# Detection of cerebral aneurysms in nontraumatic subarachnoid haemorrhage: role of multislice CT angiography in 130 consecutive patients

# Identificazione degli aneurismi cerebrali nell'emorragia subaracnoidea non traumatica: ruolo dell'angio-TC multistrato in 130 pazienti consecutivi

M. El Khaldi<sup>1</sup> • P. Pernter<sup>1</sup> • F. Ferro<sup>1</sup> • A. Alfieri<sup>2</sup> • N. Decaminada<sup>1</sup> • L. Naibo<sup>1</sup> • G. Bonatti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Servizio di Radiologia, <sup>2</sup>Neurochirurgia, Azienda Sanitaria di Bolzano, Via L. Bohler, 5, I-39100 Bolzano, Italy *Correspondence to*: M. El Khaldi, Via Rencio, 24/B, I-39100. Bolzano, Italy, Tel.: +39-047-1908494, Fax: +39-047-1908908, e-mail: mosavr@yahoo.com

Received: 23 June 2006 / Accepted: 27 July 2006 / Published online: 22 February 2007

## Abstract

*Purpose*. The leading cause of a nontraumatic subarachnoid haemorrhage is rupture of an intracranial aneurysm. The aim of this study was to assess the usefulness of multislice computed tomography angiography (CTA) in identifying and evaluating cerebral aneurysms by comparing it with intra-arterial digital subtraction angiography (DSA) and intraoperative findings. *Materials and methods*. During a 20-month period (June 2004 and February 2006), 130 patients with a CT diagnosis of nontraumatic acute subarachnoid haemorrhage were prospectively recruited to this study and underwent 16-detector CTA and DSA (57 men, 73 womer; mean age 59.5 years). Twenty-five patients who underwent DSA alone postclipping were excluded. CTA and DSA were evaluated by the performing radiologist to assess the presence of one or more aneurysms and their morphological characteristics.

**Results.** CTA detected 133 aneurysms, whereas DSA identified 134: the aneurysm missed by CTA was 2 mm in size. **Conclusions.** CTA is fast and relatively noninvasive, and its sensitivity appears similar to that of DSA in detecting and evaluating intracranial aneurysms, even those smaller than 3 mm. This study confirms the value of CTA as the primary imaging technique in subarachnoid haemorrhage, with DSA reserved for selected patients.

Key words Multislice CT angiography • Cerebral aneurysm

# Riassunto

**Obiettivo.** La causa più frequente di emorragia subaracnoidea non traumatica è la rottura di un aneurisma cerebrale. Scopo del nostro studio è valutare l'utilità dell'angio-TC multistrato nell'identificazione e nella caratterizzazione degli aneurismi cerebrali, attraverso il confronto con i reperti angiografici e con il quadro chirurgico.

Materiali e metodi. In un periodo di 20 mesi 130 pazienti con diagnosi TC di emorragia subaracnoidea acuta non traumatica sono stati arruolati per uno studio prospettico e sottoposti ad angio-TC multistrato (16 detettori) ed angiografia digitale sottrattiva (57 maschi, 73 femmine; età media 59,5 anni). Sono stati esclusi dallo studio 25 pazienti che hanno eseguito l'angiografia digitale sottrattiva solo come controllo post-operatorio. Il radiologo esecutore ha valutato indipendentemente i risultati dell'indagine e confermato o meno la presenza di uno o più aneurismi e le loro caratteristiche morfologiche.

**Risultati.** L'angio-TC ha individuato 133 aneurismi, mentre l'angiografia digitale sottrattiva ha individuato 134 aneurismi. L'aneurisma non individuato dall'angio-TC aveva dimensioni pari a 2 mm.

**Conclusioni.** L'angio-TC è una metodica veloce e poco invasiva e la sua sensibilità nell'individuazione degli aneurismi è analoga a quella dell'angiografia digitale sottrattiva anche se di dimensioni inferiori ai 3 mm. Questo studio conferma la validità dell'angio-TC come tecnica di imaging di elezione nella diagnosi di emorragie subaracnoidee. L'angiografia digitale sottrattiva può essere riservata solo a pazienti selezionati.

Parole chiave Angio-TC multistrato • Aneurisma cerebrale

### Introduction

Nontraumatic subarachnoid haemorrhage (SAH) is a neurological emergency characterised by extravasation of blood into the spaces lining the central nervous system, which are normally filled with liquor. The main cause of nontrau-

## Introduzione

L'emorragia subaracnoidea (ESA) non traumatica è un'emergenza neurologica caratterizzata dallo stravaso ematico negli spazi che rivestono il sistema nervoso centramatic SAH (80% of cases) is rupture of an intracranial aneurysm, an event accompanied by high morbidity and mortality rates [1]. Nonaneurysmal SAH, including the perimesencephalic end systolic area (ESA), is in contrast characterised by a good prognosis and rare neurological complications [2].

The global incidence of SAH, which varies from region to region, is about 10.5 cases per 100,000 inhabitants per year and has remained stable over the last 30 years. The incidence increases with age, with the mean age of presentation being 55 years. Female-to-male ratio is 1.6:1. Mean mortality of patients with SAH is 51%; one third of survivors require lifelong medical assistance. The main negative prognostic factors include level of consciousness, age and the quantity of blood at initial head computed tomography (CT) scan [3, 4]. The principle variable risk factors are cigarette smoking, hypertension, use of cocaine and alcohol abuse. First-degree family members of patients with SAH have an increased risk; there are also hereditary diseases of the connective tissue associated with intracranial aneurysms and SAH, such as polycystic kidney disease, Ehlers-Danlos syndrome (type IV), pseudoxanthoma elasticum and fibromuscular dysplasia [5].

On the basis of these prognostic criteria, an SAH should always be suspected in patients with the typical presentation of sudden and severe headache associated with nausea, vomiting, neck stiffness, photophobia or loss of consciousness. The physical examination may reveal retinal haemorrhage, evidence of meningeal irritation, reduced level of consciousness and/or focal or unilateral neurological deficit. In the absence of the classic signs and symptoms, SAH can be confused with migraine and tension headaches in 50% of cases [6]. This fact supports the extensive use of CT that, if correctly performed, is capable of identifying an SAH in 100% of cases within 12 h of symptom onset and in 93% of cases within 24 h [7, 8]. Head CT is also able to identify the presence of intraparenchymal haematomas, hydrocephalus, cerebral oedema and, in some cases, can suggest the probable site of aneurysmal rupture [9]. Lumbar puncture is a valuable diagnostic examination in cases of negative CT and suspected SAH.

For exact localisation of the source of extravasated blood, the diagnostic protocol involves performing digital subtractive angiography (DSA) or CT angiography (CTA). Whereas DSA is the gold standard for identifying cerebral aneurysms, CTA is gaining increasing acceptance, thanks to its immediacy and noninvasiveness and a specificity and sensitivity comparable with DSA. CTA also has a significant advantage in that it can be performed immediately following the baseline CT examination, which enables a significant shortening of examination times and the possibility of initiating treatment immediately [10–23].

The aim of this paper is to present a consecutive series of 130 patients diagnosed with SAH in a single institution (Ospedale Centrale Regionale di Bolzano) who underwent CTA and/or DSA and to analyse their sensitivity, specificity and diagnostic accuracy, comparing them with the data in the literature.

le normalmente percorsi da liquido cerebrospinale. La principale causa (80%) di ESA non traumatica è la rottura di un aneurisma intracranico e tale evenienza è accompagnata da elevate morbilità e mortalità [1]. L'ESA non aneurismatica, inclusa l'ESA perimesencefalica, è caratterizzata da buona prognosi e rare complicanze neurologiche [2].

L'incidenza mondiale aggregata dell'ESA, che varia da regione a regione, è di circa 10,5 casi/100000 abitanti per anno ed è rimasta stabile negli ultimi 30 anni. L'incidenza aumenta con l'incremento dell'età, con una età media di presentazione di 55 anni. Per il sesso femminile il rischio relativo è di 1,6 rispetto al sesso maschile. La media della mortalità dei pazienti colpiti da ESA è del 51%; un terzo dei sopravvissuti necessita di assistenza a vita. I principali fattori prognostici negativi sono lo stato di coscienza, l'età e la quantità di sangue alla TC cranio iniziale [3, 4]. I principali fattori di rischio modificabili sono il fumo di sigaretta, l'ipertensione, l'uso di cocaina e l'abuso alcolico. I familiari di primo grado di pazienti con ESA hanno fattore di rischio aumentato; vi sono inoltre patologie ereditarie del tessuto connettivo associate ad aneurismi intracranici ed ESA quali la malattia policistica renale, la sindrome di Ehlers-Danlos (tipo IV), lo pseudoxantoma elastico e la displasia fibromuscolare [5].

Sulla base di tali dati prognostici un'ESA deve essere sempre sospettata in pazienti con presentazione tipica: cefalea violenta ed improvvisa associata a nausea, vomito, dolore cervicale, fotofobia o perdita di coscienza. L'esame obiettivo può evidenziare emorragie retiniche, meningismo, ridotto livello di coscienza e/o segni neurologici focali o di lato. In assenza dei classici segni e sintomi la diagnosi di ESA può essere confusa con diagnosi di emicrania e cefalea muscolo-tensiva in circa il 50% dei casi [6]. Tali dati supportano l'uso estensivo che viene fatto della tomografia assiale computerizzata (TC) che, se eseguita correttamente, è in grado di rivelare un'ESA nel 100% dei casi entro 12 ore dall'esordio sintomatologico e nel 93% entro 24 ore [7, 8]. La TC del cranio è inoltre in grado di discriminare la presenza di ematomi intraparenchimali, idrocefalo, edema cerebrale e può, in alcuni casi, suggerire la probabile sede della rottura aneurismatica [9]. La rachicentesi mantiene una validità diagnostica nel caso di TC negativa e quadro clinico sospetto per ESA.

Il percorso diagnostico prevede quindi, per l'esatta localizzazione della sorgente del sanguinamento, l'esecuzione di un'angiografia digitale sottrattiva (DSA) oppure di un angio-TC (ATC). Lo studio angiografico cerebrale a sottrazione digitale rappresenta il gold standard per l'evidenziazione degli aneurismi cerebrali; l'ATC viene sempre più utilizzata per l'immediatezza e la non invasività associate a specificità e sensibilità comparabili con la DSA. L'ATC inoltre ha il grande vantaggio di poter essere eseguita in rapida successione all'esame TC di base consentendo di accorciare sensibilmente i tempi e di poter procedere tempestivamente al trattamento [10–23].

Scopo di questo lavoro prospettico è presentare una serie consecutiva di 130 pazienti con diagnosi accertata di ESA in una singola istituzione (Ospedale Centrale Regionale di Bolzano) sottoposti ad ATC e/o a DSA ed analizzare i dati di sensibilità, specificità ed accuratezza diagnostica confrontandoli con quelli riportati in letteratura.

# Materials and methods

Between June 2004 and February 2006, each patient with a CT diagnosis of nontraumatic SAH underwent CTA (Somaton Sensation 16, Siemens, Erlangen, Germany) and later a DSA (MultiStar Plus TOP, Siemens, Erlangen, Germany). We enrolled 130 consecutive patients (57 men, 73 women) with a mean age of 59.5±15.2 years (range 20–91), of whom 91 were referred from the Casualty Department of the Ospedale Centrale Regionale di Bolzano and 39 from other healthcare centres.

The CTA study was performed with a 16-detector device (Somaton Sensation 16, Siemens, Erlangen, Germany) with the following acquisition and reconstruction parameters: scan in the axial plane extending from the body of the first cervical vertebra to the vertex, collimation 0.75 mm, gantry rotation time 0.5 s, field of view (FOV) 230 mm, feed/rotation 6.5, 120 kV, 210 mAs, real-time reconstruction 3 mm/3 mm with FOV 120, postprocessing reconstruction 1 mm/0.5 mm with FOV 80. Contrast enhancement was provided by the intravenous antecubital administration of an 80ml bolus of nonionic iodinated contrast material (Iomeron 350 mgI/ml, Bracco, Milan, Italy) at a 4-ml/s flow rate followed by 50 ml saline solution at the same rate. The contrast material was administered with a dual-syringe automatic injector (Stellant, MedRad, Pittsburgh, PA, USA). Synchronisation between the scan and contrast material passage was obtained in real time with the bolus tracking technique. The sample volume was positioned in an internal carotid artery with a threshold of +30 HU.

After acquisition data transfer to the postprocessing station (Leonardo, Siemens, Erlangen, Germany), image analysis was performed interactively by the radiologist using various postprocessing techniques, including two- (2D) and three-dimensional (3D) multiplanar reconstructions (MPR), maximum intensity projections (MIP) and volume rendering (VR).

Each CTA and DSA examination was assessed independently by the performing radiologist, and the aneurysms were classified according to the following scheme (Table 1): Site:

- Aneurysms originating from the anterior circulation: internal carotid artery, ophthalmic artery, anterior choroidal artery, anterior communicating artery, anterior cerebral artery (A1, A2), pericallosal artery, callosal-marginal artery, middle cerebral artery (M1, M2, M3), posterior communicating artery
- Aneurysms originating from the posterior circulation: basilar artery, apex of the basilar artery, posteroinferior cerebellar artery, anteroinferior cerebellar artery, anterosuperior cerebellar artery, posterior cerebral artery. Size:
- Giant aneurysms: ≥25 mm
- Large aneurysms: ≥13–25 mm
- Medium aneurysms: ≥5–13 mm
- Small aneurysms: ≥3–5 mm
- Very small aneurysms: <3 mm Neck:
- Aneurysm with a narrow neck: diameter neck/diameter sac <1/3</li>
- Aneurysm with a wide neck: diameter neck/diameter sac  $\geq 1/3$ .

# Materiali e metodi

Nel periodo compreso tra giugno 2004 e febbraio 2006 ogni paziente con diagnosi TC di ESA non traumatica è stato sottoposto a ATC (Somatom Sensation 16, Siemens, Erlangen, Germania) e, successivamente, a DSA (MultiStar Plus TOP, Siemens, Erlangen, Germania). Sono stati arruolati 130 pazienti consecutivi, 57 maschi e 73 femmine con età media di  $59,5\pm15,2$  anni (range 20–91 anni); 91 pazienti provenienti dal Pronto Soccorso dell'Ospedale Centrale Regionale di Bolzano e 39 da altre strutture ospedaliere.

L'ATC è stata eseguita con sistema a 16 detettori (Somaton Sensation 16, Siemens, Erlangen, Germania) con i seguenti parametri di acquisizione e ricostruzione: scansione sul piano assiale estesa dal soma della prima vertebra cervicale al vertice, collimazione 0,75 mm, tempo di rotazione 0,5 s, FOV 230 mm, feed/rot 6,5, 120 kV, 210 mAs, ricostruzione in tempo reale 3 mm/3 mm con FOV 120, ricostruzione per il postprocessing 1 mm/0,5 mm con FOV 80. Per l'opacizzazione arteriosa sono stati somministrati in bolo, per via endovenosa antecubitale, 80 ml di mezzo di contrasto iodato non ionico (Iomeron 350 mgI/ml, Bracco, Milano, Italia) al flusso di 4 ml/s seguiti da 50 ml di soluzione salina allo stesso flusso. Per l'infusione del mezzo di contrasto è stato utilizzato un iniettore automatico a doppia siringa (Stellant, MedRad, Pittsburgh, USA). La sincronizzazione della scansione con il passaggio arterioso del mezzo di contrasto è stata effettuata in tempo reale mediante la tecnica del bolus tracking; il volume campione è stato posizionato in arteria carotide interna con un valore soglia di +30 unità Hounsfield.

L'analisi delle immagini, dopo trasferimento alla stazione di elaborazione (Leonardo, Siemens, Erlangen, Germania), è stato eseguita interattivamente dal medico radiologo utilizzando varie tecniche di postprocessing bi- e tri-dimensionali: ricostruzioni multiplanari (MPR), proiezione di massima intensità (MIP) e volume rendering technique (VRT).

Ogni esame ATC e DSA è stato valutato indipendentemente dal medico radiologo esecutore classificando gli aneurismi secondo il seguente schema (Tabella 1). Sede:

- aneurismi ad origine dal circolo anteriore: arteria carotide interna, arteria oftalmica, arteria corioidea anteriore, arteria comunicante anteriore, arteria cerebrale anteriore (A1, A2), arteria pericallosa, arteria calloso-marginale, arteria cerebrale media (M1, M2, M3), arteria comunicante posteriore;
- aneurismi ad origine dal circolo posteriore: tronco basilare, apice della basilare, arteria cerebellare postero-inferiore, arteria cerebellare antero-inferiore, arteria cerebellare antero-superiore, arteria cerebrale posteriore. Dimensioni:
- aneurisma gigante:  $\geq 25$  mm;
- aneurisma grande:  $\geq 13-25$  mm;
- aneurisma medio: ≥5-13 mm;
- aneurisma piccolo:  $\geq 3-5$  mm;
- aneurisma molto piccolo: <3 mm.
- Colletto:
- aneurisma con colletto stretto: rapporto base d'impianto/dimensione della sacca <1/3;</li>
- aneurisma con ampio colletto: rapporto base d'impianto/dimensione della sacca  $\geq 1/3$ .

Size (mm)	Aneurysms of the anterior circulation, n (%)	Aneurysms of the posterior circulation, n (%)	Total, n (%)	
25	1 (0.7)	0 (0)	1 (0.7)	
13-25	15 (11.2)	1 (0.7)	16 (11.9)	
5-13	58 (43.3)	9 (6.7)	67 (50)	
3–5	32 (23.9)	2 (1.5)	34 (25.4)	
<3	13 (9.7)	3 (2.2)	16 (11.9)	
Total	119 (88.8)	15 (11.2)	134 (100)	

 Table 1 Personal experience: subdivision of aneurysms by site and size.

Tabella 1 Esperienza personale: suddivisione degli aneurismi per sede e dimensioni

Dimensioni (mm)	Aneurismi del circolo anteriore, n (%)	Aneurismi del circolo posteriore, n (%)	Totale, n (%)	
25	1 (0.7)	0 (0.0)	1 (0.7)	
13–25	15 (11,2)	1(0,7)	16 (11,9)	
5–13	58 (43,3)	9 (6.7)	67 (50.0)	
3-5	32 (23,9)	2(1,5)	34 (25,4)	
< 3	13 (9,7)	3 (2,2)	16 (11,9)	
Totale	119 (88,8)	15 (11,2)	134 (100)	

Angioarchitecture:

Presence or absence of vessels originating from the aneurysmal sac.

All patients with a negative CTA underwent DSA within 24 h. In the event of positive CTA, only those patients whose CTA findings were not complete for the purposes of surgical planning or were to undergo endovascular therapy were required to undergo DSA. Lastly, when the CTA findings were considered sufficient for surgical planning, patients underwent surgery without further diagnostic examinations. However, all patients underwent postoperative DSA to demonstrate exclusion of the sac and the presence or absence of further aneurysms (Fig. 1). CTA and DSA findings were compared with regard to sensitivity, specificity and diagnostic accuracy.

#### Results

All CTA and DSA examinations were technically assessable. All patients who presented for the CTA examination without assisted ventilation were studied without sedation; about 60% of these required sedation at DSA. All CTA and DSA procedures were without complications (allergic reactions, acute renal failure or extravasation at the site of venous injection, more serious neurological complications or complications at the site of arterial catheterisation).

All 21 patients with a negative CTA underwent DSA. Of the 109 patients with positive CTA, 79 underwent emergency DSA to clarify the CTA findings and plan therapy, and five underwent DSA during endovascular embolisation on average 13 days after the acute event (13±5.5 days, range 7–20 days). In 25 cases, the CTA findings were considered complete for surgical purposes, such that these patients unAngioarchitettura:

 presenza o meno di vasi ad origine dalla sacca aneurismatica.

Tutti i pazienti con ATC negativa sono stati sottoposti entro 48 ore a DSA. In caso di ATC positiva sono stati inviati allo studio angiografico solamente i pazienti con quadro ATC non esaustivo ai fini della programmazione chirurgica o quelli indirizzati all'approccio terapeutico endovascolare. Infine, quando i reperti ATC sono stati giudicati sufficienti per la pianificazione chirurgica, i pazienti sono stati sottoposti all'intervento chirurgico senza ulteriori esami diagnostici. Tutti i pazienti hanno comunque eseguito una DSA post-operatoria per dimostrare l'esclusione della sacca e la presenza/assenza di ulteriori aneurismi (Fig. 1). I dati ATC ed angiografici sono stati confrontati in termini di sensibilità, specificità ed accuratezza diagnostica.

#### Risultati

Tutti gli esami ATC e DSA eseguiti sono risultati tecnicamente valutabili. Tutti i pazienti giunti alla ATC senza ventilazione assistita hanno eseguito l'esame senza necessità di sedazione; nel 60% circa delle DSA è stata necessaria la sedazione. Tutte le procedure eseguite, ATC e DSA, sono state esenti da complicazioni (reazioni allergiche, IRA o stravasi in sede di iniezione venosa, complicanze neurologiche maggiori o nella sede di cateterismo arterioso).

Tutti i 21 pazienti con ATC negativa sono stati sottoposti a DSA. Tra i 109 pazienti con ATC positiva 79 sono stati sottoposti a DSA urgente per chiarire i reperti ATC al fine della pianificazione terapeutica, 5 hanno eseguito lo studio angiografico durante la procedura di embolizzazione endova-



**Fig. 1** Diagnostic pathway in 130 patients enrolled in the study.

Fig. 1 Percorso diagnostico dei 130 pazienti arruolati nello studio.

derwent DSA post-operatively only.

Of the 105 patients who underwent DSA, CTA findings were confirmed in 104: in 20 cases where the findings were negative and in 84 cases with the presence of one or more aneurysms. Only in one case did DSA identify the presence of a 2-mm aneurysm of the anterior circulation, which was not seen at CTA. This aneurysm was, however, identifiable on retrospective review of the CTA images. In the 25 patients who underwent surgery without preoperative DSA, there was excellent agreement between the CTA and intraoperative findings with regard to size, morphology and angioarchitecture. In four of these patients, CTA demonstrated the presence of more than one aneurysm (three patients with two aneurysms and one patient with three aneurysms): these findings were confirmed at postoperative DSA (Fig. 1).

The 20 patients with negative CTA and DSA findings underwent a second DSA study 2–4 weeks following the haemorrhage. In all cases, the negative findings of the first studies were confirmed.

We identified 119 aneurysms in the anterior circulation (Figs. 2–6) and 15 in the posterior circulation (Figs. 7–9).

scolare in media 13 giorni dopo l'evento acuto  $(13\pm5,5$  giorni; range 7–20 giorni). In 25 casi il quadro ATC è stato giudicato esaustivo ai fini dell'intervento chirurgico, pertanto questi pazienti sono stati sottoposti a DSA solo come controllo post-operatorio.

Tra i 105 pazienti sottoposti a DSA il quadro ATC è stato confermato in 104: in 20 casi per la negatività del reperto ed in 84 per la presenza di uno o più aneurismi. Solo in un caso la DSA ha dimostrato la presenza di un aneurisma del circolo anteriore delle dimensioni di 2 mm non riconosciuto all'ATC; l'identificazione di questo piccolo aneurisma è stata comunque possibile alla valutazione retrospettiva delle immagini. Nei 25 pazienti sottoposti al trattamento chirurgico senza la valutazione DSA pre-operatoria è stata riscontrata un'ottima corrispondenza tra le informazioni fornite dall'ATC ed il quadro chirurgico per quanto riguarda le dimensioni, la morfologia e l'angioarchitettura. In 4 di questi pazienti l'ATC aveva dimostrato la presenza di più aneurismi (tre pazienti con 2 aneurismi ed un paziente con 3 aneurismi): tutti confermati al controllo DSA post-operatorio (Fig. 1).





Fig. 2a-i A 41-year-old woman: Axial (a), coronal (b) and sagittal (c) multiplanar reconstruction (MPR) images show a large aneurysm at the bifurcation of the left middle cerebral artery. Axial (d), coronal (e) and sagittal (f) maximum intensity projection (MIP) images obtained with a 10-mm-thin section more clearly show the aneurysm's morphology, its multilobular profiles and relationship with surrounding vessels. Paraaxial MIP thin image (g) better depicts the aneurysm neck. Volume rendering (VR) posteroanterior image (h) better shows vessels of cranial base and the aneurysm. VR and transparent VR images (i): this last reconstruction shows a better three-dimensional (3D) image of the aneurysmal sac and surrounding vessels.

Fig. 2a-i Paziente femmina, 41 anni. Le ricostruzioni MPR assiale (a), coronale (b) e sagittale (c) dimostrano un aneurisma di grandi dimensioni alla biforcazione dell'arteria cerebrale media di sinistra. Le ricostruzioni MIP a strato sottile (10 mm) assiale (d), coronale (e) e sagittale (f) meglio definiscono la morfologia dell'aneurisma, i profili polilobati ed i suoi rapporti con i vasi circostanti. Particolare di una ricostruzione MIP a strato sottile su un piano para-assiale (g) che permette di evidenziare il colletto dell'aneurisma. La ricostruzione VRT (h) con visione postero-anteriore consente una valutazione complessiva del circolo della base cranica e dell'aneurisma. Particolari VRT e VRT in trasparenza (i): quest'ultima elaborazione consente una migliore valutazione tridimensionale della sacca e dei vasi adiacenti.





**Fig. 3a-i** A 51-year-old woman: Coronal (**a**), axial (**b**), sagittal (**c**) maximum intensity projection (MIP) and volume rendering (VR) (**d**-**f**) images show a medium-sized aneurysm at the bifurcation of the right middle cerebral artery (*large arrow*), a small one at the bifurcation of the left middle cerebral artery (*thin arrow*) and a very small aneurysm of the anterior communicating artery (*arrowhead*). A very small aneurysm of the left internal carotid artery (**f**, *curved arrow*) is confirmed by MIP (**g**,**h**) and transparent VR (**i**) images.

**Fig. 3a-i** Paziente femmina, 51 anni. Le ricostruzioni MIP coronale (**a**), assiale (**b**), sagittale (**c**) e VRT (**d**-**f**) dimostrano un aneurisma di medie dimensioni alla biforcazione dell'arteria cerebrale media destra (freccia grande), un aneurisma di piccole dimensioni alla biforcazione dell'arteria cerebrale media sinistra (freccia sottile) ed un aneurisma molto piccolo all'arteria comunicante anteriore (punta di freccia). Un aneurisma molto piccolo del sifone carotideo di sinistra (**f**, freccia curva) viene confermato con ricostruzioni MIP (**g**,**h**) e VRT in trasparenza (**i**).



Fig. 4a-d A 38-year-old woman: Axial (a), coronal (b), sagittal (c) maximum intensity projection (MIP) and volume rendering (VR) (d) images show a medium-sized aneurysm with a long neck of the right internal carotid artery (*arrow*). Aplasia of the right posterior communicating artery (d).

Fig. 4a-d Paziente femmina, 38 anni. Ricostruzioni MIP assiale (a), coronale (b), sagittale (c) e VRT (d) di un aneurisma di medie dimensioni dell'arteria carotide interna destra con lungo colletto (freccia). Aplasica l'arteria comunicante posteriore destra (d).

Both techniques identified multiple aneurysms in 17 patients. Most aneurysms were of medium sized (n=67; 50%), followed by small (n=34; 25.4%), very small (n=16; 11.9%) and large (n=16; 11.9%) (Table 1).

Overall, CTA identified 108 of the 109 aneurysms seen at DSA and 25 aneurysms confirmed at surgery. If we consider DSA the diagnostic gold standard, then in our series with CTA, there was only one false negative and no false positives. Therefore, sensitivity and specificity reached 98.8% and 100%, respectively, with a positive predictive value of 100%, negative predictive value of 95.2% and diagnostic accuracy of 99.0% (Table 2).

I 20 pazienti con quadri ATC e DSA negativi hanno eseguito un secondo studio DSA a distanza di 2-4 settimane dal sanguinamento: in tutti i casi è stata confermata la negatività del reperto.

Sono stati identificati 119 aneurismi a carico del circolo anteriore (Figg. 2–6) e 15 a carico del circolo posteriore (Figg. 7–9); entrambe le metodiche hanno riscontrato la presenza di aneurismi multipli in 17 pazienti. Nella nostra casistica la maggior parte degli aneurismi sono di medie dimensioni (n=67, 50%), seguiti dagli aneurismi di piccole (34, 25,4%), molto piccole (n=16, 11,9%) e grandi dimensioni (n=16, 11,9%) (Tabella 1).



Fig. 5a-d A 74-year-old woman: Coronal (a), sagittal (b) maximum intensity projection (MIP), volume rendering (VR) (c) and digital subtraction angiography (DSA) (d) images show a very small aneurysm of the anterior communicating artery (*arrow*).

Fig. 5a-d Paziente femmina, 74 anni. Ricostruzioni MIP coronale (a), sagittale (b) e VRT (c) di un aneurisma di dimensioni molto piccole dell'arteria comunicante anteriore (freccia) e corrispettivo DSA (d).



**Fig. 6a,b** A 60-year-old man: Axial (**a**) and coronal (**b**) maximum intensity projection (MIP) images show a large, partially thrombosed, aneurysm at the bifurcation of the right middle cerebral artery (*arrow*). The aneurysm wall appears partially calcified (*arrowhead*).

Fig. 6a, b Paziente maschio, 60 anni. Ricostruzioni MIP assiale (a) e coronale (b) di un aneurisma di grandi dimensioni parzialmente trombizzato, con parete in parte calcifica (punta di freccia) alla biforcazione dell'arteria cerebrale media di destra (freccia).



Fig. 7a-d An 81-year-old man: Axial (a), coronal (b) paracoronal (c) maximum intensity projection (MIP) and digital subtraction angiography (DSA) (d) images show a large aneurysm (*arrow*) with a wide neck of the significantly calcified left vertebral artery. The right vertebral artery appears thread like (b) (*arrowhead*).

Fig. 7a-d Paziente maschio, 81 anni. Ricostruzioni MIP assiale (a), coronale (b), para-coronale (c) e corrispettivo DSA (d) di un aneurisma di grandi dimensioni con ampio colletto dell'arteria vertebrale sinistra (freccia), estesamente calcifica. Filiforme l'arteria vertebrale destra (b, punta di freccia).

We also encountered excellent agreement between CTA and DSA with regard to assessing the aneurysmal neck and angioarchitecture. These data were available for 92 of the 134 aneurysms in our study: we excluded the aneurysm not identified at CTA, the 25 aneurysms treated surgically prior to DSA and the 16 aneurysms <3 mm, the small size of which hindered realistic measurement of the neck. The two techniques were in agreement in defining 48 aneurysms with a narrow neck and the 44 aneurysms with a wide neck. In 12 medium and large aneurysms prevalently located in the middle cerebral artery, the presence of a vessel originating directly from the aneurysmal sac was identified.

Complessivamente con ATC sono stati riconosciuti 108 dei 109 aneurismi visualizzati con DSA cui vanno sommati i 25 aneurismi confermati all'atto chirurgico. Considerando la DSA il gold standard diagnostico, con ATC abbiamo riscontrato un falso negativo e nessun falso positivo. Pertanto i valori di sensibilità e specificità raggiungono rispettivamente il 98,8% ed il 100%, la predittività positiva è del 100% e la predittività negativa del 95,2%, con un'accuratezza diagnostica del 99,0% (Tabella 2).

Abbiamo riscontrato un'ottima corrispondenza tra ATC e DSA anche nella valutazione del colletto aneurismatico e dell'angioarchitettura; tali dati sono disponibili per 92 dei



Fig. 8a,b A 38-year-old woman: Coronal maximum intensity projection (MIP) (a) and digital subtraction angiography (DSA) (b) images show a small aneurysm at the origin of the left superior cerebellar artery (*arrow*).

Fig. 8a,b Paziente femmina, 38 anni. Ricostruzione MIP coronale (a) e corrispettivo DSA (b) di un aneurisma di piccole dimensioni all'origine dell'arteria cerebellare superiore sinistra (freccia).



Fig. 9a,b A 60-year-old woman: Coronal maximum intensity projection (MIP) (a) and digital subtraction angiography (DSA) (b) images show a small aneurysm at the apex of the basilar artery (*arrow*).

Fig. 9a, b Paziente femmina, 60 anni. Ricostruzione MIP coronale (a) e corrispettivo DSA (b) di un aneurisma di piccole dimensioni all'apice dell'arteria basilare (freccia).

 Table 2 Diagnostic accuracy of computed tomography angiography (CTA) vs digital subtraction angiography (DSA).

	n	%	
Sensitivity	84/85	98.8	
Specificity	20/20	100.0	
Positive predictive value	84/84	100.0	
Negative predictive value	20/20	95.2	
Accuracy	104/105	99.0	

**Tabella 2** Accuratezza diagnostica dell'angiografia di tomofrafia computata (ATC) vs angiografia digitale a sottrazione (DSA)

	п	%	
Sensibilità	84/85	98,8	
Specificità	20/20	100,0	
Valore predittivo positivo	84/84	100,0	
Valore predittivo negativo	20/20	95,2	
Accuratezza	104/105	99,0	

## Discussion

The study of cerebral aneurysms has long been the sole domain of DSA, an invasive technique not without risks for the patient and characterised by lengthy examination times. The technological developments of multidetector CT and especially the introduction and diffusion in clinical practice of 16-slice scanners have led to improved spatial-temporal resolution, thus enabling an accurate and minimally invasive study of cerebral aneurysms, even in the event of acute SAH. The possibility of performing CTA immediately following a CT diagnosis of SAH, along with the noninvasiveness of the technique, speed of execution and high diagnostic sensitivity and specificity, increasingly promote CTA as a highly reliable technique in studying cerebral aneurysms.

Our prospective study involving 130 patients shows that in all cases, CTA was technically feasible and was well tolerated by all patients. All examinations could be assessed, and there were no major motion artefacts.

However, a limitation to our study was the absence of patients who had previously undergone neurosurgery or endovascular embolisation; hence, we have no direct experience with artefacts caused by metal clips or coiled springs. In this respect, it should be noted that previous studies have demonstrated the validity of CTA even in the post-operative follow-up [24].

Shorter acquisition times and increased spatial resolution are two important advantages introduced by 16-slice scanners. The increased acquisition speed not only enables an exclusively arterial acquisition for the entire scan duration but also reduces the incidence of motion artefacts, which can seriously compromise image quality to the point of rendering the images nondiagnostic. This should not be underestimated in this type of patient, who is at times drowsy, at times suffering from psychomotor agitation and often uncooperative 134 aneurismi oggetto del nostro studio: abbiamo escluso l'aneurisma non riconosciuto con ATC, i 25 aneurismi trattati chirurgicamente prima dell'esecuzione dell'angiografia ed i 16 aneurismi <3 mm le cui piccole dimensioni non consentivano una reale definizione della base d'impianto. Le due metodiche sono state concordi nel definire 48 aneurismi con colletto stretto e 44 aneurismi a larga base d'impianto. In 12 aneurismi di medie e grandi dimensioni, prevalentemente localizzati all'arteria cerebrale media, è stata identificata l'emergenza di un vaso direttamente dalla sacca aneurismatica.

#### **Discussione**

Lo studio degli aneurismi cerebrali è stato per lungo tempo affidato alla DSA, metodica invasiva, non priva di rischi per il paziente e caratterizzata da lunghi tempi di esecuzione. Gli sviluppi tecnologici della tomografia computerizzata multidetettore ed in particolare l'introduzione e la diffusione nella pratica clinica delle apparecchiature a 16 strati, hanno portato ad un miglioramento della risoluzione spazio-temporale permettendo uno studio accurato e poco invasivo degli aneurismi cerebrali anche in caso di ESA in fase acuta. La possibilità di effettuare l'ATC subito dopo la diagnosi TC di ESA, la non invasività e la rapidità di esecuzione associate ad elevate sensibilità e specificità diagnostiche propongono sempre più l'ATC quale metodica altamente affidabile nello studio degli aneurismi cerebrali.

Questo studio prospettico relativo a 130 pazienti evidenzia che l'ATC si è dimostrata tecnicamente sempre eseguibile e ben tollerata dal paziente; tutti gli esami sono risultati valutabili, in particolare non si sono registrati grossolani artefatti da movimento.

Per contro un limite di questo studio è l'assenza di pazienti già precedentemente sottoposti ad interventi neurochirurgici o ad embolizzazione endovascolare: non abbiamo quindi esperienza diretta con gli artefatti da clips o spirali metalliche. A tale riguardo va aggiunto che precedenti studi hanno dimostrato la validità dell'ATC anche nei controlli post-operatori [24].

La riduzione dei tempi di acquisizione e l'aumento della risoluzione spaziale sono due importanti vantaggi introdotti dagli apparecchi a 16 strati. La maggiore velocità di acquisizione non solo consente di ottenere un'acquisizione esclusivamente arteriosa per tutta la durata della scansione, ma riduce l'incidenza degli artefatti da movimento che possono inficiare la qualità delle immagini sino a renderle non diagnostiche. Questo aspetto non va sottovalutato in questa tipologia di paziente: talvolta soporoso, talvolta in stato di agitazione psicomotoria e spesso comunque poco collaborante e poco incline a mantenere l'immobilità del capo anche per pochi secondi. In corso di DSA è spesso necessario ricorrere all'ausilio dell'anestesista che si vede costretto a sedare un paziente già di per sé critico. Per nessuno dei pazienti sottoposti ad ATC è stata necessaria la sedazione, al contrario più della metà dei pazienti sottoposti a DSA ha richiesto l'intervento dell'anestesista al fine di ottenere immagini diagnostiche, prive di artefatti da movimento.

Un esame ATC viene eseguito in circa 10 minuti cui va

and little inclined to keep their head still, even for a few seconds. Often during the course of DSA, an anaesthetist needs to be called to sedate a patient already in critical condition. Sedation was not required for any of the CTA studies, whereas over half of the patients who underwent DSA required sedation in order to obtain diagnostic images without motion artefacts.

A CTA examination is performed in about 10 min, to which are added the average time required for image postprocessing and interpretation of about 15–20 min. The findings are therefore available 25–30 minutes after the patient arrives at the CT station. In contrast, a cerebral DSA study requires angiographic experience, and when performed by an expert has a duration of 45–60 min, to which is added about 10 min for reporting the findings.

The move from 4- to 16-slice devices has further increased spatial resolution. This has enabled an increase in the diagnostic potential of CTA, especially with regard to very small aneurysms. Various studies performed with 4-slice scanners have already demonstrated excellent diagnostic accuracy regarding aneurysms larger than 4 mm while underlining the limitations for smaller aneurysms [14, 17, 20, 25]. In our study, there was only one false negative at CTA, which in fact was in regard to a very small aneurysm (2 mm). This was one of the first cases in the study, a time when our experience with the technique was still limited. During the study, we noted how our increasing technical confidence rendered recognition of even very small aneurysms relatively easy (Figs. 3, 5).

With regard to data collection, several observations need to be made. CTA examinations were performed by five radiologists with varying neuroradiological expertise and with a varying degree of familiarity with the CTA image postprocessing workstation. In contrast, DSA examinations were carried out by three radiologists with neuroradiological expertise. This feature can be seen as a limitation to our study, but on the other hand, it underlines the feasibility of introducing CTA into routine clinical practice.

In agreement with the literature [14, 17, 18, 20, 26], we would like to emphasise the absolute need to assess the CTA findings at the postprocessing workstation – the study must not fail to include 2D (MPR and MIP) and volumetric (VR) reconstructions (Fig. 2).

MPR, which were assessed in cine mode in the three orthogonal planes in space, help confirm the presence of the aneurysm or determine whether it was not identified in the axial plane alone. By using a wide window (W 1500, C 150), the enhanced lumen can be differentiated from adjacent bone structures or parietal calcifications. MPR performed in various oblique planes or curved MPR along the vessel course helps define the relations with the surrounding vascular and bone structures and the size of the sac and neck, as well as parietal calcifications and partial thromboses.

MIP project only the most luminous voxels of the selected volume in the reconstruction plane: these are 2D reconstructions with the loss of spatial information. Nonetheless, these easy-to-use reconstructions return a plastic, 3D-like image of the main vascular branches for most of their course, which often helps in the recognition of aneurysmal protrusions. These reconstructions, which are the most similar to traditional angiographic images, can be applied particularly sommato un tempo medio di elaborazione-lettura delle immagini di circa 15–20 minuti: il referto è quindi disponibile dopo 25–30 minuti dall'arrivo del paziente alla TC. Al contrario l'esecuzione di una panangiografia cerebrale richiede esperienza angiografica ed in mani esperte ha una durata media di 45–60 minuti cui vanno sommati circa 10 minuti per la refertazione.

Il passaggio dai 4 ai 16 strati ha incrementato ulteriormente la risoluzione spaziale: questo ha permesso di aumentare le potenzialità diagnostiche dell'ATC soprattutto nell'ambito degli aneurismi di dimensioni molto piccole. Diversi studi, condotti con apparecchi a 4 strati, hanno già dimostrato l'ottima accuratezza diagnostica per gli aneurismi di dimensioni superiori ai 4 mm e sottolineato i limiti per quelli di dimensioni più piccole [14, 17, 20, 25]. Nella nostra esperienza abbiamo avuto un solo falso negativo all'ATC e proprio per un aneurisma di dimensioni molto piccole (2 mm). Si è trattato di un caso tra i primi inseriti nello studio quando l'esperienza con la metodica era ancora limitata. Durante lo studio abbiamo potuto verificare come una sempre maggiore confidenza tecnica ha reso agile anche il riconoscimento di aneurismi molto piccoli (Figg. 3, 5).

Per quanto riguarda la raccolta dei dati bisogna fare alcune considerazioni: gli esami ATC sono stati eseguiti da cinque medici radiologi con diversa esperienza neuroradiologica e con diverso grado di familiarità con la stazione di elaborazione delle immagini ATC. Al contrario gli esami DSA sono stati condotti da tre medici radiologi con esperienza angiografica neuroradiologica. Questo aspetto può rappresentare un limite dello studio, ma d'altra parte consente la verifica della fattibilità dell'introduzione dell'ATC nella realtà quotidiana.

In accordo con quanto riportato in letteratura [14, 17, 18, 20, 26] sottolineiamo l'assoluta necessità di valutazione di uno studio ATC alla stazione di elaborazione: non si può infatti prescindere da uno studio eseguito attraverso le ricostruzioni bidimensionali (MPR e MIP) e volumetriche (VRT) (Fig. 2).

Le ricostruzioni multiplanari (MPR), valutate in cine mode nei tre piani ortogonali dello spazio, aiutano a confermare la presenza dell'aneurisma o a riconoscerlo se non identificato nel solo piano assiale. La scelta di una finestra ampia (W 1500, C 150) consente di differenziare il lume contrastato dalle strutture ossee adiacenti o da calcificazioni parietali. Le ricostruzioni MPR secondo vari piani obliqui o MPR curvate lungo il decorso di un vaso aiutano a definire i rapporti con le strutture vasali ed ossee, le dimensioni della sacca e del suo colletto, calcificazioni parietali o trombosi parziali.

Le ricostruzioni in proiezione di massima intensità (MIP) proiettano nel piano di ricostruzione solo i voxel più luminosi del volume scelto: si tratta di ricostruzioni bidimensionali con perdita dell'informazione spaziale. Tuttavia queste ricostruzioni, di facile applicazione, ci restituiscono un'immagine plastica, simil-3D, delle principali diramazioni vasali per gran parte del loro decorso che spesso aiuta nel riconoscimento delle protrusioni aneurismatiche. Le ricostruzioni MIP, le più vicine all'immagine angiografica tradizionale, trovano applicazione soprattutto nella valutazione delle diramazioni arteriose che si allontanano dal poligono di Willis mentre non consentono una valutazione corretta delle strutture in stretto rapporto con la base cranica per l'elevata attenuazione dell'osso. Non va inoltre dimenticato che aneurismi di piccole dimensioni possono to assessing arterial branches distal to the circle of Willis, whereas they are unable to correctly assess structures close to the skull base owing to the elevated attenuation of bone. It should also be borne in mind that very small aneurysms can be masked by vascular structures if the latter are projected in the same plane as the reconstruction.

VR is a 3D reconstruction technique that requires definition of a threshold attenuation value (measured in Hounsfield units) for selecting reconstruction voxels. The appropriate threshold value is selected on a case-by-case basis and involves multiple variables, including injection speed of the contrast material and cardiac output. These images help in interpreting the vascular relations and can be used to help in surgical planning, as they simulate the intraoperative view.

Postprocessing performed with a reduced FOV enables improved spatial resolution. Reconstructions in the various planes in space enable recognition and therefore sufficiently adequate characterisation of morphology, size, neck and development of an aneurysm as well as its relation to adjacent vessels and surrounding structures. The volumetric reconstructions, which are easy to obtain and have a high visual impact, return a plastic image that is often more useful in defining the aneurysm's relations and development than in diagnosing it. These reconstructions are often requested by neurosurgeons, as they best reflect the spatial appearance and the intraoperative view. It should also be borne in mind that only thin-section MPR, which are more laborious and less intuitive, enable correct identification of small irregularities of the sac's profile or partial thrombosis, where present.

#### Conclusions

Our study confirms the data in the literature. CTA is a minimally invasive, fast, highly sensitive and specific technique in diagnosing cerebral aneurysms in SAH. The ability of CTA to define the relevant anatomical characteristics for surgical treatment, such as aneurysmal neck morphology, parietal calcification, sac thrombosis and relations with adjacent structures, as well as 3D reconstruction of the neurovascular angioarchitecture means that fundamental additional information can be supplied for deciding the next treatment steps. The results obtained in this study confirm the data in the literature and encourage the use of CTA in routine clinical practice, with recourse to DSA only in selected cases or cases with uncertain diagnosis. At our institute, this study determined a change in managing patients with acute nontraumatic SAH: in the event of positive CTA finding for the presence of an aneurysm, in most cases, patients are scheduled for surgery without undergoing a DSA study.

Given the aetiology of nontraumatic SAH and its highlevel of risk in the event of an incorrect diagnosis, fundamental requisites for CTA study include correct technical execution and careful and interactive image assessment: where there is doubt, patients should undergo DSA. With regard to the future, CTA is also a promising technique for follow-up to verify exclusion of the aneurysmal sac after endovascular or surgical procedures. essere mascherati dalle strutture vascolari se queste si proiettano nello stesso piano di ricostruzione.

L'elaborazione volume rendering technique (VRT) è una tecnica di ricostruzione tridimensionale che richiede la definizione di un valore soglia di attenuazione (in unità Hounsfield) per la selezione dei voxel di ricostruzione. Il valore soglia adeguato va scelto caso per caso ed è funzione di multiple variabili fra le quali la velocità di iniezione del contrasto e la gittata cardiaca. Queste immagini facilitano l'interpretazione dei rapporti vascolari e possono essere di aiuto nella pianificazione dell'approccio chirurgico, simulando la visione intraoperatoria.

Le rielaborazioni con field of view (FOV) ridotto consentono una migliore risoluzione spaziale: le ricostruzioni secondo i vari piani dello spazio permettono di riconoscere e quindi di caratterizzare in maniera adeguata morfologia, dimensioni, base d'impianto e sviluppo di un aneurisma oltre ai suoi rapporti con i vasi adiacenti e le strutture circostanti. Le ricostruzioni volumetriche (VRT) facili da ottenere e di sicuro impatto visivo, restituiscono un'immagine plastica spesso più utile nella definizione dei rapporti e dello sviluppo dell'aneurisma che non nella sua diagnosi; sono spesso richieste dai neurochirurghi perché meglio rispecchiano la spazialità e la visualizzazione intraoperatoria. Non va dimenticato tuttavia che solo le ricostruzioni multiplanari sottili, più laboriose e meno intuitive, ci consentono di identificare correttamente eventuali piccole irregolarità dei profili della sacca o la sua parziale trombosi.

## Conclusioni

Ouesto studio conferma i dati della letteratura: l'ATC è una metodica poco invasiva, rapida, altamente sensibile e specifica nella diagnosi di aneurismi cerebrali nelle ESA. La capacità dell'ATC di definire caratteristiche anatomiche rilevanti per il trattamento chirurgico quali la morfologia del colletto aneurismatico, le calcificazioni parietali, la trombosi della sacca ed i rapporti con le strutture adiacenti e la ricostruzione tridimensionale dell'angioarchitettura neurovascolare consentono di fornire informazioni aggiuntive fondamentali per decidere il successivo trattamento dei pazienti. I risultati ottenuti confermano i dati di letteratura che incoraggiano l'uso dell'ATC nella pratica clinica quotidiana, ricorrendo alla DSA solo in casi selezionati o con diagnosi incerta. Nella nostra realtà questo studio ha determinato un cambiamento nella gestione del paziente con ESA acuta non traumatica: in caso di reperto angio-TC positivo per la presenza di un aneurisma la maggior parte dei pazienti viene portata all'intervento chirurgico senza l'esecuzione della DSA.

Considerando l'eziologia dell'ESA non traumatica e la sua pericolosità in caso di errata diagnosi, uno studio ATC non può prescindere da un'esecuzione tecnicamente corretta e da una valutazione attenta ed interattiva delle immagini: nei casi dubbi il ricorso alla DSA rappresenta tuttora l'opzione di scelta. Quale prospettiva futura l'ATC è un esame promettente anche per l'esecuzione dei controlli dopo intervento endovascolare o chirurgico per la verifica dell'esclusione della sacca aneurismatica.

# References/Bibliografia

- 1. Suarez JI, Tarr RW, Selman WR (2006) Aneurysmal subarachnoid hemorrhage. N Engl J Med 354:387–396
- van Gijn J, Rinkel GJ (2001) Subarachnoid haemorrhage: diagnosis, causes and management. Brain 124:249–278
- Muizelaar JP, Vermeulen M, van Crevel H et al (1988) Outcome of aneurysmal subarachnoid hemorrhage in patients 66 years of age and older. Clin Neurol Neurosurg 90:203–207
- Claassen J, Bernardini GL, Kreiter K et al (2001) Effect of cisternal and ventricular blood on risk of delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage: the Fisher scale revisited. Stroke 32:2012–2020
- Qureshi AI, Suri MF, Yahia AM et al (2001) Risk factors for subarachnoid hemorrhage. Neurosurgery 49:607–612
- Edlow JA, Caplan LR (2000) Avoiding pitfalls in the diagnosis of subarachnoid hemorrhage. N Engl J Med 342:29–36
- Kowalski RG, Claassen J, Kreiter KT et al (2004) Initial misdiagnosis and outcome after subarachnoid hemorrhage. JAMA 291:866–869
- Sames TA, Storrow AB, Finkelstein JA, Magoon MR (1996) Sensitivity of newgeneration computed tomography in subarachnoid hemorrhage. Acad Emerg Med 3:16–20
- 9. van der Jagt M, Hasan D, Bijvoet HW et al (1999) Validity of prediction of the site of ruptured intracranial aneurysms with CT. Neurology 52:34–39
- Jayaraman MV, Mayo-Smith WW, Tung GA et al (2004) Detection of intracranial aneurysms: multi-detector row CT angiography compared with DSA. Radiology 230:510–518

- 11. Grossi G (2003) Angio TC spirale nell'emorragia subaracnoidea aneurismatica. Rivista di Neuroradiologia 16[Suppl 2]:36–39
- Canevari MA (2003) Tomografia Computerizzata nella diagnosi dell'emorragia subaracnoidea aneurismatica. Rivista di Neuroradiologia 16[Suppl 2]:29–35
- 13. White PM, Teadsale E, Wardlaw JM, Easton V (2001) What is the most sensitive non-invasive imaging strategy for the diagnosis of intracranial aneurysms? J Neurol Neurosurg Psychiatry 71:322–328
- 14. Jayaraman MV, Mayo-Smith WW, Tung GA et al (2004) Detection of intracranial aneurysms: multi-detector row CT angiography compared with DSA. Radiology 230:510–518
- 15. Venema HW, Hulsmans FJH, den Heeten GJ (2001) CT angiography of the circle of Willis and intracranial internal carotid arteries: maximum intensity projection with matched mask bone elimination – Feasibility study. Radiology 218:893–898
- Velthuis BK, Rinkel GJ, Ramos LM et al (1998) Subarachnoid hemorrhage: aneurysm detection and preoperative evaluation with CT angiography. Radiology 208:423–430
- 17. Tomandl BF, Köstner NC, Schempershofe M et al (2004) CT angiography of intracranial aneurysms: a focus on postprocessing. RadioGraphics 24:637–655
- 18. Velthuis BK, van Leeuwen MS, Witkamp TD et al (1997) CT angiography: source images and postprocessing techniques in the detection of cerebral aneurysms. AJR Am J Roentgenol 169:1411–1417

- Gasparotti R, Liserre R (2005) Intracranial aneurysms. Eur Radiol 15:441–447
- 20. White PM, Teasdale EM, Wardlaw JM, Easton V (2001) Intracranial aneurysms: CT angiography and MR angiography for detection - Prospective blinded comparison in a large patient cohort. Radiology 219:739–749
- 21. Villablanca JP, Jahan R, Hooshi P et al (2002) Detection and characterization of very small cerebral aneurysms by using 2D and 3D helical CT angiography. AJNR Am J Neuroradiol 23:1187–1198
- 22. Satoh T, Onoda K, Tsuchimoto S (2003) Intraoperative evaluation of aneurysmal architecture: comparative study with transluminal images of 3D MR and CT angiograms. AJNR Am J Neuroradiol 24:1975–1981
- 23. Chawla S (2004) Advances in multidetector computed tomography: applications in neuroradiology J Comput Assist Tomogr 28:S12–S16
- 24. Dehdashti AR, Binaghi S, Uske A, Regli L (2006) Comparison of multislice computerized tomography angiography and digital subtraction angiography in the postoperative evaluation of patients with clipped aneurysms. J Neurosurg 104:395–403
- 25. Teksam M, McKinney A, Casey S et al (2004) Multi-section CT angiography for detection of cerebral aneurysm. AJNR Am J Neuroradiol 25:1485–1492
- 26. White PM, Wardlaw JM, Easton V (2000) Can noninvasive imaging accurately depict intracranial aneurysms? A systematic review. Radiology 217:361–370