

Alterazioni non neoplastiche della trachea: paragone tra broncoscopia virtuale mediante TC e broncoscopia a fibre ottiche

Giacomo LUCCICHENTI - Filippo CADEMARTIRI
Luigi FECCI* - Paolo CARBOGNANI**
Michele RUSCA** - Paolo PAVONE

Scopo. Confrontare i reperti di broncoscopia tradizionale con quelli di broncoscopia virtuale nella patologia non-neoplastica delle alte vie aeree.

Materiale e metodi. Dodici pazienti con stenosi non-neoplastiche e fistole tracheo-esofagee diagnosticate mediante broncoscopia tradizionale sono stati sottoposti a TC spirale con il seguente protocollo: collimazione/avanzamento/incremento: 3 mm/6 mm/1 mm dalla laringe alla carena. Le immagini sono state inviate ad una stazione di lavoro dedicata equipaggiata con software per ricostruzioni 3D ed endoscopia virtuale. Le caratteristiche delle lesioni esaminate sono state confrontate nei due esami dai rispettivi esecutori.

Risultati. In tutti i casi esaminati le caratteristiche riferite dall'esame di endoscopia virtuale sono state confermate dall'esame broncoscopico. Le misure delle lesioni sono state effettuate agevolmente sulle immagini ricostruite con tecnica multiplanare mentre la broncoscopia ha permesso solo una valutazione qualitativa. L'esame endoscopico virtuale non ha fornito alcuna caratteristica per quanto riguarda il colore e l'aspetto della mucosa respiratoria. La deglutizione e la respirazione non hanno determinato artefatti significativi nella generazione delle immagini di endoscopia virtuale.

Conclusioni. La broncoscopia virtuale è una tecnica utile per la valutazione preoperatoria e per il controllo a distanza della patologia non-neoplastica delle alte vie aeree.

PAROLE CHIAVE: TC spirale, trachea - Immagini tridimensionali - Broncoscopia, virtuale.

Non-neoplastic tracheal lesions: comparison between virtual CT endoscopy and fiberoptic bronchoscopy

Purpose. To compare virtual endoscopy of the upper airways with fiberoptic bronchoscopic examination in patients affected by non-neoplastic inflammatory disease of the trachea.

Materials and methods. Twelve patients with non-neoplastic tracheal stenosis or with tracheo-oesophageal fistula underwent a fiberoptic endoscopy and a spiral CT examination with the following protocol: collimation/table feed/reconstruction increment 3 mm/6 mm/1 mm from the larynx to the carina/bronchial septum. Images were sent to a dedicated workstation equipped with a software allowing generation of 3D reconstructions and virtual endoscopic images. Lesion features were compared in the two examinations.

Results. In all cases the lesions features visualized with virtual display modality were confirmed by conventional endoscopy. Measurements were easily made on the 3D MPR images while conventional endoscopy allowed only a qualitative assessment of the lesion. In no cases did virtual endoscopy provide information on the mucosa appearance. Swallowing and breathing never caused significant artifacts during the 3D post processing.

Conclusion. Virtual bronchoscopy is a useful technique for preoperative evaluation and for the follow-up of patients with non-neoplastic inflammatory disease of the upper airways.

KEY WORDS: spiral CT, trachea - 3D imaging - Virtual bronchoscopy.

Introduzione

Le alterazioni del lume e della parete della trachea possono essere distinte sulla base di un criterio etiopatogenetico e terapeutico in due categorie.

La prima comprende la patologia neoplastica primitiva o secondaria. Essa richiede, quando possibile, un approccio chirurgico in grado di assicurare la radicalità oncologica.

La seconda comprende le lesioni non neoplastiche: i processi infiammatori cronici intrinseci o estrinseci e le compressioni «ab estrinseco», o le lesioni iatrogene come ad esempio quelle derivanti da procedure di intubazione [1, 2]. In queste patologie l'intervento terapeutico può essere limitato alla parete e/o alla risoluzione del problema estrinseco. Le manifestazioni clinicamente rilevanti di questi processi sono le stenosi o le deiscenze della parete tracheale con formazione di tramiti fistolosi o di brecce tracheo-esofagee.

Introduction

Alterations of tracheal lumen and walls may be subdivided into two categories according to etiology and treatment.

The first category includes primary or secondary neoplastic lesions. Whenever possible, these lesions require surgical treatment capable of ensuring tumour eradication.

The second category includes non-neoplastic lesions, namely intrinsic or extrinsic chronic inflammatory processes, and external compression, or iatrogenic lesions such as those resulting from intubation [1, 2]. In these conditions, therapeutic intervention may be limited to the wall and/or to solving the extrinsic problem. Clinically important manifestations of these processes are stenosis or tracheal wall dehiscence with oesophageal fistulas.

Nel presente lavoro verrà presa in considerazione solo questa seconda categoria.

Le lesioni non neoplastiche, come i granulomi infiammatori su cicatrice o di esiti cicatriziali, possono essere riscontrate nei pazienti sottoposti ad intubazione tracheale prolungata. Altre eziologie possono essere le malattie granulomatose croniche (es. Sindrome di Wegener), compressioni ab estrinseco (es. struma tiroideo).

Generalmente la stenosi è localizzata al di sotto della glottide e può estendersi in direzione cranio-caudale per qualche centimetro. Le pareti sono in genere irregolari ed ispessite anche nelle aree non direttamente interessate dal processo patologico. Le stenosi possono costituire un serio ostacolo alla funzione respiratoria.

Le fistole formano invece un tramite con l'esofago e si localizzano a livello dello scarso tessuto connettivo che separa la parete tracheale da quella esofagea. In questi casi la complicanza nella quale incorrono i pazienti è rappresentata da infezioni polmonari ricorrenti legate al passaggio di materiale dalla via digerente a quella respiratoria.

La conoscenza dell'esatta localizzazione della lesione rispetto alle corde vocali e alla carena tracheale, dell'estensione e dei diametri del lume aereo e dello spessore della parete ha una notevole importanza nella pianificazione dell'intervento terapeutico, in particolare nell'ambito della chirurgia endoscopica con laser.

Le applicazioni informatiche hanno consentito una evoluzione della diagnostica per immagini che oggi può usufruire di apparecchiature e algoritmi capaci di generare immagini tridimensionali e di endoscopia virtuale [3-5]. Queste nuove metodiche rimangono in fase di validazione in particolare per la loro applicazione nella routine clinica.

Oltre alle immagini di endoscopia virtuale, le tecniche di ricostruzione tridimensionale permettono di ottenere delle informazioni quantitative come misurazioni lineari, di aree e la stima del volume di un organo o di una lesione. Questo grazie alle riformattazioni multiplanari sui piani sagittali, coronali o anche su piani obliqui e curvi che ad esempio seguano il decorso di un organo quale un vaso o una via aerea [6]. Le misurazioni ottenute su queste immagini sono più accurate e non risentono dei fattori di natura geometrica tra le strutture corporee e il piano di scansione. Inoltre la valutazione dell'organo sull'asse cranio-caudale è molto più precisa.

L'impiego di queste tecniche per la valutazione delle vie aeree ha già fornito risultati promettenti [7-17].

Scopo del presente lavoro è valutare la corrispondenza tra le immagini ottenute mediante broncoscopia virtuale e ricostruzioni tridimensionali e quelle ottenute mediante broncoscopia a fibre ottiche. Verranno inoltre valutati limiti e possibilità di impiego delle tecniche di ricostruzione tridimensionale per la valutazione delle patologie non neoplastiche della trachea.

Materiale e metodi

Sono stati esaminati 12 pazienti nei quali era già stato effettuata la broncoscopia a fibre ottiche con diagnosi di malattia non neoplastica della trachea. Otto di questi erano affetti da stenosi tracheale e 4 da fistola tracheo-esofagea.

Tutti i pazienti sono stati sottoposti a Tomografia Com-

This paper discusses only the second category of alterations.

Non-neoplastic lesions, as inflammatory granulomas on scars or on scar tissue, may be found in patients with prolonged tracheal intubation. Other possible causes include chronic granulomatous diseases (e.g. Wegener's granulomatosis), extrinsic compression (e.g. thyroid goiter).

Stenoses are generally localised under the glottis, and they may extend for a few centimetres in the caudocranial direction. The walls are usually irregular and thick, even in areas not directly affected by the disease process. Stenoses may seriously compromise respiratory function.

Fistulas, instead, form a communication with the oesophagus, and they may be found in the thin connective tissue separating the tracheal and oesophageal wall. In these cases, the possible complication is recurrent pulmonary infection related to material leaking from the digestive to the respiratory system.

Knowledge of the exact localisation of the lesion with respect to the vocal cords and to the carina, of the extension and diameter of the tracheal lumen, and of wall thickness, is extremely important in planning treatment, in particular treatment with endoscopic laser surgery.

The application of computer technology to diagnostic imaging has led to the development of devices and algorithms capable of generating three-dimensional and virtual endoscopy images [3-5]. These new methods are still under validation, in particular for their application in routine clinical practice.

In addition to virtual endoscopy images, 3D reconstruction techniques can provide quantitative information, such as linear and surface measurements, and estimations of the volume of an organ or lesion. This is achieved thanks to multiplanar reconstructions in the sagittal, coronal planes, or even in oblique or curved planes that follow the surface of an organ such as a vessel or an airway [6]. Measurements taken on these images are accurate and unaffected by geometrical factors related to the body structures and the scanning plane. Furthermore, the study of an organ on the caudocranial axis is by far more precise.

The use of these techniques for airway assessment has already led to promising results [7-17].

This paper compares the images obtained with virtual bronchoscopy with three-dimensional reconstructions and those obtained with fiberoptic bronchoscopy, and discusses the limitations and applicability of 3D reconstruction techniques in the assessment of non-neoplastic inflammatory disease of the trachea.

Materials and methods

We examined 12 patients who had undergone fiberoptic bronchoscopy and had a diagnosis of non-neoplastic inflammatory disease of the trachea. Eight of these had tracheal stenosis, and 4 had tracheo-oesophageal fistula.

puterizzata (TC) spirale con apparecchiatura Somatom Plus 4 (Siemens, Erlangen – Germania) dall'orofaringe alla carena tracheale con i seguenti parametri di scansione: collimazione/pitch/intervallo di ricostruzione: 3 mm/2/1 mm, filtro di convoluzione per i tessuti molli, tempo di rotazione del tubo radiogeno pari a 750 ms. Non è stato somministrato mezzo di contrasto per via endovenosa.

Le immagini ottenute sono state inviate ad una stazione di lavoro dedicata, equipaggiata con software Vitrea 2.0 (Vital Images - USA) capace di generare ricostruzioni tridimensionali con algoritmi MPR e Volume Rendering e provvista di strumenti per misurazioni lineari e volumetriche. Le immagini assiali e tridimensionali insieme a quelle di broncoscopia a fibre ottiche sono state valutate da un radiologo e dal broncologo che aveva condotto gli esami strumentali broncoscopici.

Le immagini sul piano assiale e le immagini ottenute con tecnica MPR sono state valutate con valori di finestra per tessuti molli (W/L 300/40) e per parenchima polmonare (W/L 1500/-200).

Le ricostruzioni tridimensionali sono state rappresentate da immagini di endoscopia virtuale e da immagini ottenute con tecnica "fly around". Queste ultime sono ottenute attraverso un algoritmo denominato TTD (Tissue Transition Display) che permette la visualizzazione dell'interfaccia tra aria e materia solida o liquida con immagini simili ad un esame a doppio contrasto. La valutazione qualitativa ha considerato la presenza di artefatti da movimento e da limitato angolo solido nonché un giudizio complessivo sulla qualità delle immagini assiali, di endoscopia virtuale e delle immagini ottenute con tecnica "fly around".

La valutazione quantitativa è stata effettuata con la misurazione del calibro tracheale della distanza della stenosi dalle corde vocali, della sua estensione, della distanza dalla carena e dello spessore delle pareti.

I risultati ottenuti sono stati correlati a quelli endoscopici.

Risultati

Nei casi di stenosi è stato possibile generare delle immagini di endoscopia virtuale del restringimento del lume aereo che corrispondevano a quelle ottenute durante l'esame endoscopico a fibre ottiche. Analogamente, nei pazienti affetti da fistola è stato visualizzato il tramite sia mediante l'esame a fibre ottiche sia mediante le immagini di broncoscopia virtuale.

In tutti i casi è stato possibile ottenere delle immagini con campo di vista orientato in direzione caudocraniale, non ottenibili con l'esame a fibre ottiche.

Le ricostruzioni con tecnica di endoscopia virtuale sono risultate prive di artefatti da deformazione delle porzioni esterne del campo di vista da limitato angolo solido.

Le riformattazioni su piano curvo hanno permesso sempre di ottenere le misurazioni delle distanze delle stenosi e delle fistole rispetto ai reperi anatomici delle corde vocali e della carena nella direzione craniocaudale. La stessa tecnica ha permesso di ottenere i diametri e l'area della sezione del lume aereo nel punto della stenosi utilizzando un piano ortogonale all'asse principale della stenosi.

In due esami sono stati osservati artefatti da movimento riconducibili alla deglutizione. Tali artefatti non hanno tuttavia inficiato l'accuratezza delle misurazioni effettuate sul-

All patients underwent spiral computed tomography (CT), with a Somatom Plus 4 scanner (Siemens, Erlangen – Germany), from the oropharynx to the carina, with the following parameters: collimation/pitch/reconstruction interval: 3 mm/2/1 mm, convolution filter for soft tissues, tube rotation time of 750 ms. There was no intravenous administration of contrast medium.

Images obtained were sent to a dedicated workstation, running Vitrea 2.0 software (Vital Images - USA) capable of generating three-dimensional reconstructions with MPR algorithms and volume rendering, and equipped with tools for linear and volumetric measurements. The axial and 3D images, as well as the previous fiberoptic bronchoscopy images, were reviewed by a radiologist and by the chest physician who had performed bronchoscopy.

The axial and MPR images were obtained with window settings for soft tissues (W/L 300/40) and for lung parenchyma (W/L 1500/-200).

The 3D reconstructions were represented by virtual endoscopy images and by images obtained with the "fly-around" technique. The latter were obtained through a tissue transition display (TTD) algorithm, which allows visualisation of the interface between air and solid or fluid matter, yielding images similar to those of double-contrast imaging. Qualitative evaluation took into consideration the presence of motion artefacts, and of artefacts caused by the narrow solid angle, and included an overall assessment of the quality of axial, virtual endoscopy and fly-around images.

Quantitative evaluation included measurement of tracheal diameter, of the distance between the stenosis from the vocal cords, of the extension of the stenosis, of the distance from the carina, and of wall thickness.

The results were then compared with endoscopic findings.

Results

In the cases of stenosis, virtual endoscopy images of the narrowed tracheal lumen could be generated that corresponded to those obtained at fiberoptic bronchoscopy. Similarly, in patients with fistulas, the communication was visualised by both fiberoptic and virtual bronchoscopy.

In all cases it was possible to obtain images with a field of view oriented in a caudocranial direction, which was impossible with fiberoptic exams.

Images obtained from virtual endoscopy presented no artefacts due to deformation of the outer parts of the field of view related to the narrow solid angle.

Curved planar reformations allowed exact measurement of the distance between stenoses/fistulas and the vocal cords and carina in a caudocranial direction in all cases. The same technique allowed measurement of the diameter and surface of section of the tracheal lumen at the level of the stenosis, by using a plane orthogonal to the main axis of the stenosis.

Two exams presented artefacts related to swallowing;

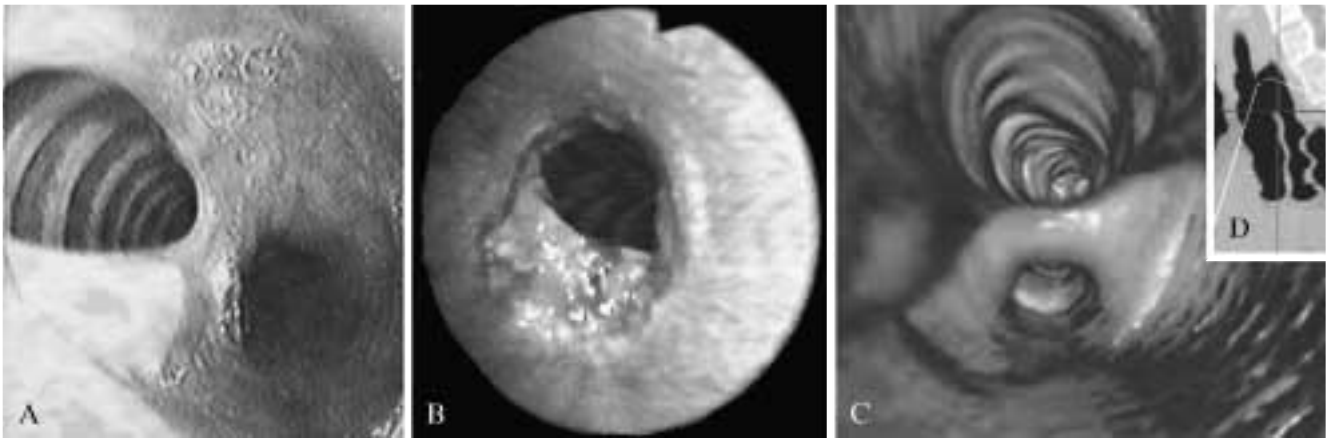


Fig. 1. — Esempio di fistola tracheo-esofagea. In A si osserva l'esame broncoscopico a fibre ottiche. Il lume di maggiori dimensioni nel quale si osservano anche gli anelli cartilaginei è la trachea. In B il controllo dopo il trattamento che evidenzia la presenza della cicatrice senza residue soluzioni di continuità. In C viene dimostrata la presenza della fistola mediante esame di endoscopia virtuale basato su acquisizione TC spirale. L'immagine multiplanare sagittale di riferimento (D), dimostra come il lume posizionato anteriormente sia la trachea mentre quello di diametro inferiore posizionato posteriormente sia l'esofago.

Example of tracheo-oesophageal fistula. A) Fiberoptic bronchoscopy. The larger lumen in which cartilaginous rings are visible cartilaginous rings are visible is the trachea. B) Post-treatment fiberoptic bronchoscopy shows the scar without any residual fistula. C) Virtual Virtual endoscopy based on spiral CT shows the fistula. The sagittal multiplanar reference image (D) shows the trachea anteriorly and the oesophagus posteriorly.

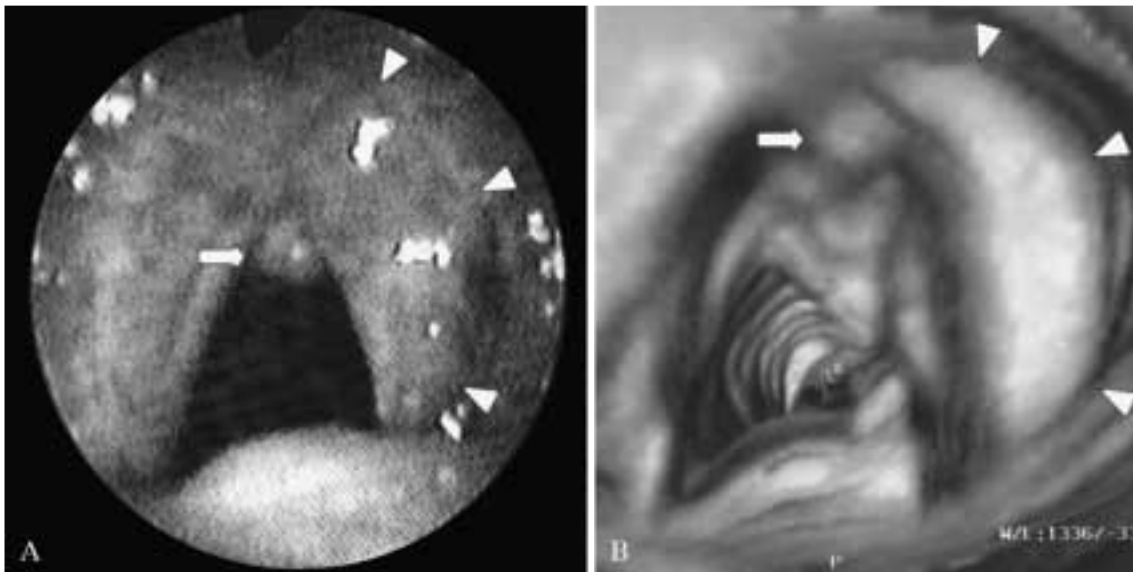


Fig. 2. — Esempio di granuloma postintubazione tracheale. L'immagine di broncoscopia a fibre ottiche (A), mostra chiaramente la presenza del granuloma sulla commissura anteriore (freccia). Si nota inoltre un'area rilevata, di forma semilunare e di aspetto edematoso che sovrasta la corda vocale di sinistra (teste di freccia). Le stesse informazioni sono dimostrate in B mediante endoscopia virtuale.

Example of postintubation tracheal granuloma. The fiberoptic bronchoscopy image (A), clearly shows the presence of a granuloma in the commissura anterior (arrow). An oedematous, semilunar thickened area is also visible above the left vocal cord (arrowheads). The same information is shown in B with by virtual endoscopic.

le immagini di MPR su piano curvo pur condizionando la qualità delle ricostruzioni tridimensionali.

In nessun caso è stata osservata una degradazione della qualità delle immagini ottenute con tecnica MPR per aliasing.

La valutazione delle sezioni assiali non ha permesso di caratterizzare l'eziologia della stenosi. Non è stato possibile distinguere il tessuto infiammatorio da quello fibrotico né

these artefacts did not affect the accuracy of curved plane MPR measurements, even though they did affect the quality of three-dimensional reconstructions.

In none of the cases was degeneration of MPR image quality caused by aliasing.

The examination of axial sections did not allow identification of the cause of the stenosis. Inflammatory tissue

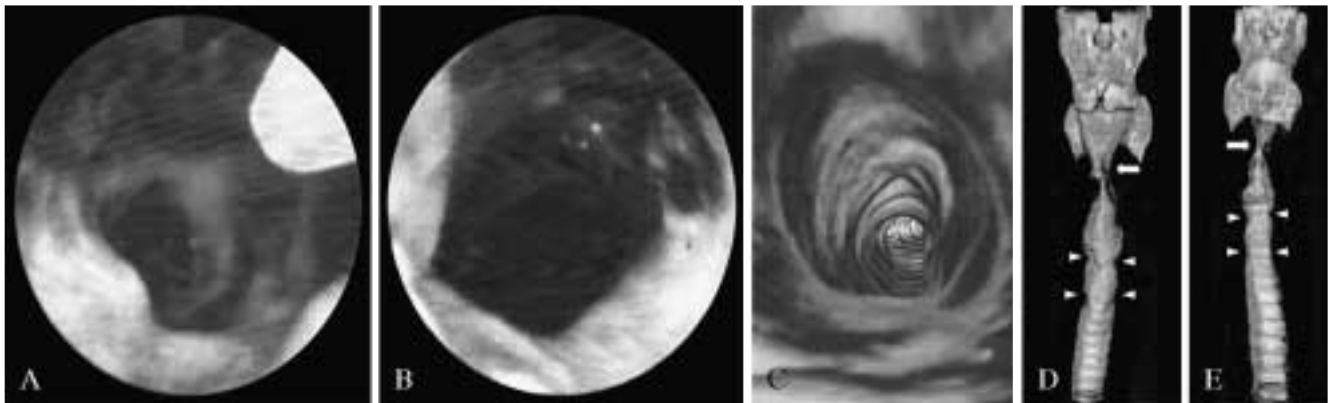


Fig. 3. — Esempio di granulomatosi di Wegener a localizzazione tracheale. Le immagini di broncoscopia a fibre ottiche ottenute durante la fase acuta caratterizzata da una massiva emorragia (A, B) mostrano la presenza di tessuto cicatriziale e fibrinoide che riveste le pareti della trachea. L'esame di endoscopia virtuale condotto dopo il trattamento per via endoscopica (C, D, E), mostra la presenza della stenosi su base infiammatoria cronica granulomatosa (D, E - frecce), e le irregolarità della parete tracheale a valle della stenosi (D, E - teste di freccia).

Example of Wegener chronic granulomatosis with tracheal localisation. The fFiberoptic bronchoscopic images obtained during the acute haemorrhagic phase (A, B) show the presence of scars and fibrinoidic tissues covering the tracheal walls. The virtual endoscopic endoscopy study performed after endoscopic treatment (C, D, E), shows the presence of a chronic granulomatous inflammatory stenosis (D, E - arrows), and the irregularities of the tracheal wall distal to the stenosis (D, E - arrowheads).

visualizzare l'iperemia della mucosa. Non sono state visualizzate formazioni espansive a carico del collo e del mediastino superiore.

Discussione

L'endoscopia convenzionale ha un ruolo centrale nello studio delle malattie non neoplastiche della trachea. Essa, infatti, consente di visualizzare direttamente la mucosa, di trattare le patologie riscontrate e di effettuare prelievi bioptici.

Nel presente lavoro, le ricostruzioni tridimensionali hanno permesso di ottenere informazioni analoghe alla broncoscopia a fibre ottiche dal punto di vista della morfologia endotracheale. Il broncologo, infatti, ha sempre confermato la corrispondenza tra il reperto TC e quello broncoscopico. Un ulteriore vantaggio dell'esame TC è stato rappresentato dalla possibilità di apprezzare i tessuti extra-mucosi. In particolare è stato possibile valutare lo spessore delle pareti tracheali e l'eventuale presenza di masse estrinseche. Le immagini TC più utili alla valutazione della patologia sono state quelle MPR e con ricostruzioni su piani curvi. Su queste, infatti, è stato possibile ottenere le misurazioni relative all'entità della stenosi, la sua esatta localizzazione e distanza da altre strutture, la dimensione della fistola. Queste informazioni permettono di pianificare con maggiore accuratezza un eventuale intervento terapeutico.

L'esame di TC spirale, integrato con le ricostruzioni tridimensionali, assume quindi un ruolo integrativo, e non sostitutivo, all'esame convenzionale. Questa tecnica non permette, infatti, di effettuare biopsie o procedure terapeutiche. D'altra parte essa fornisce informazioni riguardanti le caratteristiche dimensionali delle lesioni e lo stato delle strutture extramucose, non ottenibili con altre metodiche. L'esame radiologico può quindi essere indicato prima dell'esecuzione dell'endoscopia a fibre ottiche per la pianificazione dell'intervento terapeutico. Esso inoltre permette, per la sua non invasività, di effettuare un controllo a distanza delle lesioni stenotiche.

L'esame può essere effettuato senza particolari problemi o

could not be distinguished from fibrotic tissue, and mucosal hyperaemia could not be documented. No expansile lesions of the the neck or upper mediastinum were visualised.

Discussion

Conventional endoscopy has a leading role in the study of non-neoplastic tracheal lesions, as it provides direct visualisation of the mucosa, and allows treatment and biopsy of the lesions.

In our experience, 3D reconstructions provided data information on endotracheal morphology, similar to that obtained with fiberoptic bronchoscopy. The chest physician confirmed the correspondence between CT and bronchoscopic findings in all cases. Another advantage of CT is the possibility to visualise extra-mucosal tissues. In particular, it allowed measurement of tracheal wall thickness, and identification of possible extrinsic masses. The most useful CT images for evaluating the disease proved to be the MPR images and those with curved planar reformations as these provided information on the dimensions of the stenosis, on its exact location and distance from other structures, and on the dimensions of the fistula. All this information enables more accurate treatment planning.

Spiral CT scanning with 3D reconstructions integrates, rather than replacing, conventional imaging, as it does not allow to biopsies or therapeutic procedures. On the other hand, it provides useful information on the dimensions of lesions and on the condition of extra-mucosal structures, which cannot be obtained with other techniques. The radiological examination may therefore be indicated before fiberoptic endoscopy in the to plan treatment. Furthermore, being a non-invasive technique, it allows monitoring of stenotic lesions over time.

accorgimenti. In nessun caso le scansioni TC erano inadatte alla valutazione tridimensionale. Il tempo necessario è relativamente limitato ed è di circa 20 minuti con una apparecchiatura a singolo detettore. La gran parte di questo tempo è necessaria alla ricostruzione delle immagini da parte dell'apparecchiatura TC. Il tempo necessario per l'esame viene più che dimezzato con l'impiego di un'apparecchiatura multistrato [18].

Il recente impiego delle tecniche di acquisizione e ricostruzione tridimensionale ha migliorato lo studio delle alte vie aeree. Queste, ad oggi, sono valutate con endoscopia a fibre ottiche e TC spirale effettuata con parametri di acquisizione che comportano bassa risoluzione spaziale e aliasing sull'asse z. L'aliasing è dovuto a un'insufficiente frequenza di campionamento rispetto alla frequenza del fenomeno studiato [19, 20]. In altre parole un fenomeno viene rappresentato con un'insufficiente quantità di informazione.

Da un punto di vista tecnico lo studio volumetrico della trachea comporta alcune peculiarità. La trachea è infatti un organo il cui asse principale si estende lungo l'asse z del tomografo. Nelle apparecchiature a singolo strato questo comporta un inevitabile compromesso tra collimazione e avanzamento affinché tutto il viscerale possa essere esaminato in un'unica scansione [21-26]. In questi casi è più vantaggioso in termini di risoluzione spaziale lungo l'asse z optare per una collimazione sottile e un pitch elevato piuttosto che il contrario [19, 26]. Questo inconveniente non si presenta con l'impiego di apparecchiature multidetettore che permettono la scansione di volumi estesi con collimazioni sottili. Un intervallo di ricostruzione che preveda la sovrapposizione almeno al 50% degli strati permette di ridurre l'aliasing e di aumentare la risoluzione spaziale sull'asse z nelle immagini ricostruite [27, 28].

Un secondo problema tecnico, riguardante l'elaborazione dell'immagine, è rappresentato dal diametro del lume tracheale. Al momento della ricostruzione delle immagini di endoscopia virtuale, al ridursi del diametro di una struttura tubulare, la rappresentazione della superficie interna della parete della trachea avviene con una risoluzione spaziale inferiore.

Un terzo problema, correlato anch'esso al diametro del lume tracheale, riguarda la capacità dell'algoritmo di ricostruzione tridimensionale di rappresentare su una superficie piana (il monitor) una struttura curva. Il problema ha riguardato anche i geografi quando si è trattato di rappresentare il pianeta (grossolanamente assimilabile ad una sfera) su una carta geografica, ovvero su un supporto bidimensionale. Come illustrato da Paik *et al.*, all'aumentare dell'angolo secondo cui viene effettuata la rappresentazione prospettica, ovvero «l'obiettivo» dell'endoscopio virtuale, aumenta la deformazione delle porzioni esterne del campo di vista dell'immagine di endoscopia virtuale senza un aumento dell'angolo solido esente da fenomeni distorsivi [29]. In altre parole scegliendo per obiettivo dell'endoscopio virtuale il «grand'angolo» è possibile visualizzare le pareti laterali della struttura tubulare che però risulteranno deformate (lo stesso è possibile riscontrare nelle fotografie ottenute con macchine fotografiche dotate di questo tipo di obiettivo nelle quali il campo esterno dell'immagine può essere deformato).

Conclusioni

In conclusione le metodiche di ricostruzione tridimensionale sono indicate per la valutazione preoperatoria dei pazienti

The examination is free of problems and is easy to perform. The scans were never inadequate for the 3D evaluation. Examination times are short, approximately 20 minutes with single detector-row scanners. A large part of this time was taken up by image reconstruction. Overall examination times are more than halved if multi-slice scanners are used [18].

The use of 3D acquisition and reconstruction techniques have greatly improved the study of the upper airways, until now imaged with fiberoptic bronchoscopy and spiral CT acquisition parameters with low spatial resolution and z-axis aliasing. Aliasing is caused by an inadequate sampling rate relative to the rate of the lesion being analysed [19, 20]. In other words, the lesion is being represented with an inadequate amount of information.

From a technical point of view, the volumetric study of the trachea has some peculiarities, as the main axis of the organ runs along the scanner's z axis. In single-slice scanners, there is an unavoidable compromise between collimation and table feed if the whole organ is to be examined in a single scan [21-26]. In these cases, to obtain higher spatial resolution along the z axis a thin collimation and high pitch are preferred, rather than the opposite [19, 26]. This is not the case with multi-detector scanners, which allow the study of large volumes with a thin collimation. A reconstruction interval with at least a 50% overlap between the slices prevents aliasing and to increases z-axis spatial resolution in the reconstructed images [27, 28].

Another technical drawback concerns image reconstruction, and involves the diameter of the tracheal lumen. When the virtual endoscopy images are reconstructed, as the diameter of a tubular structure narrows, the inner surface of the tracheal wall is represented with lower spatial resolution.

*A third problem, also related to tracheal lumen diameter, involves the ability of the 3D reconstruction algorithm to represent a curved structure on a flat surface (the monitor). It is the same problem that geographers faced when attempting to represent the planet (roughly spherical) on a map, that is on a two-dimensional surface. Paik *et al.* report that, the wider the angle of the perspective representation (that is, the "lens" of the virtual endoscope), the greater the deformation of the portions external to the field of view of the virtual endoscopic endoscopy images, in the absence of a widening of the solid angle free from of distortion [29]. In other words, by choosing a wide-angle lens for the virtual endoscope, it is possible to visually assess the lateral walls of the tubular structure, which will, however, be distorted (the same distortion of the outer parts of the image may be noticed seen in photographs taken with a wide-angle lens).*

Conclusions

In conclusion, 3D reconstruction techniques are indicated in the preoperative evaluation of patients with non-neoplastic tracheal lesions. The examination must be

ti affetti da patologia non neoplastica della trachea. Questo esame deve essere considerato integrativo e non sostitutivo dell'endoscopia convenzionale. Questa tecnica può essere invece proposta come unico esame nel follow-up di queste affezioni. Dalla sua introduzione nei protocolli d'esame effettuati del nostro Istituto, questo esame viene attualmente richiesto di routine dal broncoscopista con queste due indicazioni.

regarded as an integration, rather than a replacement of conventional endoscopy. On the other hand, it may be proposed as the only examination for the follow-up of these lesions. Ever since its introduction in imaging protocols performed by our institute, virtual endoscopy is now routinely requested by chest physicians with these two indications.

Bibliografia/References

- 1) Evagelopoulou N, Tossios P, Wanke W *et al*: Tracheobronchial rupture after emergency intubation. *Thorac Cardiovasc Surg* 47: 395-397, 1999.
- 2) Harris R, Joseph A: Acute tracheal rupture related to endotracheal intubation: case report. *J Emerg Med* 18: 35-39, 2000.
- 3) Rubin GD, Beaulieu CF, Argiro V *et al*: Perspective volume rendering of CT and MR images: applications for endoscopic imaging. *Radiology* 199: 321-330, 1996.
- 4) Calhoun PS, Kuszyk BS, Heath DG *et al*: Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics* 19: 745-764, 1999.
- 5) Udupa JK: Three-dimensional visualization and analysis methodologies: a current perspective. *Radiographics* 19: 783-806, 1999.
- 6) Rhodes ML, Glenn WV, Azaawi YM: Extracting oblique planes from serial CT sections. *J Comput Assist Tomogr* 4: 649-657, 1980.
- 7) Lacrosse M, Trigaux JP, Van Beers BE: 3D spiral CT of the tracheobronchial tree. *J Comput Assist Tomogr* 19: 341-347, 1995.
- 8) Salvolini L, Gasparini S, Baldelli S *et al*: Virtual bronchoscopy: the correlation between endoscopic simulation and bronchoscopic findings. *Radiol Med* 94: 454-462, 1997.
- 9) Kirchgeorg MA, Prokop M: Increasing spiral CT benefits with postprocessing applications. *Eur J Radiol* 28: 39-54, 1998.
- 10) Liewald F, Lang G, Fleiter T *et al*: Comparison of virtual and fiberoptic bronchoscopy. *Thorac Cardiovasc Surg* 46: 361-364, 1998.
- 11) Remy-Jardin M, Remy J, Artaud D *et al*: Volume rendering of the tracheobronchial tree: clinical evaluation of bronchographic images. *Radiology* 208: 761-770, 1998.
- 12) Remy-Jardin M, Remy J, Artaud D *et al*: Tracheobronchial tree: assessment with volume rendering-technical aspects. *Radiology* 208: 393-398, 1998.
- 13) Haponik EF, Aquino SL, Vining DJ: Virtual bronchoscopy. *Clin Chest Med* 20: 201-217, 1999.
- 14) Aquino SL, Vining DJ: Virtual bronchoscopy. *Clin Chest Med* 20: 725-730, 1999.
- 15) Neumann K, Winterer J, Kimmig M *et al*: Real-time interactive virtual endoscopy of the tracheo-bronchial system: influence of CT imaging protocols and observer ability. *Eur J Radiol* 33: 50-54, 2000.
- 16) Aliberti C, Benetti S, Marzocchi S *et al*: Spiral TC and virtual endoscopy in iatrogenic tracheal rupture: report of two cases. *Radiol Med* 102: 178-180, 2001.
- 17) Polverosi R, Vigo M, Baron S *et al*: Evaluation of tracheobronchial lesions with spiral CT: comparison between virtual endoscopy and bronchoscopy. *Radiol Med* 102: 313-319, 2001.
- 18) Pavone P, Luccichenti G, Cademartiri F: Improving the results of virtual colonoscopy: what the future will bring. *Semin Ultrasound CT MR* 22: 400-402, 2001.
- 19) Wang G, Vannier MW: Stair-step artifacts in three-dimensional helical CT: an experimental study. *Radiology* 191: 79-83, 1994.
- 20) Yen SY, Rubin GD, Napel S: Spatially varying longitudinal aliasing and resolution in spiral computed tomography. *Med Phys* 26: 2617-2625, 1999.
- 21) Polacin A, Kalender WA, Marchal G: Evaluation of section sensitivity profiles and image noise in spiral CT. *Radiology* 185: 29-35, 1992.
- 22) Diederichs CG, Keating DP, Glatting G *et al*: Blurring of vessels in spiral CT angiography: effects of collimation width, pitch, viewing plane, and windowing in maximum intensity projection. *J Comput Assist Tomogr* 20: 965-974, 1996.
- 23) 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.
- 24) Hopper KD, Iyriboz TA, Mahraj RP *et al*: CT bronchoscopy: optimization of imaging parameters. *Radiology* 209: 872-877, 1998.
- 25) Wang G, Vannier MW: Maximum volume coverage in spiral computed tomography scanning. *Acad Radiol* 3: 423-428, 1996.
- 26) Wang G, Vannier MW: The effect of pitch in multislice spiral/helical CT. *Med Phys* 26: 2648-2653, 1999.
- 27) Hu H, Fox SH: The effect of helical pitch and beam collimation on the lesion contrast and slice profile in helical CT imaging. *Med Phys* 23: 1943-1954, 1996.
- 28) Beaulieu CF, Napel S, Daniel BL *et al*: Detection of colonic polyps in a phantom model: implications for virtual colonoscopy data acquisition. *J Comput Assist Tomogr* 22: 656-663, 1998.
- 29) Paik DS, Beaulieu CF, Jeffrey RB jr *et al*: Visualization modes for CT colonography using cylindrical and planar map projections. *J Comput Assist Tomogr* 24: 179-188, 2000.

*Dott. G. Luccichenti
Istituto di Radiologia
Università di Parma
Via A. Gramsci, 14
43100 Parma PR
Tel. 0521/991546
Fax 0521/259219
E-mail: g.luccichenti@libero.it*