla correlazione con altre tecniche ricostruttive solo in casi selezionati [10, 21-23].

Noi ci siamo avvalsi delle ricostruzioni MIP e, soprattutto, VR, per fornire al chirurgo una maggiore panoramicità ed una migliore visione spaziale dei rapporti fra l'asse carotideo e le strutture circostanti.

In una recente, accurata meta-analisi, Hollingworth *et al.*, hanno rivisitato i lavori pubblicati fra gennaio 1992 e dicembre 2002 concernenti l'accuratezza diagnostica della CTA nella valutazione della patologia aterosclerotica (e traumatica) delle arterie carotidi e vertebrali. Dall'analisi dei 15 studi considerati di più elevata qualità emerge che la sensibilità della CTA nell'identificare stenosi aterosclerotiche severe è sempre stata >85% (con una media di 95%) e che la sua specificità è sempre stata >90% (con una media di 98%). Inoltre, nei 14 studi in cui venivano valutate anche le stenosi moderate, la CTA ha dimostrato — a questo riguardo — una sensibilità media di 95% e una specificità media del 92%.

Altro elemento di rilievo che emerge da questa pubblicazione è che la sensibilità della CTA nell'identificazione delle stenosi severe è risultata lievemente maggiore nei lavori in cui la misurazione è stata effettuata basandosi sulle immagini assiali piuttosto che su altre tecniche di riformattazione [24].

I nostri risultati sono in linea con quelli della Letteratura. Inoltre — in accordo con l'esperienza di altri Autori — non abbiamo riscontrato casi in cui la CTA ha sovrastimato l'entità della stenosi [11, 23].

I dati da noi ottenuti sono altresì in accordo con la letteratura nell'indicare che, per carotidi non stenotiche o con stenosi giudicate lievi all'ECD, la CTA non aggiunge nulla; invece, in un certo numero di stenosi giudicate moderate, severe o occlusive all'ECD, la CTA ha modificato correttamente l'indicazione all'intervento [25].

Per quanto concerne la valutazione della placca aterosclerotica, essa si è dimostrata difficoltosa all'ECD in presenza di una consistente componente calcifica, per l'impossibilità di visualizzare i tessuti nascosti dal cono d'ombra che essa determina.

La CTA è stata invece sempre in grado di definire la natura delle placche studiate, indipendentemente dalla presenza di calcificazioni.

Noi abbiamo sempre studiato la morfologia della placca sulle immagini assiali. Sebbene la TC spirale single-slice sia verosimilmente insufficiente per differenziare le varie componenti della parte molle della placca [26, 27], essa è risultata molto precisa nel distinguere la componente fibrosa molle da quella calcifica, potendo dare — a questo riguardo — importanti informazioni sia al chirurgo vascolare per

lesions or vessel hypoplasia, the vessel diameter below the point of maximum stenosis is narrowed, which leads to underestimation; furthermore, selection of the disease-free distal point of the vessel is relatively subjective, thus leading to discrepancies among examiners [10, 19]. Therefore, in order to have further information on the true entity of the disease it might be useful to undertake systematic evaluation of the percentage of segmental stenosis (according to the ECST protocol), by comparing the lumen diameter at the point of maximum stenosis with the section of the vessel at the same site.

Stenosis was measured on the CT axial images in all cases; in the case of tortuous vessels, we used MIP reconstructions to select the point of maximum stenosis with greater accuracy.

*According to Addis *et al.* [20], the measurement of stenosis using VR reconstructions tends to be more precise than that performed on the axial images or other reformatted images. However, setting the parameters to obtain VR images is a delicate matter and may lead to over- or underestimation. This has led several authors to use the axial images and resort to other reconstruction techniques in selected cases only [10, 21-23].*

We used MIP and, above all, VR reconstructions to provide the surgeon with a more panoramic view and better spatial depiction of the relations between the carotid artery and surrounding structures.

*In a recent and detailed meta-analysis, Hollingworth *et al.* reviewed the studies published between January 1992 and December 2002 regarding the diagnostic accuracy of CTA in evaluating atherosclerotic (and traumatic) disease of the carotid and vertebral arteries. Based on the analysis of the fifteen best-quality studies, the sensitivity of CTA for severe atherosclerotic stenoses was constantly >85% (on average 95%) and its specificity >90% (on average 98%). In addition, in fourteen studies considering also moderate stenoses, CTA demonstrated a mean sensitivity of 95% and a mean specificity of 92%.*

This meta-analysis also showed that the sensitivity of CTA for severe stenoses was slightly higher for measurements based on axial images than on other reformatted images [24].

Our results are in keeping with those reported in the literature. We found no cases in which CTA overestimated the degree of stenosis [11, 23]. In addition, with respect to CD US, CTA failed to provide additional information in non-stenotic or mildly stenotic carotid arteries, but in a certain number of stenoses classified as moderate, severe or occlusive at CD US, CTA correctly modified the indication for surgery [25].

CD US evaluation of the atherosclerotic plaque proved difficult in the presence of a substantial calcific component due to the method's failure to visualise the tissues masked by the calcium-related posterior acoustic shadow. By contrast, CTA constantly defined the nature of the plaques examined, regardless of the presence of calcifications.

We always evaluated plaque morphology on the axial images. Although single-slice spiral CT is probably insuffi-

la pianificazione dell'intervento (ed in particolare per la scelta della sede e dell'estensione dell'EA) sia al radiologo interventista, in previsione di posizionamento di uno stent carotideo [15, 23].

La CTA si è dimostrata superiore all'ECD nel rilevare ulcerazioni di placca (sensibilità 75% vs 25%); la CTA non è stata in grado di riconoscere due ulcere di piccole dimensioni (<1,5-2 mm). Va detto, tuttavia, che solo le irregolarità maggiori (>2 mm) sembrano correlabili in modo significativo ad una storia di TIA o di stroke e sembrano essere alla base di un rischio maggiore di episodi embolici [18].

È presumibile che con gli apparecchi multidetettore diventa più precisa l'analisi "istologica" della placca e che aumenti la sensibilità nei confronti delle ulcere di piccole dimensioni, in virtù della maggiore risoluzione spaziale sull'asse z e della conseguente riduzione dell'effetto di volume parziale.

Le differenze riscontrate nella identificazione di dolicoarteriopatie e di lesioni tandem sono da ascrivere alla scarsa panoramicità dell'ECD ed alla sua incapacità di visualizzare le porzioni carotidee nascoste dalle strutture ossee. La CTA ha invece consentito di identificare sei stenosi del tratto intracranico dell'ICA.

Anche se a questo proposito vi sono pareri discordanti, secondo il nostro punto di vista il riscontro di lesioni tandem emodinamicamente significative è di non secondaria importanza; esse possono infatti inficiare i risultati dell'intervento a causa degli effetti esercitati sul flusso, aumentando il rischio di embolizzazione post-operatoria in relazione al maggior "share-stress" cui vengono sottoposte in conseguenza di EA.

In una vasta casistica è stato dimostrato che l'associazione di ECD e CTA (integrate dal Doppler transcranico) appare sufficientemente affidabile, non essendosi verificati, in 225 pazienti operati e non sottoposti a DSA, decessi o infarti nel periodo di osservazione post-intervento (range 6-34 mesi) [7].

Conclusioni

In accordo con i dati della letteratura, riteniamo che la valutazione degli assi carotidei mediante ecografia e CTA sia in grado di fornire le informazioni necessarie per pianificare in modo adeguato il trattamento chirurgico.

L'ECD, pur presentando alcuni limiti, deve comunque essere considerato — in relazione ai ben noti vantaggi che lo caratterizzano — l'esame di prima istanza nello studio della patologia carotidea; esso rappresenta lo strumento migliore per discriminare soggetti sani — o semplicemente meritevoli di controllo periodico — da soggetti affetti da patologia steno-ostruttiva emodinamicamente significativa, per i quali possono sussistere le indicazioni all'intervento chirurgico.

La CTA, soprattutto con l'avvento degli apparecchi multidetettore (dotati, oltre che di una maggiore risoluzione spaziale, anche della possibilità di studiare l'intero asse carotideo, dall'arco aortico fino al poligono) e con lo sviluppo di software di ricostruzione rapidi e dedicati allo studio dei vasi, potrà sostituire — come sta già accadendo in alcuni Centri — l'angiografia come esame di II livello nei pazienti candidati all'intervento.

cient for differentiating the various components of the soft portion of the plaque [26, 27], it was nonetheless very accurate in distinguishing the fibrous soft component from the calcific component. Therefore, it provided useful information to both the vascular surgeon (in particular for deciding on the site and extent of the endarterectomy) and the interventional radiologist for planning the stenting procedure [15, 23].

CTA proved to be superior to CD US for detecting plaque ulcerations (75% vs 25% sensitivity), whereas it failed to detect two small ulcers (<1.5-2 mm). However, only larger irregularities (>2 mm) seem to correlate significantly with a history of TIA or stroke, and constitute a high risk factor for embolic episodes [18].

It is likely that by using multi-detector devices the "histological" analysis of the plaque will be more accurate and the sensitivity for small ulcers higher, thanks to better z-axis resolution and resulting reduction of the partial volume effect.

The differences in the detection of kinkings, coilings and tandem lesions can be ascribed to the scarcely panoramic view afforded by CD US as well as to its inability to visualise carotid portions masked by bony structures. CTA instead succeeded in detecting six stenoses of the intracranial ICA.

Despite the conflicting views on this subject, we believe that the finding of haemodynamically significant tandem lesions is not of secondary importance; in fact, because of the effects on the flow, these may invalidate the results of surgery and increase the risk of post-operative embolisation as a result of the higher shear stress to which they are subjected with endarterectomy.

A large study has demonstrated that the association of CD US and CTA (integrated by transcranial Doppler) is sufficiently reliable, since no episode of death or stroke occurred in the post-operative follow-up (range: 6-34 months) of 225 patients who underwent surgery without DSA [7].

Conclusions

In agreement with the literature, we believe that the evaluation of carotid arteries by means of sonography and CTA provides necessary information to plan adequate surgical treatment.

Despite its limitations, CD US should be regarded as the first-line examination in carotid disease. It is the best technique for distinguishing cases that are healthy — or simply deserving follow-up — from those with haemodynamically significant steno-obstructive disease to be treated by surgery.

Thanks to the advent of multi-detector devices (with greater spatial resolution and capable of visualising the entire carotid artery from the aortic arch to the polygon) and the development of fast dedicated reconstruction software, CTA may replace angiography as a second-level examination in candidates for surgery, as has already occurred at some Institutes.

Bibliografia/References

- 1) Wolf PA: The epidemiology of stroke syndromes. *Curr Opin Neurol Neurosurg* 2: 42-46, 1989.
- 2) American College Of Physicians. Guidelines for medical treatment of Stroke Prevention. *Ann Intern Med* 121: 54-55, 1994.
- 3) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N Engl J Med* 325: 445-453, 1991.
- 4) European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group - MRC European Carotid Surgery Trial: interim results for symptomatic patients with severe (70-99%) or with mild (0-29%) carotid stenosis. *Lancet* 337: 1235-1243, 1991.
- 5) European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group. Randomised Trial of Endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European carotid surgery. *Lancet* 351: 1379-1387, 1998.
- 6) Executive committee for the asymptomatic carotid atherosclerosis study. *JAMA* 273: 1421-1428, 1995.
- 7) Benedetti-Valentini F, Gossetti B, Irace L *et al.*: Carotid surgery without angiography is possible and safe. *J Cardiovasc Surg* 41: 601-605, 2000.
- 8) Berg MH, Manninen HI, Rasanen HT *et al.*: CT angiography in the assessment of carotid artery atherosclerosis. *Acta Radiol* 43: 116-124, 2002.
- 9) Binaghi S, Maeder P, Uske A *et al.*: Three-dimensional computed tomography angiography and magnetic resonance angiography of carotid bifurcation stenosis. *Eur Neurol* 46: 25-34, 2001.
- 10) Goddard AJP, Mendelow AD, Birchall D: Computed Tomography Angiography in the investigation of carotid stenosis. *Clin Radiol* 56: 523-534, 2001.
- 11) 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.
- 12) Eckstein HH, Winter R, Elchbaum M *et al.*: Grading of internal carotid artery stenosis: validation of Doppler/Duplex ultrasound criteria and angiography against endarterectomy specimen. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 21: 301-310, 2001.
- 13) Bozzao A, Floris R, Villani A *et al.*: Valutazione della biforcazione carotidea e del circolo intracranico mediante angio-Tomografia Computerizzata spirale. *Radiol. Med.* 95: 577-582, 1998.
- 14) Cinat ME, Pham H, Vo D *et al.*: Improved imaging of carotid artery bifurcation using helical computed tomographic angiography. *Ann Vasc Surg* 13: 178-183, 1999.
- 15) Oliver TB, Lammie GA, Wright AR *et al.*: Atherosclerotic plaque at the carotid bifurcation: CT angiographic appearance with histopathologic correlation. *AJNR* 20: 897-901, 1999.
- 16) 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.
- 17) Porsche C, Walker L., Mendelow D, Birchall D: Evaluation of cross-sectional luminal morphology in carotid atherosclerotic disease by use of spiral CT angiography. *Stroke* 32: 2511-2515, 2001.
- 18) Troyer A, Saloner D, Xian Mang Pan *et al.*: The Assessment of Carotid Stenosis by Comparison with Endarterectomy Plaque Trial (ACSCEPT) Investigators, San Francisco, Calif.: Major carotid plaque surface irregularities correlate with neurologic symptoms. *J Vasc Surg* 35: 741-747, 2002.
- 19) Leclerc X, Godefroy O, Lucas C *et al.*: Internal carotid arterial stenosis: CT angiography with volume rendering. *Radiology* 210: 673-682, 1999.
- 20) Addis KA, Hopper KD, Iyriboz TA *et al.*: CT angiography: in vitro comparison of five reconstruction methods. *AJR* 177: 1171-1176, 2001.
- 21) Marcus CD, Ladam-Marcus VJ, Bigot JL *et al.*: Carotid arterial stenosis: evaluation at CT angiography with the volume-rendering technique. *Radiology* 211: 775-780, 1999.
- 22) Verhoek G, Costello P, Khoo EW *et al.*: Carotid bifurcation CT angiography: assessment of interactive volume rendering. *J Comput Assist Tomogr* 23: 590-596, 1999.
- 23) Moll R, Dinkel HP: Value of the 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.
- 24) Hollingworth W, Nathens AB, Kanne JP *et al.*: The diagnostic accuracy of computed tomography angiography for traumatic or atherosclerotic lesions of the carotid and vertebral arteries: a systematic review. *Eur J Radiol* 48: 88-102, 2003.
- 25) Belsky M, Gaitini D, Goldsher D *et al.*: Color-coded duplex ultrasound compared to CT angiography for detection and quantification of carotid artery stenosis. *Eur J Ultrasound* 12: 49-60, 2000.
- 26) Gronholdt ML, Wagner A, Wiebe BM *et al.*: Spiral computed tomographic imaging related to computerized ultrasonographic images of carotid plaque morphology and histology. *J Ultrasound Med* 20: 451-458, 2001.
- 27) Walker LJ, Ismail A, McMeekin W *et al.*: Computed tomography angiography for the evaluation of carotid atherosclerotic plaque: correlation with histopathology of endarterectomy specimens. *Stroke* 33: 977-981, 2002.

*Dott. S. Debernardi
Servizio di Radiologia
Istituto per la Ricerca
e la Cura del Cancro
Strada Provinciale 142, km 3,95
10060 Candiolio (TO)
Tel. 011/9933319
Fax 011/9933301
E-mail: stefano.debernardi@ircc.it*