

## Broncoscopia virtuale in pazienti con lesioni endobronchiali stenosanti. Ottimizzazione della tecnica con TC spirale monostrato

Massimo GALIA - Antonio LO CASTO - Massimo MIDIRI  
Maria BELLIA - Tommaso Vincenzo BARTOLOTTA  
Filippo CADEMARTIRI\* - Marcello DE MARIA  
Roberto LAGALLA

**Scopo.** Presentare un protocollo originale di broncoscopia virtuale con Tomografia Computerizzata (TC) spirale monostrato nella valutazione di pazienti con lesioni stenosanti delle vie aeree centrali a confronto con la fibrobroncoscopia.

**Materiale e metodi.** Dieci pazienti (4 femmine, 6 maschi; età compresa tra 22 e 60 anni; età media 44 anni), con diagnosi fibrobroncoscopica di patologia broncopulmonare ostruttiva (8 tumori maligni, 1 tumore benigno e 1 stenosi fibrosa) sono stati sottoposti a broncoscopia virtuale con TC spirale a singolo strato. Dopo una prima acquisizione, sulle immagini assiali trasverse è stata selezionata la regione di interesse. Su questa è stata effettuata una seconda acquisizione, dopo somministrazione di mezzo di contrasto endovena, in senso caudo-craniale, con i seguenti parametri: collimazione 2 mm, intervallo di ricostruzione 1 mm, pitch 1,3, 120 Kv, 80 mAs. Le immagini endoscopiche virtuali sono state ricostruite dai dati acquisiti con quest'ultimo pacchetto su una stazione di lavoro dedicata con tecnica di ricostruzione di volume e valore soglia di rappresentazione dell'interfaccia aria/mucosa di -500 UH. Oltre alle immagini assiali trasverse sono state effettuate e visualizzate simultaneamente sul monitor della stazione di lavoro le ricostruzioni multiplanari (MPR) sui piani sagittale e coronale. I risultati della broncoscopia virtuale sono stati confrontati con quelli della fibrobroncoscopia.

**Risultati.** Il protocollo da noi utilizzato per la realizzazione dell'esame broncoscopico virtuale con TC spirale a singolo strato ha consentito di ottenere immagini di broncoscopia virtuale complementari a quelle della fibrobroncoscopia in tutti i casi; inoltre ha consentito la visualizzazione delle vie aeree distalmente alle lesioni stenosanti. Le informazioni riguardanti le strutture extra-bronchiali sono state ottenute sulle immagini assiali e MPR. Solo in 1 caso sono stati osservati artefatti da movimento.

**Conclusioni.** L'impostazione dei parametri tecnici più appropriati per l'esecuzione della broncoscopia virtuale con TC spirale a singolo strato non è stata in precedenza mai standardizzata. A nostro avviso critica è l'opportuna selezione del protocollo più adeguato alla realizzazione delle immagini broncoscopiche virtuali quando si dispone di tali apparecchiature TC, con le quali si deve mirare a stabilire un adeguato equilibrio tra la qualità di definizione delle immagini e la dose di esposizione.

PAROLE CHIAVE: TC spirale - Broncoscopia virtuale - Stenosi bronchiali.

### *Virtual bronchoscopy in patients with central endobronchial stenosing lesions. Technique optimisation with single slice spiral CT*

**Purpose.** To describe an original protocol for single slice spiral Computed Tomography (CT) virtual bronchoscopy in the evaluation of patients with central airway stenoses and compare the results with fiberoptic bronchoscopy.

**Materials and methods.** Ten patients (4 female and 6 male; age range 22-60 years; mean age 44 years) with endobronchial disease diagnosed by fiberoptic bronchoscopy (8 malignant tumours, 1 benign tumour and 1 fibroid stenosis) underwent virtual bronchoscopy with single slice spiral CT. A panoramic spiral CT scan of the whole chest was first obtained. Once the area of interest had been identified, a new contrast enhanced scan was performed, from bottom to top, with the following parameters: 2 mm slice thickness, 1 mm reconstruction index, 1.3 pitch, 120 Kvp, 80 mAs. Virtual bronchoscopy was generated with an upper threshold of -500 HU from the cross-sectional images of the second scan on a dedicated workstation. Axial, multiplanar reformations (MPR), and virtual endoscopy simulation were simultaneously visualised. Virtual CT bronchoscopy findings were compared with those of fiberoptic bronchoscopy.

**Results.** The protocol we used to perform single slice spiral CT virtual bronchoscopy enabled us to obtain virtual bronchoscopy images that correlated well with fiberoptic bronchoscopy findings in all cases, as well as allowing the visualization of the airways beyond the stenoses. Information about tissues surrounding the tracheobronchial tree was also available from axial and MPR images. Only in 1 case were motion artefacts observed.

**Conclusions.** The set of the most appropriate parameters for performing virtual bronchoscopy by single slice spiral CT has not yet been standardized. In our opinion the appropriate selection of the protocol to adequately realize virtual bronchoscopic images is crucial when using CT devices such as the above, so as to achieve the correct balance between the quality of image definition and exposure dose.

KEY WORDS: Spiral CT - Virtual bronchoscopy - Central airway stenoses.

## Introduzione

La broncoscopia virtuale con Tomografia Computerizzata (TC) spirale rappresenta una tecnica alternativa sul piano diagnostico a quella tradizionale, con interessanti risultati

## Introduction

*Virtual bronchoscopy with spiral computed tomography (CT) is an alternative to the traditional diagnostic technique which has produced noteworthy results in identifying endo-*

TABELLA I. — Dati dei pazienti.

Sesso	Età (anni)	Patologia endobronchiale
F	59	Carcinoma epidermoide
F	22	Stenosi fibrosa
M	51	Microcitoma
M	56	Microcitoma
M	60	Emangioma bronchiale
M	56	Adenocarcinoma
M	49	Adenocarcinoma
F	52	Microcitoma
F	56	Adenocarcinoma
M	46	Carcinoma epidermoide

TABLE I.—Patient data.

Gender	Age (years)	Endobronchial pathology
F	59	Epidermoid carcinoma
F	22	Fibrous stenosis
M	51	Small cell carcinoma
M	56	Small cell carcinoma
M	60	Bronchial haemangioma
M	56	Adenocarcinoma
M	49	Adenocarcinoma
F	52	Small cell carcinoma
F	56	Adenocarcinoma
M	46	Epidermoid carcinoma

nella individuazione delle lesioni endobronchiali [1-4]. Diversi sono i protocolli proposti per l'esecuzione della broncoscopia virtuale con TC spirale a singolo strato di detettori, che però non sono spesso universalmente applicabili, in quanto dipendenti dalle caratteristiche tecniche delle apparecchiature TC impiegate e subordinate alla ricerca di un equo compromesso tra qualità dell'immagine e esigenze radioprotezionistiche [1, 2]. Obiettivo del presente lavoro è quello di presentare un protocollo originale per la broncoscopia virtuale con TC spirale monostrato mirato alla ottimizzazione dei parametri di esecuzione dell'indagine, avvalendosi in modo esemplificativo, dello studio di pazienti con lesioni endobronchiali stenosanti, in cui i risultati dell'endoscopia virtuale sono stati confrontati con quelli della fibrobroncoscopia.

## Materiale e metodi

Nel periodo compreso tra febbraio 2002 e maggio 2003, 10 pazienti con età compresa tra 22 e 60 anni, di cui 4 femmine e 6 maschi, con diagnosi fibrobroncoscopica di patologia broncopolmonare ostruttiva - 8 tumori maligni (3 adenocarcinomi, 3 microcitomi, 2 tumori a cellule squamose), 1 tumore benigno (emangioma) e 1 stenosi fibrosa reattiva a un collante organico utilizzato per richiudere una fistola broncopleurica - sono stati sottoposti a broncoscopia virtuale (tab. I).

L'indagine è stata eseguita in tutti i casi con una TC spirale monostrato (UltraZ, Picker International, Cleveland, Ohio, USA) ed è stato utilizzato il seguente protocollo.

I pazienti sono stati posizionati sul lettino della TC in decubito supino. Ottenuto un iniziale scanogramma del torace si è eseguito un primo pacchetto di acquisizione con i seguenti parametri: collimazione 8 mm, intervallo di ricostruzione 8 mm, pitch 1,5, 120 Kv, 200 mAs. L'esame è stato condotto in apnea inspiratoria. Dopo la valutazione delle immagini assiali trasverse e selezionata la regione di interesse si è proseguito con una seconda acquisizione con i seguenti parametri: collimazione 2 mm, intervallo di ricostruzione 1 mm, pitch 1,3, 120 Kv, 80 mAs. Quest'ultima acquisizione della durata di 25-

*bronchial lesions [1-4]. A variety of protocols have been proposed for performing virtual bronchoscopy with single slice spiral CT, but often they are not universally applicable, in that they are dependent on the technical characteristics of the CT devices used and limited by the search for a balanced compromise between image quality and radiation exposure [1, 2]. This paper presents an original protocol for virtual bronchoscopy with single slice spiral CT which aims at optimising the examination parameters, and presents a study of patients with stenosing endobronchial lesions, in which the results of virtual endoscopy are compared with those of fiberoptic bronchoscopy.*

## Materials and methods

*In the period between February 2002 and May 2003 10 patients aged between 22 and 60 years of age (four females, six males) with fiberoptic bronchoscopic diagnosis of obstructive bronchopulmonary pathology - eight malignant tumours (three adenocarcinomas, three small cell carcinomas, two squamous cell carcinomas), one benign tumour (haemangioma) and one fibroid stenosis which reacted to a tissue adhesive used to close a bronchopleural fistula - underwent virtual bronchoscopy (tab. I).*

*In all cases a single slice spiral CT device (UltraZ, Picker International, Cleveland, Ohio, USA) was used with the following protocol. The patients were positioned on the CT bed in the supine decubitus position. After an initial chest scan the first series of acquisitions were made with the following parameters: 8 mm slice thickness, 8 mm reconstruction index, 1.5 pitch, 120 Kv, 200 mAs. The examination was performed in a single breath hold. After assessment of the transverse axial images and selection of the region of interest, a second series of acquisitions was made with the following parameters: 2 mm slice thickness, 1 mm reconstruction index, 1.3 pitch, 120 Kv, 80 mAs. This second series of acquisitions had a duration of 25-46 s, corresponding to the volume of a body section 10-12 cm in height, and was performed in a*

46 s, corrispondente ad un volume di una sezione corporea con estensione tra 6 e 12 cm in altezza, è stata condotta in apnea inspiratoria, previa iperventilazione del paziente della durata di circa 60 s prima dell'inizio della scansione, in senso caudo-craniale al fine di minimizzare gli artefatti dovuti a eventuali movimenti respiratori e dopo somministrazione di 120 ml di mezzo di contrasto *e.v.* (Iopamiro 370, Bracco, Milano, Italia) iniettato con flusso di 2 ml/s, iniziando la scansione dopo 40 s dall'inizio della somministrazione.

Le immagini acquisite con il secondo pacchetto sono state successivamente trasferite in formato Digital Images Communication and Management (DICOM), attraverso una rete Ethernet a 100 Mb, su una stazione di lavoro O2 Silicon Graphics, equipaggiata con software di elaborazione, con funzione di ricostruzione volumetrica (Voyager), operante in ambiente Unix. Oltre alle immagini assiali sono state realizzate e visualizzate simultaneamente, sul monitor della stazione di lavoro, ricostruzioni multiplanari sui piani sagittale e coronale, e ottenute immagini endoscopiche virtuali con tecnica di ricostruzione di volume e valore soglia di rappresentazione dell'interfaccia aria - mucosa stabilito intorno a -500 UH.

Complessivamente la sala diagnostica è stata impegnata per il tempo medio di 10 minuti, l'operatore ha impiegato un tempo medio di 30 minuti per eseguire l'elaborazione delle immagini, la loro visualizzazione e l'interpretazione dell'endoscopia virtuale.

Le immagini ottenute sono state documentate su pellicola radiografica (formato 35x43) con stampante laser. I risultati della valutazione delle immagini broncoscopiche virtuali sono stati quindi messi a confronto con i reperti dei corrispondenti esami fibrobroncoscopici.

## Risultati

Caso 1, femmina di 59 anni. Mediante fibrobroncoscopia si rilevava l'ostruzione quasi totale del bronco principale sinistro da parte di tessuto parzialmente necrotico, che ostacolava la progressione dell'endoscopio. Dopo biopsia si osservava un sanguinamento di discreta entità. All'esame istologico veniva posta diagnosi di carcinoma epidermoide. Con la broncoscopia virtuale, gravata parzialmente da artefatti a scalino causati dalla trasmissione dei movimenti cardiaci e dell'aorta sulle strutture mediastiniche e sulla trachea, è stato possibile documentare sia l'esatta sede della neoformazione che valutare le vie aeree distalmente ad essa, rilevando la completa infiltrazione del bronco lobare inferiore sinistro e la pervietà del bronco lobare superiore omolaterale (fig. 1).

Caso 2, femmina di 22 anni sottoposta a lobectomia medio-inferiore destra dopo insorgenza di bronchiectasie a seguito dell'ostruzione del bronco intermedio da parte di un corpo estraneo ab ingestis. Dopo l'intervento si era formata una fistola broncopleurica, trattata mediante collante organico, che aveva determinato l'insorgenza di un granuloma reattivo. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava la presenza nel bronco intermedio di materiale necrotico, maleodorante, adeso alle pareti iperemiche e irregolari e veniva eseguita parziale rimozione del collante organico. Con l'endoscopia virtuale e nelle ricostruzioni multiplanari sul piano coronale si è potuto documentare correttamente la riduzione di calibro del bronco intermedio e della cavità infiammatoria sottostante (fig. 2).

*single breath hold following hyperventilation of the patient for about 60 s prior to the beginning of the examination. The acquisitions were performed caudal-cranially, so as to minimise artefacts from possible respiratory movements, after the intravenous administration of 120 ml of contrast material (Iopamiro 370, Bracco, Milan, Italy) injected with a flow rate of 2 ml/s, with the scans beginning 40 s after the beginning of administration.*

*The images acquired with the second series of acquisitions were transferred via a 100 MB Ethernet in Digital Images Communication and Management (DICOM) format to an O2 Silicon Graphics workstation equipped with post-processing software for volumetric reconstructions (Voyager) operating in a Unix system. As well as the axial images, multiplanar reconstructions in sagittal and coronal planes were simultaneously processed and visualised on the workstation monitor, as well as virtual endoscopic images with volume reconstruction techniques and a threshold setting for imaging the air-mucosa interface around -500 HU.*

*Overall the CT room was in use for an average time of 10 minutes, and the technician required on average 30 minutes for the processing, visualisation and interpretation of the virtual endoscopic images.*

*The images obtained were printed on radiographic film (35x43 format) with a laser printer. The results of the assessment of the virtual bronchoscopic images were then compared with the findings of the corresponding fiberoptic bronchoscopy.*

## Results

*Case no. 1, 59-year-old female. The fiberoptic bronchoscopy visualised the almost total occlusion of the main left bronchus by partially necrotic tissue, which hindered the advancement of the endoscope. After biopsy moderate bleeding was observable. The diagnosis after histological examination was epidermoid carcinoma. The virtual bronchoscopy, which was partially affected by stairstepping artefacts caused by the transmission of cardiac movements and by the aorta on the mediastinal structures and the trachea, was able to document the exact location of the tumour as well as assess the airways distal to it, revealing the complete infiltration of the left inferior lobar bronchus and the patency of the homolateral superior lobar bronchus (fig. 1).*

*Case no. 2, 22-year-old female who had undergone a right middle-inferior lobectomy after the onset of bronchiectasis following the obstruction of the intermediate bronchus by an ingested foreign body. After surgery a bronchopleural fistula formed which was treated with an organic adhesive which in turn caused the onset of a reactive granuloma. The fiberoptic bronchoscopy revealed in the intermediate bronchus the presence of malodorous necrotic material adhering to the hyperaemic and irregular walls; partial removal of the organic adhesive was performed. Virtual bronchoscopy and the MPR in the coronal plane were able to correctly identify the reduction in the diameter of the intermediate bronchus and the underlying inflamed cavity (fig. 2).*

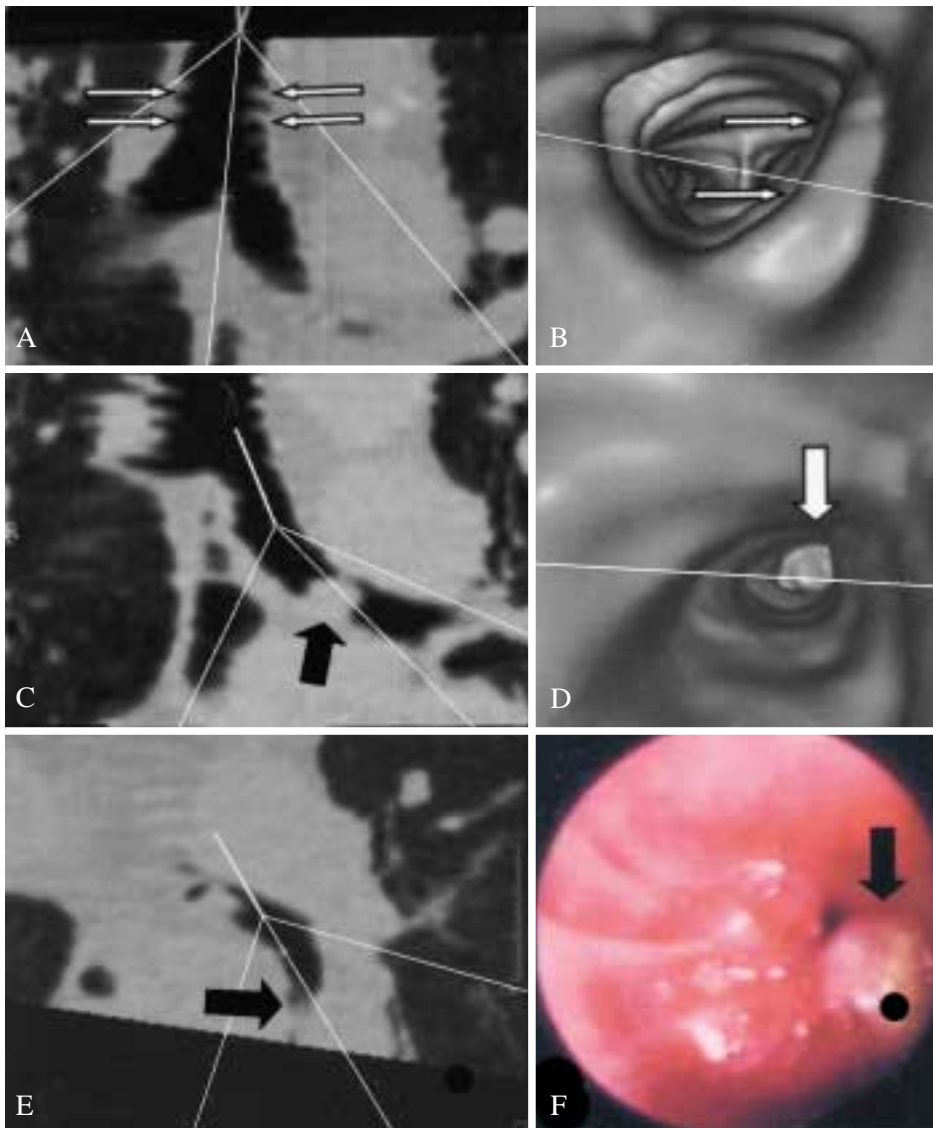


Fig. 1. — A) Nella ricostruzione multiplanare sul piano coronale si apprezzano artefatti a scalino (freccie) causati dai movimenti cardiaci trasmessi alla parete tracheale durante l'acquisizione volumetrica come è ben documentato (B) sull'immagine endoscopica virtuale (freccie), nella quale gli anelli tracheali sono eccessivamente pronunciati. C) Nella ricostruzione multiplanare sul piano coronale si evidenzia la presenza di una neoformazione vegetante nel contesto del bronco principale di sinistra (freccia), che viene ben documentata (D) sull'immagine endoscopica virtuale (freccia), la quale mostra un reperto sovrapponibile (F) all'immagine fibrobroncoscopica (freccia). La broncoscopia virtuale, a differenza della convenzionale, ha permesso di valutare le vie aeree distali alla neoformazione, ben rappresentando il coinvolgimento neoplastico del bronco lobare inferiore che termina a fondo cieco, ben evidente nella (E) ricostruzione multiplanare sul piano coronale (freccia).

A) Coronal multiplanar reformation (MPR) shows pulsation artefacts (arrows), carried over from the left ventricle and from the aorta onto the trachea, as shown in the virtual endoscopy simulation (B) in which pseudo-ring formations (arrows) should not be confused with the natural tracheal ring cartilage. C) Coronal MPR shows a vegetating lesion within the left main bronchus (arrow), as shown in the virtual endoscopy simulation (D) (arrow) and in the corresponding fiberoptic bronchoscopy (F) (arrow). Virtual bronchoscopy enabled the evaluation of the bronchial tree distally to the malignant lesion, also showing the involvement of the left lower bronchus as shown in the coronal MPR (E) (arrow).

Caso 3, maschio di 51 anni. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava infiltrazione della mucosa delle pareti anteriore e laterale della trachea con aspetto vegetante estendentesi sino alla carena, che appariva appiattita e slargata, e al bronco principale sinistro. L'esplorazione non veniva condotta oltre il bronco principale a causa della componente tumorale infiltrante e vegetante. Il campionamento bioptico veniva eseguito più volte in sede carenale e si poneva diagnosi di microcitoma. Con la broncoscopia virtuale è stato possibile identificare l'infiltrazione carenale e del bronco lobare principale e superiore di sinistra e dimostrare la pervietà del bronco lobare inferiore omolaterale (fig. 3).

Caso 4, maschio di 56 anni. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava infiltrazione della mucosa della carena, che appariva iperemica e slargata, e del bronco principale destro. L'esplorazione non veniva condotta oltre il bronco principale destro a causa della notevole componente tumorale infil-

*Case no. 3, 51-year-old male. The fiberoptic bronchoscopy revealed an infiltration of the mucosa of the anterior and lateral walls of the trachea with a vegetative aspect extending to the carina, which presented flat and widened, and the left main bronchus. The examination was not performed beyond the main bronchus owing to the infiltration of the tumour. The biopsy was performed several times at the level of the carina, and small cell carcinoma was diagnosed. The virtual bronchoscopy was able to identify the infiltration of the carina and the superior left main lobar bronchus, and demonstrate the patency of the homolateral inferior lobar bronchus (Fig. 3).*

*Case no. 4, 56-year-old male. The fiberoptic bronchoscopy revealed the infiltration of the mucosa of the carina, which presented hyperaemic and widened, and the right main bronchus. The examination was not performed beyond the right main bronchus owing to the infiltration of the tumour.*

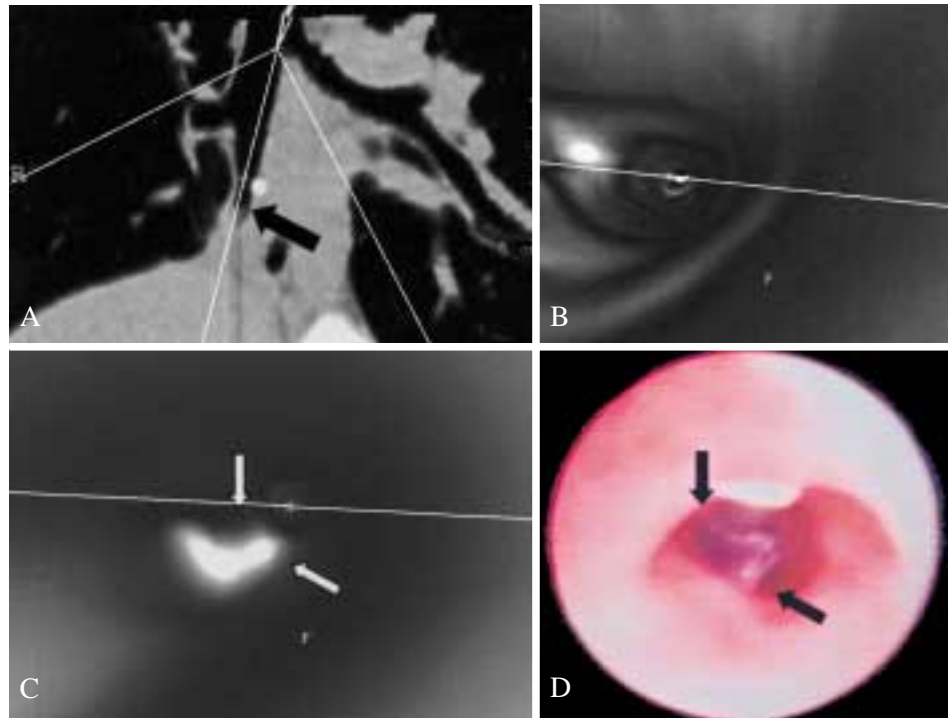


Fig. 2. — A) Nella ricostruzione multiplanare sul piano coronale si evidenzia brusca riduzione di calibro del bronco intermedio (freccia), ben documentata nell'immagine endoscopica virtuale (B); l'endoscopia virtuale (C) mostra l'esatta sede e l'entità della stenosi (freccie) con elevata corrispondenza con l'immagine fibrobroncoscopica (D - frecce).

A) Coronal MPR shows the intermediary bronchus stenosis (arrow), that is well depicted in the virtual endoscopy simulation (B); at a lower level virtual endoscopy (C) demonstrates the size and the degree of the stenosis appreciable in the corresponding fiberoptic bronchoscopy (D) (arrows).

trante e vegetante. Il campionamento bioptico veniva eseguito più volte in sede carenale e si poneva diagnosi di microcitoma. Con la broncoscopia virtuale è stato possibile identificare l'infiltrazione carenale e del bronco principale destro e intermedio, completamente stenosati, e dimostrare la pervietà del bronco lobare superiore.

Caso 5, maschio di 60 anni. Alla fibrobroncoscopia l'imbocco del bronco principale di destra risultava occupato e ostruito da un massa vegetante, a superficie liscia, di colore rossastro, non infiltrante le pareti circostanti. Dopo campionamento bioptico veniva posta diagnosi di angioma bronchiale. Con broncoscopia virtuale si è ben documentata la localizzazione della lesione, della quale grazie all'ausilio delle immagini assiali e multiplanari, è stato possibile stabilire l'esatta base d'impianto e l'estensione cranio-caudale (fig. 4).

Caso 6, maschio di 56 anni. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava iperplasia vegetante mucosa, a superficie necrotica, occupante interamente il lume del bronco intermedio, con discreto sanguinamento dopo campionamento bioptico. Veniva posta diagnosi istologica di adenocarcinoma. Il quadro broncoscopico virtuale non si è discostato da quello fibrobroncoscopico ed è stato possibile documentare la pervietà dei bronchi segmentari e subsegmentari originanti dal bronco lobare superiore destro (fig. 5).

Caso 7, maschio di 49 anni. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava vegetazione mucosa, parzialmente necrotica, occupante interamente il lume del bronco principale destro, moderatamente sanguinante dopo campionamento bioptico. Veniva posta diagnosi istologica di adenocarcinoma. Il quadro broncoscopico virtuale è risultato sovrapponibile a quello fibrobroncoscopico ed è stato possibile dimostrare l'infiltrazione

The biopsy was performed several times at the level of the carina, and small cell carcinoma was diagnosed. The virtual bronchoscopy was able to identify the infiltration of the carina and the right main and intermediate bronchi, which were completely occluded, and demonstrate the patency of the superior lobar bronchus.

Case no. 5, 60-year-old male. The fiberoptic bronchoscopy revealed the opening of the right main bronchus to be obstructed by a reddish-coloured, smooth-surfaced vegetative mass which had not infiltrated the surrounding walls. After biopsy bronchial angioma was diagnosed. The virtual bronchoscopy clearly identified the location of the lesion, and thanks to the aid of axial and multiplanar images was able to establish its precise base and cranial-caudal extension (Fig. 4).

Case no. 6, 56-year-old male. The fiberoptic bronchoscopy revealed mucous vegetative hyperplasia, with a necrotic surface, entirely occupying the lumen of the intermediate bronchus, with moderate bleeding following biopsy. Histological findings resulted in the diagnosis of adenocarcinoma. The findings of the virtual bronchoscopy did not differ from those of the fiberoptic bronchoscopy, although it was possible to identify the patency of the segmental and subsegmental bronchi originating from the right superior lobar bronchus (Fig. 5).

Case no. 7, 49-year-old male. The fiberoptic bronchoscopy revealed a partially necrotic mucous vegetation entirely occupying the lumen of the right main bronchus, with moderate bleeding after biopsy. Histological findings resulted in the diagnosis of adenocarcinoma. The findings of the virtual bronchoscopy did not differ from those of the fiberoptic bronchoscopy, although it was possible to identify the infil-

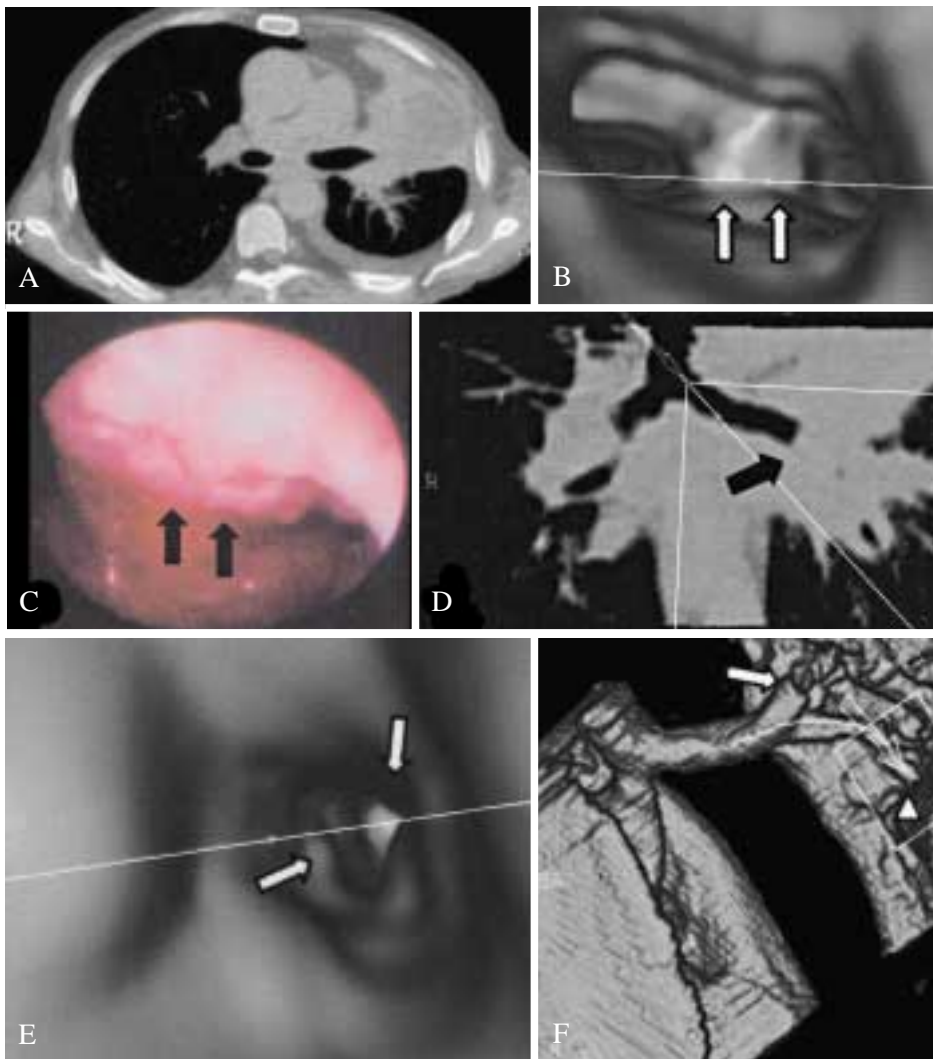


Fig. 3. — A) Nell'immagine assiale TC con mezzo di contrasto e.v. si apprezza una neoformazione solida con ampia componente necrotica, in sede lobare superiore sinistra che causa completa stenosi del bronco lobare superiore. B) L'immagine endoscopica virtuale mostra lo slargamento della carena, segno di infiltrazione neoplastica, con elevata corrispondenza con (C) l'immagine fibrobroncoscopica (freccie). D, E) L'immagine multiplanare sul piano coronale e quella endoscopica virtuale documentano l'infiltrazione del bronco principale e la stenosi tumorale del bronco lobare superiore sinistro (freccie). F) L'immagine 3D conferma l'infiltrazione del bronco lobare superiore sinistro (freccia) e dimostra la pervietà del bronco lobare inferiore omolaterale (testa di freccia).

A) Contrast enhanced axial CT image shows a solid and necrotic mass in the left upper lobe that causes upper bronchus stenosis. B) Virtual endoscopy shows the infiltration of the carina as it is depicted in the corresponding fiberoptic bronchoscopy (C) (arrows). D-E) Coronal MPR and virtual endoscopy show left main bronchus infiltration and left upper bronchus stenosis (-arrows). F) 3D image shows involvement of the left upper bronchus and patency of the left lower bronchus.

del bronco lobare superiore destro e la pervietà del bronco intermedio e delle sue diramazioni bronchiali.

Caso 8, femmina di 52 anni. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava vegetazione solida, a superficie irregolare, occupante il lume del bronco principale destro, con discreto sanguinamento dopo campionamento biptico. Veniva posta diagnosi istologica di microcitoma. Il quadro broncoscopico virtuale è risultato sovrapponibile a quello fibrobroncoscopico e ha permesso di stabilire la pervietà dei bronchi segmentari e subsegmentari oltre la stenosi bronchiale.

Caso 9, femmina di 56 anni. Alla fibrobroncoscopia si evidenziava vegetazione, a superficie necrotica, occupante il lume del bronco lobare superiore destro, sanguinante dopo campionamento biptico. Veniva posta diagnosi istologica di adenocarcinoma. Il quadro broncoscopico virtuale non si è discostato da quello fibrobroncoscopico ed è stato possibile documentare l'esatta sede della neoplasia, e, con l'ausilio delle ricostruzioni multiplanari, il grado di infiltrazione bronchiale.

Caso 10, maschio di 46 anni. Mediante fibrobroncoscopia

*tration of the right superior lobar bronchus and the patency of the intermediate bronchus and its branches.*

*Case no. 8, 53-year-old female. The fiberoptic bronchoscopy revealed a solid vegetation with irregular surfaces occupying the lumen of the right main bronchus, with moderate bleeding after biopsy. Histological findings resulted in the diagnosis of small cell carcinoma. The findings of the virtual bronchoscopy did not differ from those of the fiberoptic bronchoscopy, although it was possible to identify the patency of the segmental and subsegmental bronchi beyond the bronchial stenosis.*

*Case no. 9, 56-year-old female. The fiberoptic bronchoscopy revealed a vegetation with necrotic surfaces occupying the lumen of the right superior lobar bronchus, with bleeding after biopsy. Histological findings resulted in a diagnosis of adenocarcinoma. The findings of the virtual bronchoscopy did not differ from those of the fiberoptic bronchoscopy, although it was possible to identify the precise location of the tumour, and, with the aid of MPR, the degree of bronchial infiltration.*

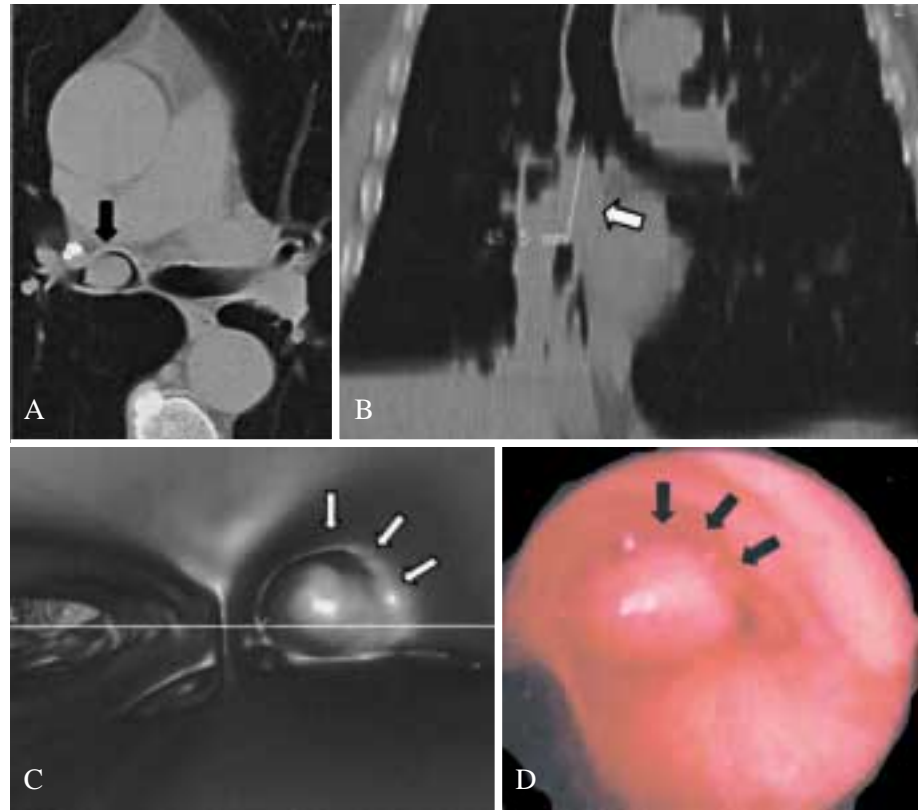


Fig. 4. — A) L'immagine TC assiale con mezzo di contrasto e.v. e l'immagine multiplanare sul piano coronale (B) evidenziano una formazione solida omogenea rotondeggiante, a margini netti, che causa la quasi completa stenosi del bronco intermedio (freccia nera) all'interno del quale si estende in senso cranio-caudale per 4,5 cm, con base di impianto sulla sua parete mediale (freccia bianca). È possibile osservare l'elevata corrispondenza (freccie) tra l'immagine endoscopica virtuale (C) e quella fibrobroncoscopica (D).

A) Contrast enhanced axial CT image and (B) coronal MPR show a well defined round solid lesion causing high grade stenosis of the intermediary bronchus (black arrow), extending for 4.5 cm and with implant base on its medial wall (white arrow). The high correspondence (arrows) between the virtual (C) and the conventional bronchoscopy findings (D) is also observable.

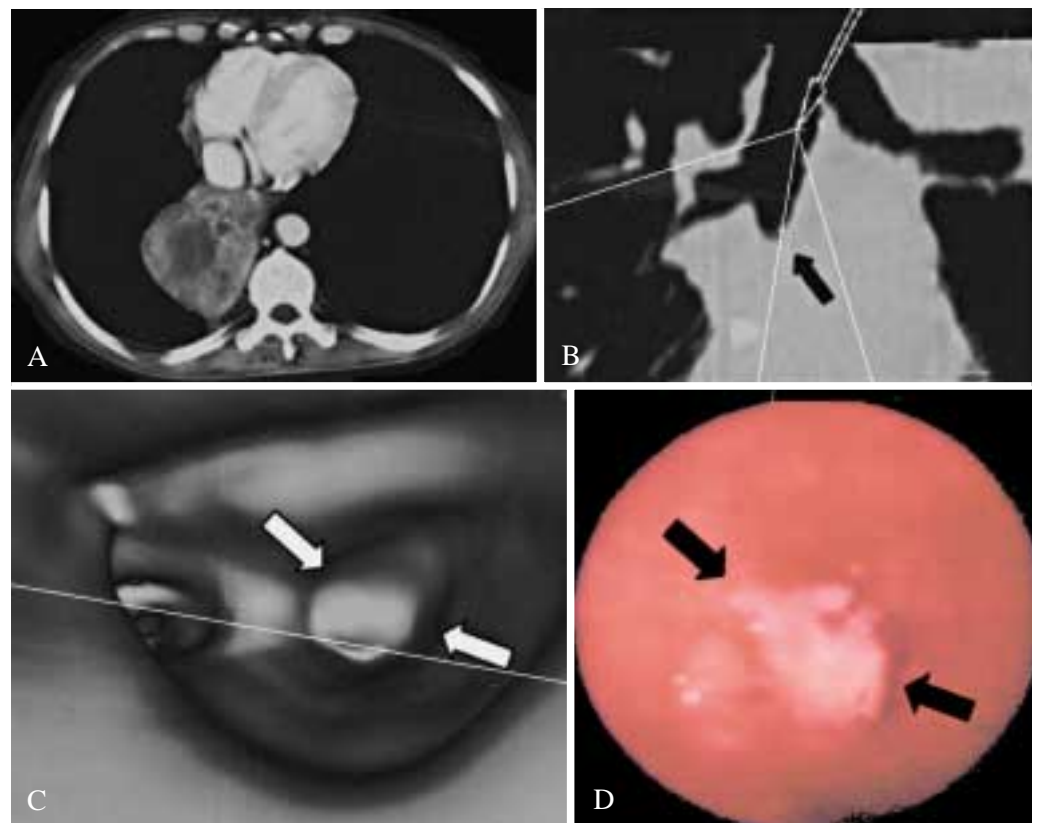


Fig. 5. — A) Nell'immagine assiale TC con mezzo di contrasto e.v. si apprezza una neoformazione solido-disomogenea, vascolarizzata, in sede lobare inferiore destra. L'indagine ha consentito di documentare la completa stenosi del bronco intermedio ben rappresentata nell'immagine multiplanare sul piano coronale (B - freccia) e in quella endoscopica virtuale (C - frecce) che trova inoltre elevata corrispondenza con l'immagine fibrobroncoscopica (D - frecce).

Contrast enhanced axial CT image shows an inhomogeneous hyperenhancing solid tumour in the right lower lobe. The study shows the complete stenosis of the intermediary bronchus as depicted in the coronal MPR (B) (arrow) and in the virtual endoscopy image (C) (arrows) which is very similar to the conventional bronchoscopy image (D) (arrow).

si rilevava l'ostruzione quasi totale del bronco principale destro da parte di tessuto parzialmente necrotico, che ostacolava la progressione dell'endoscopio. Dopo biopsia si osservava un lieve sanguinamento. All'esame istologico veniva posta diagnosi di carcinoma epidermoide. Con la broncoscopia virtuale è stato possibile visualizzare l'esatta sede della neoformazione e valutare le vie aeree distalmente ad essa, rilevando la completa pervietà dei bronchi lobari.

## Discussione

La TC spirale monostrato, più recentemente la TC multi-strato (TCMS), hanno aperto interessanti prospettive nell'interpretazione di peculiari aspetti della patologia broncopolmonare, con l'ausilio dei software di ricostruzione e lo sviluppo della tecnica endoscopica virtuale [1]. Tuttavia le dimensioni delle lesioni bronchiali che costituiscono l'oggetto dello studio broncoscopico virtuale possono divenire elemento fortemente limitante quando si disponga di una TC spirale monostrato. Infatti è possibile con tale apparecchiatura, l'acquisizione volumetrica, a strato sottile, con pitch basso e compatibilmente con l'apnea del paziente, di sezioni corporee comprese tra 6 e 12 cm, con la conseguente minore fruibilità delle potenzialità applicative della tecnica broncoscopica virtuale. Di contro qualora si desideri valutare strutture che si estendano maggiormente sarà opportuno utilizzare delle scansioni di spessore superiore al mm, con la conseguente riduzione di risoluzione spaziale sull'asse longitudinale o z. Quindi lo svolgimento di un'indagine endoscopica virtuale mediante TC spirale monostrato non può che costituire, a nostro avviso, la seconda parte di uno studio bifasico. Nella prima fase si effettua lo studio dell'intero torace, dagli apici polmonari al diaframma, con sezioni di 5-8 mm di spessore, che consente di selezionare il livello in cui nella seconda fase si può procedere con un'acquisizione con collimazione e pitch ridotti, finalizzata alla ricostruzione delle immagini endoscopiche virtuali [5-10].

Ciò sembrerebbe superato con l'utilizzo della TCMS, che rappresenta un'evoluzione della TC spirale, con importanti innovazioni per quel che riguarda la composizione dei detectori; soprattutto l'utilizzo di multiple file di detectori invece che di un'unica fila, ha aumentato di molto non solo l'accuratezza diagnostica a livello toraco-addominale ma anche la qualità delle immagini e delle ricostruzioni tridimensionali e di endoscopia virtuale, grazie alla capacità che hanno queste macchine di acquisire da 4 a 8 a 16 strati per rotazione con velocità del tubo pari o inferiore 0,5 s, consentendo così di ottenere scansioni da quattro a otto a sedici volte più veloci rispetto alla TC spirale monostrato insieme alla possibilità di studiare grandi volumi con spessore di strato sottile.

I vantaggi che ne derivano sono molteplici, in particolare la maggior risoluzione temporale, legata alla diminuzione del tempo d'acquisizione per singola rotazione, con una riduzione degli artefatti legati a movimenti volontari e involontari (peristalsi, respirazione, ecc.); altro vantaggio è il minor tempo di acquisizione volumetrica. Inoltre, grazie alla possibilità di effettuare retroricostruzioni, la TCMS offre l'innegabile vantaggio che da un'unica acquisizione si possono ricavare tutte le immagini utili per la ricostruzione tridimensionale delle strutture toraco-polmonari normali o patologiche, quale

*Case no. 10, 46-year-old male. The fiberoptic bronchoscopy revealed the almost total obstruction of the right main bronchus by partially necrotic tissue which obstructed the advancement of the endoscope. After biopsy slight bleeding was observable. Histological findings resulted in the diagnosis of epidermoid carcinoma. The virtual bronchoscopy was able to identify the precise location of the tumour and assess the airways distal to it, revealing the complete patency of the lobar bronchi.*

## Discussion

*Single slice spiral CT, and more recently multislice CT (MSCT), have opened up an interesting field of study in the interpretation of peculiar aspect of bronchopulmonary pathologies, together with the aid of post processing software and the development of virtual endoscopy [1]. Nonetheless, the size of the bronchial lesions which constitute the object of the virtual bronchoscopic study can prove to be a highly limiting factor with regard to a single slice spiral CT device. Indeed, the volumetric acquisition using such devices, with thin slices and a low pitch compatible with the patient's breath hold, of body sections between 6 and 12 cm is only possible with a reduction in the potential applications of virtual bronchoscopy. On the other hand, the assessment of structures which extend further will require the use of scans with a slice thickness greater than a millimetre, with a consequent reduction in spatial resolution along the longitudinal or z axis. In our opinion, therefore, a virtual endoscopic study performed with single slice spiral CT cannot be other than the second part of a dual-phase study. In the first phase, the study of the entire chest is performed, from the apices of the lungs to the diaphragm with a slice thickness of 5-8 mm. This enables the selection of the level in which the second phase can be performed, with a reduced slice thickness and pitch, with the aim of performing reconstruction of virtual endoscopic images [5-10].*

*This situation appears to have been superseded with the advent of MSCT, which is a development on spiral CT with important innovations with regard to the composition of the detectors. In particular, the use of multiple lines of detectors instead of a single line has increased not only the diagnostic accuracy at the thoracic-abdominal level, but also the quality of the images, the three-dimensional reconstructions and the virtual endoscopy. This is due to the ability of these devices to acquire four, eight or sixteen slices per rotation with a tube speed equal to or less than 0.5 s, which enables scans to be acquired four, eight or sixteen times faster than single slice spiral CT together with the possibility of studying greater volumes with thinner slices.*

*The advantages of this system are numerous, starting with the increased temporal resolution, linked to the reduced acquisition time for each individual rotation, with a reduction in artefacts caused by voluntary and involuntary movements (peristalsis, respiration, etc.). Another advantage is the reduced volumetric acquisition time. In addition, thanks to the post processing capabilities, MSCT offers the undeniable advantage of enabling all of the possible images required*

che sia la direzione in cui sono disposte: in tal modo è possibile evitare una duplice esposizione ai raggi X [11].

L'impostazione dei parametri più appropriati per un'ottimale rappresentazione in broncoscopia virtuale con TC spirale monostrato diventa quindi elemento critico e, a nostra conoscenza, non è stata ancora standardizzata. Essa dipende, tra l'altro, dalle caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura impiegata, dalla natura e dalla topografia delle lesioni, dalla collaborazione del paziente e dall'esperienza dell'operatore. Uno dei problemi della metodica broncoscopica virtuale con TC spirale monostrato è rappresentato dagli artefatti dovuti al movimento cardiaco, che si trasmette alle strutture viciniori ed in particolare alla lingula. Ma le strutture che maggiormente subiscono questo tipo di artefatti sono la trachea e i bronchi di calibro maggiore, a causa delle pulsazioni aortiche. Nella ricostruzione endoscopica tali artefatti vengono raffigurati con un disegno interno simile a quello degli anelli cartilaginei tracheali: da questi si possono però distinguere in quanto sono disposti perpendicolarmente alla direzione della sezione e poiché si rilevano anche oltre la biforcazione tracheale, nella superficie interna dei bronchi [12-15].

Un ruolo chiave nella creazione di immagini broncoscopiche virtuali è correlato alla ricostruzione dell'interfaccia aria-mucosa. Oggetto del nostro studio è stata anche la scelta di un ottimale valore soglia di rappresentazione dell'interfaccia aria-mucosa, che in rapporto alla nostra esperienza e ai dati rilevati dalla letteratura, è stato di  $-500$  UH [12, 16]. La adeguata selezione di questo parametro assume una notevole rilevanza in considerazione del fatto che le dimensioni apparenti di una lesione e la sua stessa morfologia, variano nella rappresentazione endoscopica virtuale, in funzione del valore soglia prescelto [17, 18]. In particolare quanto più il valore è negativo, tanto più le dimensioni della lesione risulteranno sovrastimate. Inoltre queste variazioni dimensionali non sono proporzionali in tutte le direzioni, infatti le lesioni appaiono maggiormente deformate sull'asse cranio-caudale (asse  $z$ ) piuttosto che in quello trasversale o sagittale. Così lesioni che appaiono sferiche a  $-500$  UH, non avranno più questa conformazione a  $-600$  o  $-700$  UH.

La possibilità di percezione delle lesioni molto piccole dipende strettamente dal pitch e dalla collimazione, in un rapporto ormai noto, e cioè quanto più bassi tanto più alta [17]. Nel nostro studio è stato scelto un protocollo che prevedeva una collimazione pari a 2 mm associata ad un pitch basso (1,3), e ad un basso mAs (80 mAs) sia per motivi radioprotezionistici che compatibilmente con le caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura in nostra dotazione. A nostro avviso ne è risultata una combinazione meno gravata dal rischio di deformazione o sovra-sottostima delle dimensioni delle lesioni e allo stesso tempo con dose di esposizione contenuta per il paziente, anche se non sono state effettuate misurazioni dosimetriche su fantocci calibrati in quanto non oggetto del nostro studio. E' comunque noto che a parità di kilovoltaggio, la dose al paziente è direttamente proporzionale al valore dei mAs utilizzato e, inoltre, che la riduzione dei mAs non è fattore limitante l'affidabilità diagnostica per lo studio del parenchima polmonare [19]. Per confronto ed esempio, protocolli riportati nella letteratura nazionale con apparecchiature diverse prevedevano l'impiego di 125 mAs a parità di altri parametri utilizzati [20]. Tuttavia nonostante l'ottimizzazione dei parametri di scansione, ricostruzione e visualizzazione finalizzata alla ridu-

*for the three dimensional reconstruction of normal or pathological thoracic-pulmonary structures to be obtained in a single acquisition, regardless of the direction in which they lie. In this way a dual exposure to radiation can be avoided [11].*

*Setting the most appropriate parameters for optimal imaging in virtual bronchoscopy with single slice spiral CT is therefore a critical element, and to our understanding the process has not yet been standardised. It depends on, among other things, the technical characteristics of the device used, the nature and topography of the lesions, the cooperation of the patient and the experience of the technician. One of the problems of the virtual bronchoscopy technique with single slice spiral CT is the artefacts due to cardiac movement, which is transmitted to the surrounding structures and in particular to the lingula. The structures which suffer the most from this type of artefact, however, are the trachea and the large-diameter bronchi, owing to the pulsations of the aorta. In the endoscopic reconstructions these artefacts appear with an internal design similar to that of the cartilaginous rings of the trachea. They can be distinguished from the latter, however, in that they lie perpendicular to the direction of the section and are therefore also visible beyond the tracheal bifurcation, in the internal surface of the bronchi [12-15].*

*A key role in the creation of virtual bronchoscopic images is related to the reconstruction of the air-mucosa interface. The aim of our study was also to identify the optimal threshold level for imaging the air-mucosa interface, which based on our experience and the data reported in the literature is  $-500$  HU [12, 16]. The appropriate selection of this parameter takes on particular importance owing to the fact that the apparent size of a lesion and its morphology vary in virtual endoscopic imaging according to the predetermined threshold level [17, 18]. The more negative the value is, the greater will be the overestimation of the size of the lesion. In addition, these variations in size are not proportional in all directions: lesions appear more deformed in the cranial-caudal axis ( $z$  axis) than they do in the transverse or sagittal axes. Therefore, lesions which appear spherical at  $-500$  HU will not have this shape at  $-600$  or  $-700$  HU.*

*The possibility of imaging very small lesions depends largely on the pitch and the slice thickness in a well known relationship: the lower the pitch and slice thickness, the greater the visibility of the lesions [17]. In our study we chose a protocol with a 2 mm slice thickness and a low pitch (1.3), as well as a low mAs (80 mAs), both for reasons of radiation protection and compatibility with the device used by us. In our opinion, this combination is less likely to run the risk of deforming or overestimating the size of the lesions, while at the same time keeping radiation exposure to a minimum, even though dose measurements on calibrated phantoms were not performed as this was not the aim of our study. It is nonetheless known that at the same kilovoltage, the radiation dose to the patient is directly proportional to the value of mAs used, and that a reduction mAs does not affect the diagnostic reliability for the study of the pulmonary parenchyma [19]. By way of comparison, protocols documented in the Italian literature with different devices use 125 mAs with the other parameters the same [20]. However,*

zione degli artefatti e al miglioramento della definizione dell'immagine, si avrà sempre una certa distorsione dell'immagine correlata all'effetto della rappresentazione prospettica. Da ciò deriva come la misura delle dimensioni di una lesione sia maggiormente attendibile sulle ricostruzioni assiali trasverse o multiplanari (MPR) bidimensionali che non sulle ricostruzioni broncoscopiche virtuali.

Un altro importante impiego delle immagini di ricostruzione multiplanare è dato dal fatto che la differenziazione tra stenosi causate da masse a sviluppo endobronchiale o sottomucoso o da compressioni ab estrinseci non è possibile con il solo apporto di informazioni dato dalle immagini di broncoscopia virtuale. La valutazione dei tessuti vicini e la stima dell'estensione in lunghezza di una stenosi (fig. 4) richiede la simultanea visualizzazione di immagini di ricostruzione multiplanare [21].

La broncoscopia virtuale trova oggi parecchie applicazioni in campo diagnostico con particolare rilievo nel campo della diagnosi e della stadiazione delle neoplasie broncogene. Anche in Italia sono state condotte esperienze sul medesimo tema e i principali limiti riscontrati secondo gli autori sono stati l'indaginosità della procedura e la difficoltà di standardizzarla così da ottenere risultati riproducibili e da limitare la variabilità intra-soggetto [20, 22, 23]. In particolare altri limiti sono stati individuati negli effetti di volume parziale, nella difficoltà della visualizzazione di diramazioni bronchiali orientate su piani complessi, e nel problema della diagnosi differenziale tra lesioni vegetanti o irregolarità della mucosa, da una parte, e pseudolesioni endoluminali generate dalla presenza di muco, secrezioni e materiali di sfaldamento della mucosa (che determinano effetti di volume parziale) dall'altra.

## Conclusioni

In conclusione, da quanto sopra esposto, si evince come sia critica l'opportuna selezione dei parametri per la realizzazione delle immagini broncoscopiche virtuali con TC spirale monostrato in funzione dell'ottimizzazione della tecnica come nel protocollo da noi proposto, che mira a stabilire un corretto equilibrio tra le esigenze di qualità delle immagini e la dose di esposizione.

Non si è entrati nel merito dell'utilità della metodica broncoscopica virtuale, già descritta e ben nota in letteratura, in quanto si è voluta piuttosto focalizzare l'attenzione sulla scelta di un protocollo che possa essere utilizzato da chi lavora con apparecchiature TC similari alla nostra e intenda avvicinarsi alla broncoscopia virtuale in modo ottimale e con risultati soddisfacenti.

## Bibliografia/References

1) Rogalla P, Meiri N: Virtual endoscopy of the trachea and bronchi. In: Rogalla P, Terwisscha van Scheltinga J, Hamm B (eds): Virtual endoscopy and related 3D techniques, pp. 45-75, Springer Verlag, Berlin, 2001.  
2) Rogalla P: Virtual endoscopy of the trachea and bronchi. In: Rogalla P, Terwisscha van Scheltinga J, Hamm B (eds): Virtual endoscopy and related 3D techniques, p. 230, Springer Verlag, Berlin, 2001.

3) Pavone P, Laghi A, Panebianco V *et al.*: Endoscopia virtuale con tecnica di ricostruzione volumetrica: aspetti tecnici. *Radiol Med* 95: 618-623, 1998.  
4) Vining DJ: Virtual endoscopy: is it reality? *Radiology* 200: 30-31, 1996.  
5) Costello P: Spiral CT of the thorax. *Semin Ultrasound CT MR* 15: 90-106, 1994.  
6) Naidich DP, Gruden JF, Mc Guinness G *et al.*: Volumetric (helical/spiral) CT (VCT) of the airways. *J Thorax Imaging* 12: 11-28, 1997.  
7) Katz M, Konen E, Rozenman J *et al.*:

*despite the optimisation of scan, reconstruction and visualisation parameters aimed at reducing artefacts and improving image definition, there will always be a certain amount of image distortion linked to the effect of image perspective. In fact the measurement of the size of a lesion is more reliable with two dimensional multiplanar or transverse axial reconstructions than with virtual bronchoscopic reconstructions.*

*Another important use of MPR is that the differentiation between stenosis caused by masses developed within the bronchus or the submucosal layer or caused by extrinsic compression is not possible with the information supplied by virtual bronchoscopic images alone. The assessment of the surrounding tissue and the estimate of the extension in length of the stenosis (Fig. 4) requires the simultaneous visualisation of MPR images [21].*

*Virtual bronchoscopy is used today for a variety of applications in the diagnostic field, particularly in the diagnosis and staging of bronchogenic carcinoma. Studies of this kind have also been performed in Italy, and according to the authors its main limitations have been the technical difficulty of the procedure and the problem of standardising it so as to obtain reproducible results and limit intra-subject variability [20, 22, 23]. More specifically, other limitations have also been identified in relation to partial volume effects, the difficulty in visualising bronchial branches oriented in complex planes, and the problem of differential diagnosis between vegetative lesions or irregularities in the mucosa on the one hand, and intraluminal pseudolesions generated by the presence of mucous, secretions and flaky material of the mucosa (which cause partial volume effects) on the other.*

## Conclusions

*From the above it is clear that the appropriate selection of the parameters for obtaining virtual bronchoscopic images with single slice spiral CT with the aim of optimising the techniques is crucial. This is shown in the protocol proposed by us, which aims at establishing the correct balance between the needs of image quality and the dose of radiation exposure.*

*The usefulness of virtual bronchoscopy, which has already been described in the literature, was not considered, in that our aim was to focus attention on the choice of a protocol which can be used by whoever works with a CT device similar to our own and wishes to approach virtual bronchoscopy in an optimal manner with satisfying results.*

Spiral CT and 3D image reconstructions of vascular rings and associated tracheobronchial anomalies. *J Comput Assist Tomogr* 19: 564-568, 1995.  
8) Lacrosse M, Trigaux JP, Van Beers BE *et al.*: 3D spiral CT of the tracheobronchial tree. *J Comput Assist Tomogr* 19: 341-347, 1995.  
9) Hopper KD, Pierantozzi D, Potok PS *et al.*: The quality of 3D reconstructions from 1.0 and 1.5 pitch helical and conventional CT. *J Comput Assist Tomogr* 20: 841-847, 1996.  
10) Naidich DP: Helical computed tomo-

graphy of the thorax. Clinical applications. *Radiol Clin North Am* 32: 759-774, 1994.  
11) Klingenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T *et al.*: Subsecond multi-slice computer tomography: basics and applications. *Eur J Radiol* 31: 110-124, 1999.  
12) Mc Adams HP, Shahidi R, Argiro V *et al.*: Clinical evaluation of perspective surface and volume rendering techniques for performing virtual bronchoscopy. In: Lemke HU, Vannier NW, Inamura K, Barman AG (eds): Computer assisted radiology, pp. 73-78, Elsevier, Amsterdam, 1996.

- 13) Udupa JK, Hung HM, Chuang KS: Surface and volume rendering in three-dimensional imaging: a comparison. *J Digit Imaging* 4: 159-168, 1991.
- 14) Terwisscha van Scheltinga J: Technical background. In: Rogalla P, Terwisscha van Scheltinga J, Hamm B (eds): *Virtual endoscopy and related 3D techniques*, pp. 1-16, Springer Verlag, Berlin, 2001.
- 15) Summers RM, Feng DH, Holland SM *et al*: Virtual bronchoscopy: segmentation methods for reality display. *Radiology* 200: 857-862, 1996.
- 16) Hopper KD, Iyriboz AT, Wise SW *et al*: Mucosal detail at CT virtual reality: surface versus volume rendering. *Radiology* 214: 517-522, 2000.
- 17) Summers RM, Shaw DJ, Shelhamer JH: CT virtual bronchoscopy of simulated endobronchial lesions: effect of scanning, reconstruction, and display settings and potential pitfalls. *AJR* 170: 947-950, 1998.
- 18) Ferretti GR, Vining DJ, Knoplioch J *et al*: Tracheobronchial tree: three dimensional spiral CT with bronchoscopic perspective. *J Comput Assist Tomogr* 20: 777-781, 1996.
- 19) Ravenel JG, Scalzetti EM, Huda W *et al*: Radiation exposure and image quality in chest CT examinations. *AJR* 177: 279-284, 2001.
- 20) Polverosi R, Vigo M, Baron S *et al*: Valutazione delle lesioni tracheo-bronchiali con TC spirale. Confronto tra endoscopia virtuale e broncoscopia. *Radiol Med* 102: 313-319, 2001.
- 21) Ferretti GR, Knoplioch J, Bricault I *et al*: Central airway stenoses: preliminary results of spiral CT generated virtual bronchoscopy simulations in 29 patients. *Eur Radiol* 7: 854-859, 1997.
- 22) Salvolini L, Gasparini S, Balzelli S *et al*: Broncoscopia virtuale. Correlazione tra simulazione endoscopica e reperti bronoscopici. *Radiol Med* 94: 454-462, 1997.
- 23) Aliberti C, Benetti S, Benea G: Carcinoma bronchiale studiato mediante Tomografia Computerizzata spirale con ricostruzioni tridimensionali ed endoscopia virtuale. Un caso. *Radiol Med* 100: 71-73, 2000.

Dott. M. Galia  
Via Perseo, 49  
90149 Palermo PA  
E-mail: mgalia@sirm.org