

Colangiopancreatografia con Risonanza Magnetica Confronto tra sequenza 2D single-shot fast spin echo e sequenze 3D fast spin echo

Maria COVA - Fulvio STACUL - Gabriella CESTER
Maja UKMAR - Roberto POZZI MUCELLI

Scopo. Confrontare una sequenza 2D single-shot Fast Spin-Echo (FSE) con due sequenze 3D FSE a diverso spessore di strato impiegate in colangiopancreatografia con Risonanza Magnetica (CPRM) in pazienti senza o con rilievi patologici a carico della via biliare e/o del dotto pancreatico.

Materiale e metodi. Sono stati sottoposti a CPRM 32 pazienti consecutivi con sospetta patologia della via biliare e/o del dotto pancreatico. 14 di essi non presentavano rilievi patologici, mentre in 18 vi era il riscontro di reperti patologici a carico della via biliare e/o del dotto pancreatico. Gli esami RM sono stati effettuati con un magnete superconduttivo da 1.5 T. Ogni paziente è stato indagato con la sequenza 2D single-shot FSE e con due sequenze 3D FSE a diverso spessore di strato, pari rispettivamente a 1.6 mm e 3 mm. L'analisi delle immagini delle tre sequenze ha considerato i seguenti parametri: presenza di artefatti (0=assenza di artefatti, 1=artefatti minimi, 2=artefatti evidenti ma non condizionanti la valutazione diagnostica, 3=artefatti evidenti condizionanti la valutazione diagnostica), qualità globale delle immagini (0=immagine non diagnostica, 1=qualità scarsa, 2=qualità discreta, 3=qualità buona, 4=qualità ottima), grado di visualizzazione delle strutture anatomiche (0=visualizzazione insufficiente, 1=visualizzazione scarsa, 2=visualizzazione buona, 3=visualizzazione ottima), presenza di patologia e valutazione del livello di confidenza diagnostica espressa secondo i seguenti 5 livelli: diagnosi sicuramente positiva, probabilmente positiva, diagnosi dubbia, probabilmente negativa, sicuramente negativa.

Risultati. Gli artefatti erano presenti in un numero limitato di casi, senza differenze significative tra le tre sequenze. Con la sequenza 2D single-shot FSE si è ottenuta una qualità globale delle immagini significativamente superiore ed una visualizzazione significativamente migliore dei dotti biliari intraepatici e del dotto pancreatico rispetto ad entrambe le sequenze 3D FSE a diverso spessore di strato. Le tre sequenze sono risultate concordi nel riconoscimento dei 17 casi di dilatazione e dei 10 casi di stenosi, come pure nella valutazione del loro grado. La presenza di calcoli nella via biliare è stata diagnosticata in 6 casi con la sequenza 2D single-shot FSE, in 5 casi sulle immagini ottenute con l'algoritmo di ricostruzione MIP con la sequenza 3D FSE con spessore di strato di 1.6 mm e in 4 casi sulle immagini MIP ottenute con la sequenza 3D FSE con spessore di strato di 3 mm. Non si sono riscontrate differenze statisticamente significative tra le tre sequenze per quanto riguarda la confidenza diagnostica.

Conclusioni. La sequenza 2D single-shot FSE risulta superiore rispetto alle sequenze 3D FSE nella valutazione della via biliare e del dotto pancreatico in condizioni normali e patologiche.

PAROLE CHIAVE: Vie biliari - Vie biliari, Risonanza Magnetica - Pancreas, Risonanza Magnetica - Risonanza Magnetica, studi comparativi.

Introduzione

La colangiopancreatografia con Risonanza Magnetica (CPRM) ha assunto negli ultimi anni un ruolo sempre più

MR cholangiopancreatography: comparison of 2D single-shot fast spin-echo and 3D fast spin-echo sequences

Purpose. To compare 2D single-shot Fast Spin-Echo (FSE) and two 3D FSE MR cholangiopancreatography (MRCP) sequences with different slice thickness in the evaluation of normal and abnormal biliary and pancreatic duct systems.

Materials and methods. Thirty-two consecutive patients, both with normal biliary and pancreatic ducts (n=14) and with different biliary and/or pancreatic duct disease (n=18) underwent MRCP with a 1.5 T superconductive magnet. One 2D single-shot FSE and two 3D FSE MRCP sequences with different slice thickness (1.6 mm and 3 mm) were performed in each patient. Images were analysed with regards to: artefacts (0=none, 1=minimal, 2=present but not affecting the diagnostic evaluation, 3=present and affecting the diagnostic evaluation), image quality (0=non-diagnostic, 1=poor, 2=fair, 3=good, 4=excellent), duct conspicuity (0=not-visible, 1=poor, 2=good, 3=excellent), diagnostic confidence (possible presence of dilatations, stones and stenoses).

Results. Artefacts were rarely present, without significant differences among the three sequences. The 2D single-shot FSE sequence provided a significantly better image quality and significantly better conspicuity of the intrahepatic and pancreatic ducts in comparison to both the 1.6-mm and 3-mm thickness 3D FSE sequences. The three sequences yielded identical results in the detection of 17 cases of dilatation and 10 cases of stenosis as well as in the evaluation of their degree. Stones in the biliary tree were detected in 6 cases with the 2D single-shot FSE sequence, in 5 cases in the MIP images of the 3D FSE sequence with slice thickness of 1.6 mm and in 4 cases in the MIP images of the 3D FSE sequence with slice thickness of 3 mm. The diagnostic confidence did not show statistically significant differences among the three sequences.

Conclusions. The 2D single-shot FSE sequence proved to be superior to the 3D FSE sequences in the evaluation of normal and abnormal biliary and pancreatic duct systems.

KEY WORDS: Bile ducts - Bile ducts, Magnetic resonance - Pancreas, Magnetic resonance - Magnetic resonance, comparative studies.

Introduction

Magnetic Resonance cholangiopancreatography (MRCP) has taken on an increasingly important role in the diag-

Unità Clinica Operativa di Radiologia - Università degli Studi di Trieste - Trieste - Ospedale di Cattinara - Trieste.

Pervenuto alla Redazione il 14.1.2003; revisionato il 10.2.2003; restituito corretto il 27.2.2003; accettato per la pubblicazione il 19.3.2003.

Indirizzo per la richiesta di estratti: Prof.ssa M. Cova - Unità Clinica Operativa di Radiologia - Università degli Studi di Trieste - Ospedale di Cattinara - Strada di Fiume, 447 - 34149 Trieste TS - Tel. 040/3994372 - Fax 040/3994500 - E-mail: cova@gnbs.univ.trieste.it

rilevante nella diagnostica delle vie biliari e del dotto pancreatico, confinando la colangiografia perendoscopica quasi esclusivamente a quelle situazioni che richiedono anche un intervento terapeutico. Sono state recentemente sviluppate numerose sequenze per lo studio delle vie biliari e numerosi lavori in letteratura riportano l'elevata accuratezza diagnostica della CPRM [1-6], in particolare per quanto riguarda la valutazione della via biliare principale. Risultati più variabili a seconda delle sequenze impiegate sono stati invece ottenuti nella valutazione della via biliare intraepatica e del dotto pancreatico [7-11]. In particolare, risultati non molto soddisfacenti sono stati ottenuti utilizzando sequenze con lunghi tempi di acquisizione, quali le sequenze Fast Spin-Echo (FSE) 2D e 3D. Esse possono causare una visualizzazione inadeguata del dotto pancreatico in oltre il 30% dei casi [7, 9] e possono essere gravate da artefatti in grado di determinare false immagini di difetto endoluminale [12].

Recentemente sono state sviluppate sequenze realizzabili nel tempo di un'apnea (sequenze single-shot) e quindi potenzialmente in grado di risolvere i problemi legati agli artefatti da movimento [4, 13-18]. Esistono in letteratura alcuni lavori comparativi che documentano i vantaggi che derivano dall'impiego di queste sequenze nello studio delle vie biliari e del dotto pancreatico [17-22].

Scopo di questo lavoro è confrontare la sequenza 2D single-shot FSE con due sequenze 3D FSE a diverso spessore di strato in pazienti con sospetta patologia delle vie biliari in termini di presenza di artefatti, qualità globale delle immagini, grado di visualizzazione delle strutture anatomiche e eventuale presenza di patologia con valutazione del livello di confidenza diagnostica.

Materiale e metodi

Popolazione di pazienti e tecnica d'esame

Da febbraio 2002 a settembre 2002 sono stati sottoposti a RM per lo studio delle vie biliari 32 pazienti (13 uomini e 19 donne, di età compresa tra 27 e 75 anni con una media di 59 anni) con sospetto di patologia biliare su base clinica, laboratoristica o ecografica.

L'esame RM è stato condotto mediante l'impiego di un magnete superconduttivo da 1.5 T (Philips Gyroscan Intera, Best, Olanda) con gradienti da 30 mT/m e velocità di raggiungimento del picco pari a 120 mT/m/ms, utilizzando la bobina phased array.

Sono state impiegate le seguenti sequenze:

a) *sequenza FSE pesata in T2*, sul piano assiale, eseguita in apnea o con il trigger respiratorio, utilizzando i seguenti parametri tecnici: TR 1600 ms, TE 100 ms, fattore turbo (FT) 24, matrice 256×256, 2 misure, campo di vista rettangolare pari a 300 mm sull'asse delle x e 240 sull'asse delle y (=80%), spessore di strato di 5 mm con intervallo (gap) di 0.5 mm, 30 strati. Si è impiegata la tecnica di acquisizione parallela (SENSE) che ha consentito di dimezzare il tempo di acquisizione della sequenza, portandolo a 1' e 17".

La sequenza FSE T2 sul piano assiale è stata quindi utilizzata per il posizionamento del volume di acquisizione delle seguenti 3 sequenze di CPRM:

b) *sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm uti-*

nosis of biliary and pancreatic duct diseases, with endoscopic cholangiography being almost exclusively confined to interventional indications. Recently, several sequences have been developed for the study of the biliary tree and many studies have reported the high accuracy of MRCP [1-6], especially as regards the evaluation of the common bile duct. However, depending on the sequences used, the results have been inconsistent in the study of the intrahepatic bile ducts and the pancreatic duct [7-11]. In particular, unsatisfactory results have been reported for sequences with long acquisition times, such as 2D and 3D Fast Spin-Echo (FSE), as these can cause inadequate visualisation of the pancreatic duct in over 30% of cases [7, 9] as well as artefacts that can be mistaken for intraluminal defects [12].

The more recently developed single breath-hold (single-shot sequences) are potentially capable of overcoming the problems related to movement artefacts [4, 13-18]. Some comparative studies have demonstrated the advantages deriving from the use of these sequences in the study of the bile ducts and pancreatic duct [17-22].

The aim of this study was to compare the 2D FSE single-shot sequence with two 3D FSE sequences with different slice thickness in patients with suspected biliary disease in terms of artefacts, overall image quality, conspicuity of anatomical structures and possible presence of disease with assessment of the level of diagnostic confidence.

Materials and methods

Patient population and examination technique

Between February 2002 and September 2002, a total of 32 patients (13 men and 19 women, ranging in age from 27 to 75 years, mean age 59) with a clinical, laboratory or ultrasound suspicion of biliary disease underwent biliary tract MR imaging.

The examination was performed with a 1.5 T superconducting magnet (Philips Gyroscan Intera, Best, The Netherlands) with gradients of 30 mT/m and a rise time of 120 mT/m/ms, using a phased-array coil.

The sequences were as follows:

a) *Axial T2-weighted FSE sequence, performed in a single breath-hold or with respiratory triggering, using the following imaging parameters: TR 1600 ms, TE 100 ms, turbo factor (TF) 24, matrix 256×256, 2 measurements, rectangular field of view of 300 mm on the x-axis and 240 on the y-axis (=80%), slice thickness of 5 mm with 0.5 mm gap, 30 slices. We used the parallel acquisition technique (SENSE) which allowed us to reduce acquisition time to 1' 17".*

The axial T2 FSE sequence was used to localise the acquisition volume for the three subsequent MRCP sequences:

b) *3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness with the following parameters: TR=1800 ms, TE=650 ms, FT=128, matrix 256×256, 2 measurements, rectangular field of view of 300 mm on the x-axis and 240 on the y-axis (=80%), slice thickness of 1.6 mm with a 0.8-mm overlap, 120 slices, acquisition time 3' 15";*

lizzando i seguenti parametri tecnici: TR=1800 ms, TE=650 ms, FT=128, matrice 256×256, 2 misure, campo di vista rettangolare pari a 300 mm sull'asse delle x e 240 sull'asse delle y (=80%), spessore di strato di 1.6 mm con sovrapposizione di 0,8 mm, 120 strati, tempo di acquisizione 3' 15";

c) sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm utilizzando i seguenti parametri tecnici: TR=1600 ms, TE=350 ms, FT=130, matrice di acquisizione 256×256 con matrice di ricostruzione 512×512, 2 misure, campo di vista rettangolare pari a 300 mm sull'asse delle x e 240 sull'asse delle y (=80%), spessore di strato di 3 mm con sovrapposizione di 1,5 mm, 50 strati, tempo di acquisizione 1' 19";

d) sequenza 2D single-shot FSE utilizzando i seguenti parametri tecnici: TR=∞, TE=800 ms, FT=256, matrice 256×256, 1 misura, campo di vista 250 mm, spessore di strato 40 mm, 9 strati radiali, tempo di acquisizione 1" per strato con intervallo di 7" tra le acquisizioni (tempo totale di acquisizione 1' 12").

Alle tre sequenze di CPRM si è associato l'impulso di soppressione del segnale proveniente dal tessuto adiposo di tipo SPIR (spectral presaturation with inversion recovery). Tali sequenze non si sono avvalse della tecnica di acquisizione parallela SENSE. Essa sarebbe infatti risultata influente per la sequenza 2D single-shot FSE, visti i suoi tempi di acquisizione ridottissimi, mentre nelle sequenze 3D FSE, a parità di impiego degli altri parametri, il suo utilizzo, pur dimezzando il tempo di acquisizione, avrebbe ridotto di circa il 30% il rapporto segnale/rumore.

Entrambe le sequenze 3D FSE sono state eseguite con il trigger respiratorio, mentre la sequenza 2D single-shot FSE è stata ottenuta in apnea respiratoria nelle singole acquisizioni.

Le immagini di partizione delle due sequenze 3D FSE sono state successivamente elaborate mediante l'algoritmo MIP (maximum intensity projection) e l'algoritmo di ricostruzione multiplanare, in un tempo pari a circa 30". La sequenza 2D single-shot FSE ha prodotto invece direttamente l'immagine dell'albero biliare e del dotto pancreatico su 9 piani radiali, con un'angolazione di 40° di ciascun piano rispetto all'altro, uno dei quali orientato sul piano coronale anteriore destro in modo da includere il dotto epatico comune, la testa del pancreas e parte del corpo e della coda.

Analisi delle immagini

L'analisi delle immagini è stata effettuata da due radiologi esperti di RM delle vie biliari, sulla documentazione su pellicola per quanto riguarda le immagini MIP delle sequenze 3D FSE e le immagini 2D single-shot FSE, mentre le immagini di partizione delle due sequenze 3D FSE sono state valutate sul monitor di una stazione di lavoro separata (Easy Vision, Philips Medical Systems).

L'analisi delle immagini delle 3 sequenze di CPRM ha considerato i seguenti parametri: a) presenza di artefatti, b) qualità globale delle immagini, c) grado di visualizzazione delle strutture anatomiche, d) presenza di patologia e valutazione del livello di confidenza diagnostica.

a) *Presenza di artefatti.* Gli artefatti sono stati valutati sulle immagini MIP delle sequenze 3D FSE e sulle immagini 2D single-shot FSE mediante l'attribuzione di un punteggio compreso tra 0 e 3 (0=assenza di artefatti, 1=artefatti minimi, 2=artefatti evidenti ma non condizionanti la valutazione).

c) 3D FSE sequence with slice thickness of 3 mm with the following parameters: TR=1600 ms, TE=350 ms, FT=130, acquisition matrix 256×256 with reconstruction matrix of 512×512, 2 measurements, rectangular field of view equal to 300 mm on the x-axis and 240 on the y-axis (=80%), slice thickness of 3 mm with a 1.5-mm overlap, 50 slices, acquisition time 1' 19";

d) 2D single-shot FSE sequence with the following parameters: TR=∞, TE=800 ms, FT=256, matrix 256×256, 1 measurement, field of view 250 mm, slice thickness 40 mm, 9 radial slices, acquisition time of 1" per slice with a 7" interval between acquisitions (total acquisition time 1' 12").

The three MRCP sequences were combined with frequency selective fat suppression (SPIR) (spectral presaturation with inversion recovery). The SENSE parallel acquisition technique was not applied as it would have been uninformative in the 2D single-shot FSE sequence, due to its very short acquisition times, whereas, all other parameters being equal, its use in the 3D FSE sequences would have reduced the signal-to-noise ratio by about 30%, while halving the acquisition time.

Both of the 3D FSE sequences were performed with respiratory triggering, whereas the 2D single-shot FSE sequence was obtained in breath-hold mode for each acquisition.

The cross-sectional images of the two 3D FSE sequences were subsequently processed with the MIP (maximum intensity projection) algorithm and multiplanar reconstruction algorithm, in about 30". Instead, the 2D single-shot FSE sequence directly generated an image of the biliary tree and pancreatic duct in 9 radial planes, at 40° angles one from the other, and one of which oriented in the right anterior coronal plane to include the common hepatic duct, the pancreas head and part of the pancreas body and tail.

Image analysis

The images were reviewed by two radiologists with experience in biliary tract MRI. The MIP images of the 3D FSE sequences and the 2D single-shot FSE images were reviewed on the hardcopy films, whereas the cross-sectional images of the two 3D FSE sequences were assessed on the monitor of a separate workstation (Easy Vision, Philips Medical Systems).

The analysis of images from the three MRCP sequences considered the following parameters: a) presence of artefacts, b) overall image quality, c) conspicuity of anatomical structures, d) presence of disease and evaluation of level of diagnostic confidence.

a) Presence of artefacts. Artefacts were assessed on the MIP images of the 3D FSE sequences and on the 2D single-shot FSE images by assigning a score from 0 to 3 (0=none, 1=minimal, 2=present but not affecting diagnostic evaluation, 3=present and affecting diagnostic evaluation).

b) Overall image quality. Overall image quality was

ne diagnostica, 3=artefatti evidenti condizionanti la valutazione diagnostica).

b) *Qualità globale delle immagini*. La qualità globale delle immagini è stata valutata sulle immagini MIP delle sequenze 3D FSE e sulle immagini 2D single-shot FSE mediante l'attribuzione di un punteggio compreso tra 0 e 4 (0=immagine non diagnostica, 1=qualità scarsa, 2=qualità discreta, 3=qualità buona, 4=qualità ottima).

c) *Grado di visualizzazione delle strutture anatomiche*. È stato valutato il grado di visualizzazione delle seguenti 8 strutture anatomiche: via biliare intraepatica, dotto epatico destro, dotto epatico sinistro, dotto epatico comune, coledoco, dotto pancreatico a livello della testa del pancreas, dotto pancreatico a livello del corpo, dotto pancreatico a livello della coda. Sono state valutate le strutture anatomiche dei pazienti che non presentavano alcun reperto patologico all'imaging e quelle dei pazienti i cui reperti patologici non condizionavano l'anatomia delle strutture valutate. La via biliare intraepatica è stata quindi valutata in 27 casi, il dotto epatico destro e il dotto epatico sinistro in 25 casi, il dotto epatico comune in 17 casi, il coledoco in 18 casi e il dotto epatico a livello della testa, del corpo e della coda del pancreas in 28 casi. La visualizzazione di queste strutture è stata valutata sulle immagini MIP delle sequenze 3D FSE e sulle immagini 2D single-shot FSE, e a ciascuna struttura è stato attribuito un punteggio compreso tra 0 e 3 (0=visualizzazione insufficiente, 1=visualizzazione scarsa, 2=visualizzazione buona, 3=visualizzazione ottima).

d) *Presenza di patologia e valutazione del livello di confidenza diagnostica*. La presenza di patologia è stata valutata sulle immagini MIP delle sequenze 3D FSE e sulle immagini 2D single-shot FSE. Le patologie sono state suddivise nei tre seguenti gruppi: dilatazione, stenosi e calcolosi della via biliare. In base alla sua entità la dilatazione è stata valutata di grado basso (dilatazione della via biliare che non supera del 50% il calibro della via biliare normale misurata a valle), di grado medio (dilatazione maggiore del 50% ma inferiore al 100% del calibro della via biliare normale misurata a valle) e di grado elevato (dilatazione maggiore del 100%). Analogamente l'entità della stenosi è stata valutata di grado basso (riduzione di calibro della via biliare inferiore al 50% rispetto al calibro della via biliare normale misurata a valle o a monte), di grado medio (riduzione di calibro della via biliare superiore al 50% rispetto al calibro della via biliare normale misurata a valle o a monte, senza dilatazione prestenotica) e di grado elevato (riduzione di calibro della via biliare superiore al 50% rispetto al calibro della via biliare normale misurata a valle, con dilatazione prestenotica). Infine è stata valutata la presenza dei calcoli e il loro numero qualora multipli.

Per ciascuna delle sequenze è stata valutata, per ognuno dei tre gruppi di patologia considerati, la confidenza diagnostica, espressa secondo i seguenti 5 livelli: diagnosi sicuramente positiva, probabilmente positiva, diagnosi dubbia, probabilmente negativa, sicuramente negativa.

Nei casi nei quali sulle immagini MIP delle sequenze 3D FSE non è stato espresso un livello di confidenza diagnostica di certezza, ma dubbio o probabile, la valutazione per la presenza di patologia è stata estesa anche alle immagini di partizione.

assessed on the MIP images of the 3D FSE sequences and on the 2D single-shot FSE images by assigning a score from 0 to 4 (0=non-diagnostic, 1=poor; 2=fair; 3=good, 4=excellent).

c) *Conspicuity of anatomical structures*. *The conspicuity of the following eight anatomical structures was evaluated: intrahepatic bile ducts, right hepatic duct, left hepatic duct, common hepatic duct, choledocus, pancreatic duct at the level of the pancreas head, pancreatic duct at the body level, and pancreatic duct at the tail level. The anatomical structures were evaluated for the patients with no radiological evidence of disease and for those with abnormal findings not affecting the anatomy of the structures. The intrahepatic bile ducts were therefore evaluated in 27 cases, the right and left hepatic ducts in 25, the common hepatic duct in 17, the choledocus in 18 and the pancreatic duct at the level of the pancreas head, body and tail in 28. Conspicuity of these structures was assessed on the MIP images of the 3D FSE sequences and on the 2D single-shot FSE images, and each structure was assigned a score between 0 and 3 (0=not visible, 1=poor, 2=good, 3=excellent).*

d) *Presence of disease and assessment of level of diagnostic confidence*. *The presence of disease was evaluated on the MIP images of the 3D FSE sequences and on the 2D single-shot FSE images. Abnormalities were subdivided into three groups: dilatation, stenosis and lithiasis of the biliary tract. Dilatation was further assessed as mild (up to 50% of the diameter of the normal bile duct measured downstream), moderate (over 50% but less than 100% of the diameter of the normal bile duct measured downstream) and severe (over 100%). Likewise, the degree of stenosis was evaluated as mild (less than 50% reduction in bile duct diameter compared to the normal diameter measured downstream or upstream from the stricture), moderate (over 50% reduction in bile duct diameter compared to the normal diameter measured downstream or upstream, without pre-stenotic dilatation) and severe (over 50% reduction in bile duct diameter compared to the normal diameter measured downstream, with pre-stenotic dilatation). Finally, the presence and, if multiple, the number of biliary stones were evaluated.*

For each of the three disease groups considered, each sequence was rated for diagnostic confidence using a five-point scale: definitely positive, probably positive, uncertain, probably negative, definitely negative.

Cases rated as uncertain or probable (not definite) on the MIP images of the 3D FSE sequences, were reassessed by extending the analysis to the cross-sectional images as well.

Statistical analysis

The differences among the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness, the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness and the 2D single-shot FSE sequence in terms of overall image quality, conspicuity of the anatomical structures and diagnostic confidence for the various diseases were

Analisi statistica

Le differenze tra la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm, la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm e la sequenza 2D single-shot FSE relativamente alla qualità globale delle immagini, al grado di visualizzazione delle strutture anatomiche e alla confidenza diagnostica per le varie patologie sono stati calcolati mediante il test di Wilcoxon (test statistico non parametrico per lo studio di variabili appaiate) considerando come livello di significatività statistica un valore di p pari a 0,05.

Risultati

Vengono presentati separatamente i risultati relativi ai seguenti parametri considerati: a) presenza di artefatti, b) qualità globale delle immagini, c) grado di visualizzazione delle strutture anatomiche, d) presenza di patologia e valutazione del livello di confidenza diagnostica.

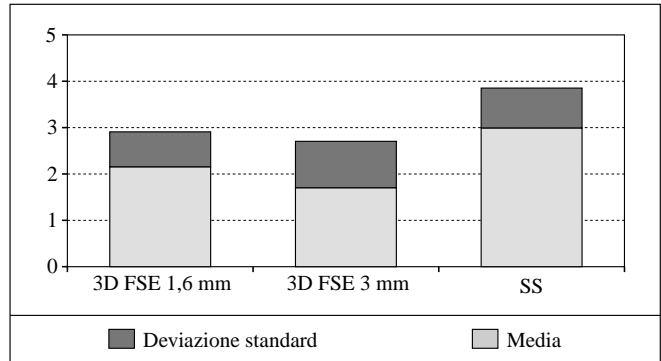
a) *Presenza di artefatti*. Gli artefatti sono risultati presenti sulle immagini MIP ottenute con la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm in 2 casi (6%), sulle immagini MIP ottenute con la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm in 4 casi (12%) e sulle immagini 2D single-shot FSE in 6 casi (18%). Gli artefatti evidenziati nei 2 casi sulle immagini MIP della sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm erano evidenti e hanno condizionato la valutazione diagnostica, mentre in 1 su 4 casi con artefatti sulle immagini MIP della sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm questi erano minimi e nei rimanenti 3 casi, anche se evidenti, non hanno condizionato la valutazione diagnostica. In 5 dei 6 casi con artefatti sulle immagini 2D single-shot FSE questi sono risultati minimi mentre in 1 caso gli artefatti, anche se evidenti, non hanno condizionato la valutazione diagnostica.

b) *Qualità globale delle immagini*. Con la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm le immagini non sono state mai giudicate di qualità non diagnostica, sono risultate di qualità scarsa in 6 casi (19%), discreta in 16 (50%), buona in 9 (28%) e ottima in 1 (3%). Con la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm le immagini sono state valutate non diagnostiche in 4 casi (13%), di qualità scarsa in 9 (28%), discreta in 11 (34%), buona in 8 (25%) e mai di qualità ottima. Con la sequenza 2D single-shot FSE le immagini non sono mai state giudicate non diagnostiche e la loro qualità è risultata scarsa in 1 caso (3%), discreta in 9 (28%), buona in 12 (37%) e ottima in 10 (32%).

Nella tabella I è riportato il punteggio medio (con relativa deviazione standard) ottenuto con ognuna delle tre sequenze. La sequenza 2D single-shot FSE ha ottenuto punteggi significativamente superiori sia rispetto alla sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm ($p < 0,001$), sia rispetto alla sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm ($p < 0,001$). La sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm ha ottenuto punteggi significativamente superiori rispetto alla 3D FSE con spessore di strato da 3 mm ($p < 0,05$).

c) *Grado di visualizzazione delle strutture anatomiche*. Nella tabella II sono riportati per ciascuna delle strutture anatomiche considerate il punteggio medio (con relativa deviazione standard) del grado di visualizzazione ottenuto con ognuna delle tre sequenze.

TABELLA I. — Qualità globale delle immagini con le 3 sequenze di CPRM valutate. (SS=2D single-shot FSE).
Overall image quality with the 3 MRCP sequences under evaluation. (SS=2D single-shot FSE).



analysed by using the Wilcoxon test (nonparametric test for paired variables); a p value of 0.05 was considered to indicate a statistically significant difference.

Results

The results are presented separately for the four parameters considered: a) presence of artefacts, b) overall image quality, c) conspicuity of anatomical structures, d) presence of disease and evaluation of level of diagnostic confidence.

a) *Presence of artefacts*. Artefacts were present on the MIP images from the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness in 2 cases (6%), on the MIP images from the 3D FSE sequences with 3-mm slice thickness in 4 cases (12%) and on the 2D single-shot FSE images in 6 cases (18%). The 2 cases of artefacts on the MIP images of the 3D FSE sequence with a 1.6-mm slice thickness were evident and affected diagnostic evaluation; of the 4 cases of artefacts on the MIP images of the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness the artefacts were minimal in 1 case and, although evident, they did not affect diagnostic evaluation in 3 cases. Five of the 6 cases of artefacts seen on the 2D single-shot FSE images were minimal, whereas in 1 case, although evident, they did not affect diagnostic evaluation.

b) *Overall image quality*. None of the images from the 3D FSE sequence with a slice thickness of 1.6 mm was considered to be non-diagnostic: image quality was rated "poor" in 6 cases (19%), "fair" in 16 (50%), "good" in 9 (28%) and "excellent" in 1 (3%). Of the images obtained with the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness, 4 (13%) were non-diagnostic, 9 (28%) were poor, 11 (34%) were fair, 8 (25%) were good, and none was excellent. None of the 2D single-shot FSE images was considered as "non-diagnostic", image quality was poor in 1 case (3%), fair in 9 (28%), good in 12 (37%) and excellent in 10 (32%).

Table I shows the average scores (with standard deviations) obtained by each of the three sequences. The 2D

TABELLA II. — Punteggio medio (con relativa deviazione standard) del grado di visualizzazione di ciascuna struttura anatomica ottenuto con le 3 sequenze di CPRM valutate. (SS=2D single-shot FSE).

	3D FSE 1,6 mm Punteggio medio±DS	3D FSE 3 mm Punteggio medio±DS	SS Punteggio medio±DS
Vie biliari intraepatiche	1,3±0,8	0,6±0,7	2,0±0,8
Dotto epatico destro	2,0±1,0	1,8±1,1	2,7±0,8
Dotto epatico sinistro	2,5±0,8	2,0±0,9	2,6±0,6
Dotto epatico comune	2,5±0,9	2,4±0,9	2,6±0,8
Coledoco	2,7±0,5	2,4±0,7	2,7±0,6
Dotto pancreatico-testa	1,6±1,3	1,2±1,2	2,1±1,2
Dotto pancreatico-corpo	1,6±1,2	0,9±1,2	2,0±1,2
Dotto pancreatico-coda	1,1±1,1	0,6±1,0	1,9±1,3

TABELLA III. — Confronto tra le 3 sequenze di CPRM valutate del grado di visualizzazione di ciascuna struttura anatomica: valori di significatività statistica. (SS=2D single-shot FSE).

	3D FSE 1,6 mm vs 3D FSE 3 mm	SS vs 3D FSE 1,6 mm	SS vs 3D FSE 3 mm
Vie biliari intraepatiche	<0,001	0,003	<0,001
Dotto epatico destro	0,03	0,05	<0,001
Dotto epatico sinistro	0,01	0,3	0,004
Dotto epatico comune	0,08	0,7	0,16
Coledoco	0,06	1	0,13
Dotto pancreatico-testa	0,02	0,002	<0,001
Dotto pancreatico-corpo	0,001	0,02	<0,001
Dotto pancreatico-coda	0,006	0,001	<0,001

Nella tabella III sono riportati i valori di significatività statistica relativi al confronto, per ciascuna struttura anatomica, tra sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm e 3D FSE con spessore di strato da 3 mm, sequenza 2D single-shot FSE e 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm, e tra sequenza 2D single-shot FSE e 3D FSE con spessore di strato da 3 mm. Il confronto tra le 3 sequenze non ha fatto rilevare differenze statisticamente significative nella valutazione della via biliare principale. Per quanto riguarda le altre strutture valutate la sequenza 2D single-shot FSE ha sempre ottenuto risultati significativamente superiori rispetto alla 3D FSE con spessore di strato da 3 mm, e ha fatto rilevare risultati significativamente superiori rispetto alla 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm per quanto riguarda la visualizzazione della via biliare intraepatica e del dotto pancreatico (fig. 1). La sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm si è dimostrata significativamente superiore alla 3D FSE con spessore di strato da 3 mm per quan-

TABLE II.—Mean value (with standard deviation) for the 3 MRCP sequences under evaluation as to duct conspicuity for each individual portion of the pancreaticobiliary tree. (SS=2D single-shot FSE).

	3D FSE 1.6 mm Mean score±SD	3D FSE 3 mm Mean score±SD	SS Mean score±SDS
Intrahepatic bile ducts	1.3±0.8	0.6±0.7	2.0±0.8
Right hepatic duct	2.0±1.0	1.8±1.1	2.7±0.8
Left hepatic duct	2.5±0.8	2.0±0.9	2.6±0.6
Common bile duct	2.5±0.9	2.4±0.9	2.6±0.8
Choledocus	2.7±0.5	2.4±0.7	2.7±0.6
Pancreatic duct-head	1.6±1.3	1.2±1.2	2.1±1.2
Pancreatic duct-body	1.6±1.2	0.9±1.2	2.0±1.2
Pancreatic duct-tail	1.1±1.1	0.6±1.0	1.9±1.3

TABLE III.—Comparison between the 3 MRCP sequences under evaluation as to ducts conspicuity for each individual portion of pancreaticobiliary tree: *p* values. (SS=2D single-shot FSE).

	3D FSE 1.6 mm vs 3D FSE 3 mm	SS vs 3D FSE 1.6 mm	SS vs 3D FSE 3 mm
Intrahepatic bile ducts	<0.001	0.003	<0.001
Right hepatic duct	0.03	0.05	<0.001
Left hepatic duct	0.01	0.3	0.004
Common bile duct	0.08	0.7	0.16
Choledocus	0.06	1	0.13
Pancreatic duct-head	0.02	0.002	<0.001
Pancreatic duct-body	0.001	0.02	<0.001
Pancreatic duct-tail	0.006	0.001	<0.001

single-shot FSE sequence obtained significantly higher scores than both the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness ($p<0.001$) and the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness ($p<0.001$). The 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness obtained significantly higher scores than the 3D FSE sequence with a slice thickness of 3 mm ($p<0.05$).

c) Conspicuity of anatomical structures. Table II shows the average scores (with standard deviations) for the conspicuity of each anatomical structure obtained with each of the three sequences. Table III shows the statistical significance values for comparisons between the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness and the 3D FSE with 3-mm slice thickness, the 2D single-shot FSE sequence and the 3D FSE with 1.6-mm slice thickness, and between the 2D single-shot FSE sequence and the 3D FSE sequence with a slice thickness of 3 mm, for each anatomical struc-



Fig. 1. — Aspetto normale della via biliare e del dotto di Wirsung. A) Sequenza 2D single-shot FSE. B) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm. C) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm. La sequenza 2D single-shot FSE consente una migliore visualizzazione della via biliare intraepatica e del dotto di Wirsung rispetto alle altre due sequenze. Nelle ricostruzioni MIP, in particolare in quella ottenuta dalla sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm, la sovrapposizione delle diramazioni portali condiziona la visualizzazione della via biliare intraepatica.

Normal appearance of the biliary tree and of the pancreatic duct. A) 2D single-shot FSE sequence. B) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=1.6 mm. C) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm. The 2D single-shot FSE sequence better depicts the intrahepatic biliary ducts and the pancreatic duct. The MIP reconstruction images are affected by portal veins overlapping the biliary tree, which is more evident in the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm.

to riguarda la visualizzazione di tutte le strutture valutate ad eccezione della via biliare principale (fig. 2).

d) *Presenza di patologia e valutazione del livello di confidenza diagnostica.* In 14 dei 32 pazienti esaminati non è stato trovato alcun reperto patologico a carico delle vie biliari con nessuna delle sequenze impiegate. Nei rimanenti 18 pazienti è stata documentata una dilatazione della via biliare in 17 casi, una stenosi in 10 casi e una calcolosi della via biliare in 6 casi.

Tutte le tre sequenze sono risultate concordi nell'individuare i 17 casi di *dilatazione della via biliare* e nel valutarne l'entità che è risultata essere di grado basso in 8 casi, di grado medio in 7 casi e di grado elevato in 2 casi. Tutte le tre sequenze hanno sempre consentito di esprimere un giudizio di certezza sulla presenza o assenza di dilatazione della via biliare (figg. 3, 4).

Le tre sequenze sono risultate concordi anche nel riconoscimento dei 10 casi di *stenosi* e nella valutazione del grado della stessa, che è risultata di grado elevato in tutti i 10 casi (figg. 3, 4).

Per quanto riguarda la confidenza diagnostica non sono emerse differenze statisticamente significative tra le tre sequenze.

La *presenza di calcoli nella via biliare* è stata diagnosticata in 6 casi con la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm, in 4 casi con la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm, e in 6 casi con la sequenza 2D single-shot FSE. La concordanza tra le tre sequenze nell'evidenziazione dei calcoli si è avuta in 4 su 6 casi, rispettivamente 3 casi in cui è stato evidenziato un calcolo singolo e 1 caso nel quale sono stati evidenziati 2 calcoli. Nel caso in cui sono stati evidenziati 2 calcoli la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm ha peraltro evidenziato un'ulteriore formazione litiasica. La discordanza tra le tre sequenze si è avuta in 2 casi. In un caso la sequenza 2D single-shot FSE ha evidenziato 4

ture. The comparisons revealed no statistically significant differences in evaluating the common bile duct. With regard to the other structures, the 2D single-shot FSE sequence yielded significantly better results than the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness in all cases, and significantly better results than the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness in evaluating the intrahepatic bile ducts and the pancreatic duct (fig. 1). The 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness performed significantly better than the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness in depicting all of the structures considered with the exception of the common bile duct (fig. 2).

d) *Presence of disease and evaluation of level of diagnostic confidence.* In 14 of the 32 patients examined there was no biliary tract abnormality in any of the sequences used. In the remaining 18 patients biliary dilatation was detected in 17 cases, stenosis in 10 cases and biliary stones in 6.

All of the three sequences yielded comparable results in identifying the 17 cases of biliary dilatation and evaluating its degree, which was mild in 8 cases, moderate in 7 and severe in 2. All of the three sequences enabled a definite diagnosis of the presence or absence of biliary dilatation (figs. 3, 4).

The three sequences also yielded comparable results in detecting the 10 cases of stenosis and in evaluating its degree, which was severe in all 10 cases (figs. 3, 4).

Regarding diagnostic confidence there were no statistically significant differences among the three sequences.

The presence of biliary stones was diagnosed with the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness in 6 cases, with the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness in 4 cases, and with the 2D single-shot FSE sequence in 6 cases. There was concordance among the three sequences in detecting

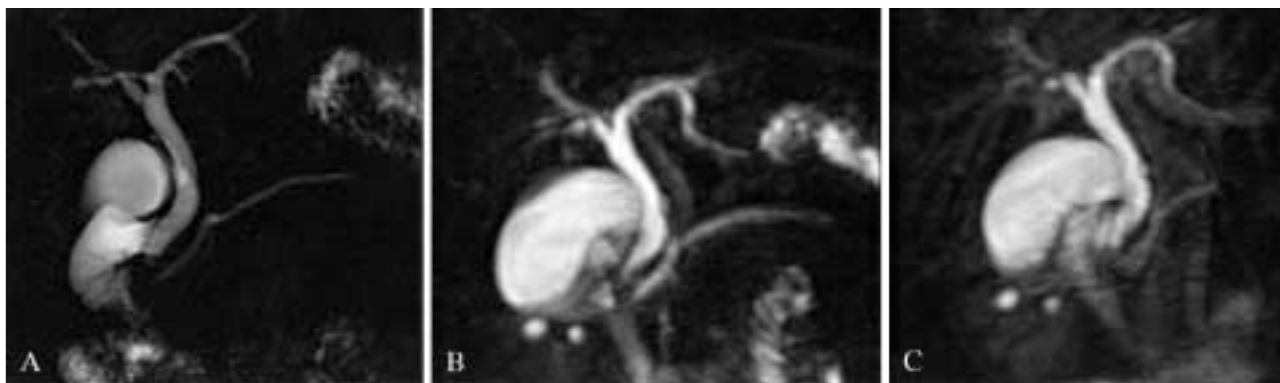


Fig. 2. — Aspetto normale della via biliare e del dotto di Wirsung. A) Sequenza 2D single-shot FSE. B) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm. C) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm. La sequenza 2D single-shot FSE consente una visualizzazione ottimale della intera via biliare e del dotto di Wirsung. La ricostruzione MIP ottenuta dalla sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm consente, rispetto a quella ottenuta dalla sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm, una visualizzazione migliore, in particolare del dotto di Wirsung.

Normal appearance of the biliary tree and of the pancreatic duct. A) 2D single-shot FSE sequence. B) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=1.6 mm. C) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm. The 2D single-shot FSE sequence excellently depicts the entire biliary tree and the pancreatic duct. The MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=1.6 mm better shows the anatomical features (the pancreatic duct above all) when compared to the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm.

calcoli mentre la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm ne ha evidenziati 3 e la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm è risultata negativa (fig. 5). In un altro caso la sequenza 2D single-shot FSE e la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm hanno evidenziato un piccolo calcolo coledocico, non evidenziato nella sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm.

L'analisi statistica non ha fatto rilevare differenze significative tra le tre sequenze per quanto riguarda la confidenza diagnostica per la presenza di calcoli nella via biliare.

Discussione

In letteratura sono riportate numerose sequenze di colangiopancreatografia con RM per lo studio della via biliare e del dotto pancreatico.

Storicamente gli esami di CPRM sono stati inizialmente effettuati utilizzando una sequenza fortemente pesata in T2 (steady-state of free precession-SSFP) [17, 23]. Essa è stata rapidamente sostituita da sequenze 2D FSE in apnea caratterizzate da un più elevato rapporto segnale/rumore e contrasto/rumore e che risultano meno condizionate da artefatti da flusso, movimento e suscettibilità magnetica [23]. Al fine di risolvere i problemi legati ai lunghi tempi di apnea che richiedono pazienti collaboranti, sono state sviluppate le tecniche 3D FSE [24, 25] che rispetto alle 2D FSE presentano una più elevata risoluzione spaziale e un maggiore rapporto contrasto/rumore [24]. Successivamente sono state introdotte la sequenza single-shot RARE (rapid acquisition with relaxation enhancement) e la sequenza HASTE (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo) che consentono una rapida acquisizione di immagine con riduzione degli artefatti respiratori e di quelli legati alla suscettibilità magnetica [3, 19]. La sequenza RARE presenta un rapporto di intensità di segnale e un rapporto contrasto/rumore superiore alla sequenza HASTE [26], mentre quest'ulti-

mary biliary stones in 4 out of 6 cases, 3 of which with a single stone and 1 of which with 2 stones. In the case with 2 stones the 3D FSE sequence with 1-6-mm slice thickness, however, detected the presence of a further stone. There was discordance among the three sequences in 2 cases. In one case the 2D single-shot FSE sequence depicted 4 stones, whereas the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness detected 3 and the 3D FSE sequence with 3-mm slice thickness was negative (fig. 5). In another case the 2D single-shot FSE sequence and the 3D FSE sequence with 1.6-mm slice thickness identified a small choledocal stone, which was not detected by the 3D FSE sequence with a 3-mm slice thickness.

Statistical analysis identified no significant differences among the three sequences regarding their diagnostic confidence in detecting biliary stones.

Discussion

Many MR cholangiopancreatographic sequences for the study of pancreaticobiliary ducts have been reported in the literature.

Historically, MRCP studies were initially performed using a heavily T2-weighted sequence (steady-state of free precession-SSFP) [17, 23]. This was soon replaced by breath-hold 2D FSE sequences which are characterised by higher signal-to-noise ratio and contrast-to-noise ratio and are less affected by flow, motion and magnetic-susceptibility artefacts [23]. To overcome the problems related to long breath-hold times, which require cooperating patients, 3D FSE techniques were developed [24, 25] which had higher spatial resolution and better contrast-to-noise ratio compared to 2D FSE [24]. Subsequently, the introduction of single-shot RARE (rapid acquisition with relaxation enhancement) and HASTE (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo)

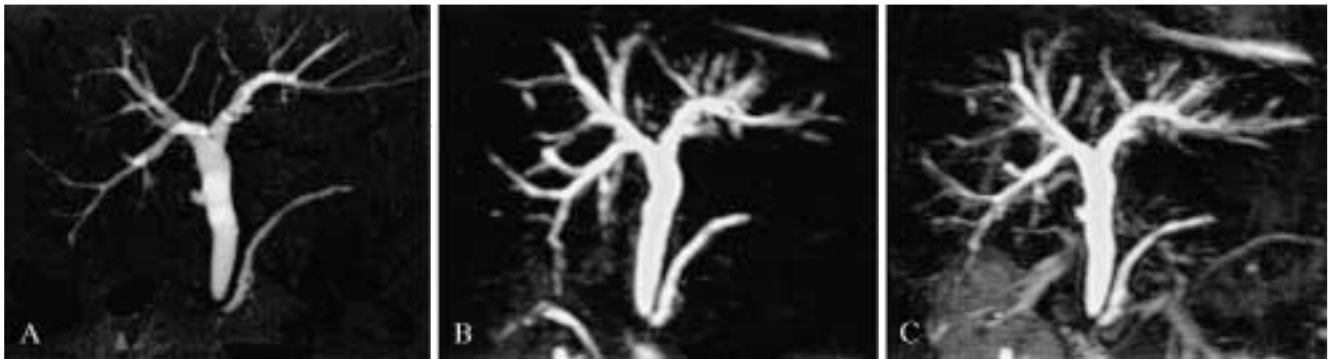


Fig. 3. — Papillodite con dilatazione di grado medio della via biliare principale. A) Sequenza 2D single-shot FSE. B) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm. C) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm. Tutte e tre le sequenze individuano adeguatamente la dilatazione della via biliare intra- ed extra-epatica sino al tratto più distale del coledoco.

Odditis with mild dilatation of the biliary tree. A) 2D single-shot FSE sequence. B) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=1.6 mm. C) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm. The three sequences are equally effective in detecting the dilatation of the intra- and extrahepatic biliary tree as far as the distal choledocus.

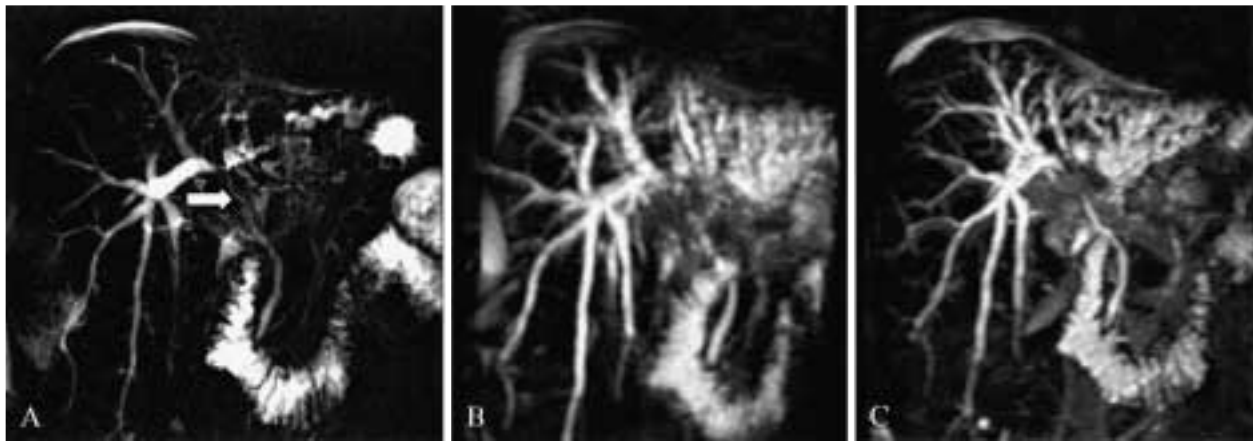


Fig. 4. — Colangiocarcinoma della placca ilare con dilatazione della via biliare intraepatica. A) Sequenza 2D single-shot FSE. B) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1.6 mm. C) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm. Tutte e tre le sequenze documentano la dilatazione della via biliare intraepatica. La sequenza 2D single-shot FSE dimostra meglio delle altre la stenosi della via biliare all'ilo (freccia).

Hilar cholangiocarcinoma with dilatation of the intrahepatic biliary tree. A) 2D single-shot FSE sequence. B) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness = 1.6 mm. C) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness = 3 mm. All three sequences show the dilatation of the intrahepatic biliary ducts. The 2D single-shot FSE sequence better shows the hilar stenosis of the biliary tree (arrow).

ma presenta un rapporto contrasto/rumore superiore a tutte le precedenti [17]. I risultati superiori della sequenza RARE su base teorica e sulla base dei risultati clinici [20, 21] ci hanno indotto ad effettuare l'acquisizione della sequenza 2D single-shot con tecnica RARE piuttosto che HASTE.

Le sequenze di CPRM possono anche essere sostanzialmente suddivise in due gruppi: tecniche proiettive e tecniche che utilizzano l'algoritmo di ricostruzione MIP (Maximum-Intensity Projection).

Le *tecniche proiettive* studiano, in un'unica immagine o "proiezione", su un piano coronale o coronale obliquo, le vie biliari e il dotto pancreatico. Con queste tecniche le strutture di interesse vengono analizzate utilizzando un grosso spessore di strato (2-10 cm), un lungo treno di echi e un TE estremamente lungo tale da rappresentare solo i fluidi stati-

sequences enabled faster image acquisition with fewer respiratory and magnetic-susceptibility artefacts [3, 19]. The RARE sequence has a better signal intensity ratio and contrast-to-noise ratio compared to HASTE [26], whereas HASTE has a better contrast-to-noise ratio compared to all the other sequences [17]. The reported superior performance of the RARE sequence, both theoretical and based on clinical results [20, 21] prompted us to perform the acquisition of the 2D single-shot sequence with the RARE, rather than HASTE, technique.

MRCP sequences may also be classed into two groups: projection techniques and techniques employing the MIP (Maximum-Intensity Projection) reconstruction algorithm.

Projection techniques study the pancreaticobiliary ducts in a single image or projection in the coronal or oblique

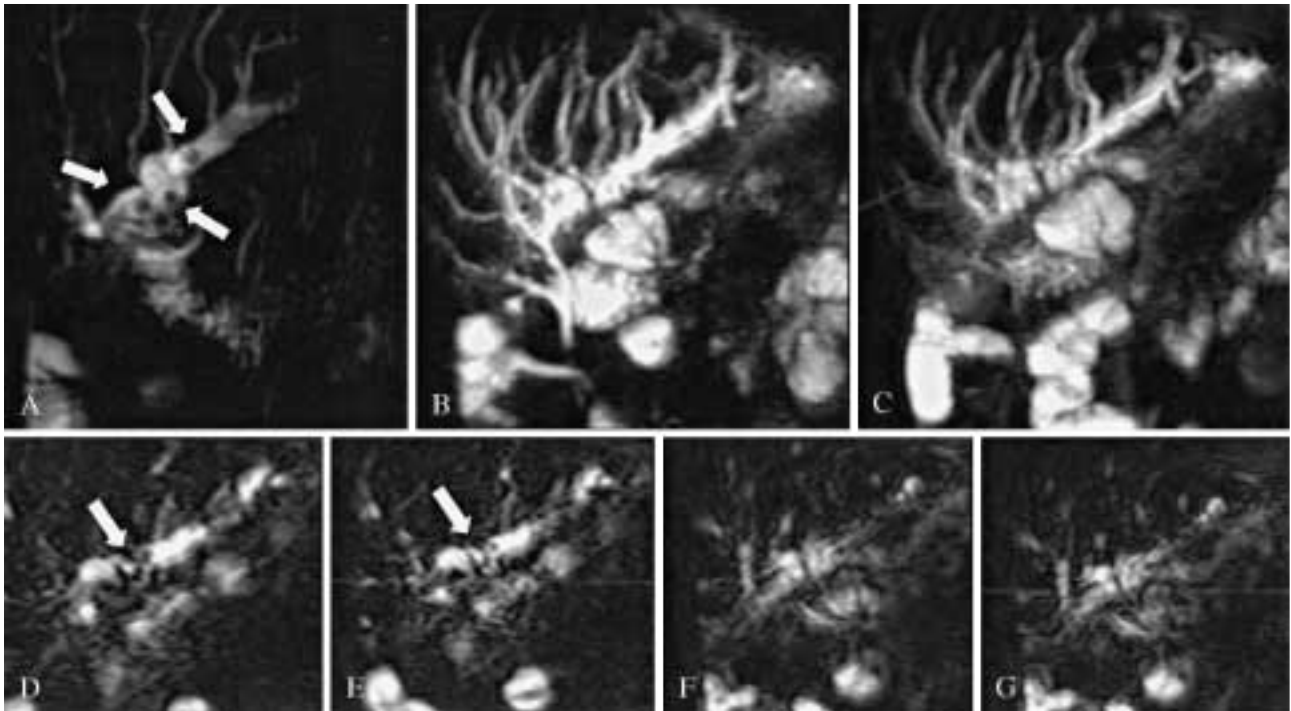


Fig. 5. — Esiti di epaticodigiunostomia con calcolosi della via biliare intraepatica. A) Sequenza 2D single-shot FSE. B) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm. C) Ricostruzione MIP da sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm. Tutte e tre le sequenze dimostrano la dilatazione della via biliare intraepatica. La sequenza 2D single-shot FSE dimostra 4 calcoli intraepatici (freccie) non riconoscibili nelle ricostruzioni MIP delle altre due sequenze. Tre dei 4 calcoli sono riconoscibili nelle immagini di partizione della sequenza 3D FSE con spessore di strato da 1,6 mm (D, E) (freccie), mentre nessuno di essi è rilevabile nelle immagini di partizione della sequenza 3D FSE da 3 mm (F, G).

Sequelaes of hepaticojejunostomy with stones in the intrahepatic biliary ducts. A) 2D single-shot FSE sequence. B) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=1.6 mm. C) MIP reconstruction image from the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm. All three sequences show the dilatation of the intrahepatic biliary ducts. The 2D single-shot FSE sequence shows four intrahepatic stones (arrows) which are undetected in the MIP image reconstruction from the other two sequences. Three out of four stones are shown in the cross-sectional images of the 3D FSE sequence with slice thickness=1.6 mm (D, E) (arrows), while none is detected in the cross-sectional images of the 3D FSE sequence with slice thickness=3 mm (F, G).

ci. Il tempo di acquisizione varia solitamente tra 1 e 5 secondi per acquisizione.

Le tecniche che utilizzano l'algoritmo di ricostruzione MIP forniscono immagini elaborate a partire da multiple immagini di partizione. Tali tecniche presentano un limite intrinseco all'algoritmo impiegato rappresentato dall'aumento del segnale di fondo con conseguente diminuzione della risoluzione di contrasto [27].

I risultati del nostro studio, relativi al confronto tra la tecnica proiettiva con sequenza 2D single-shot FSE e due sequenze 3D FSE a diverso spessore di strato, vengono discussi analizzando separatamente i dati emersi per quanto riguarda la presenza di artefatti, la qualità globale delle immagini, il grado di visualizzazione delle strutture anatomiche e la presenza di patologia con valutazione del livello di confidenza diagnostica. Per quanto riguarda la presenza di artefatti tutte le sequenze hanno consentito di ottenere immagini relativamente libere da artefatti importanti e questo risultato testimonia la validità delle sequenze di CPRM sull'apparecchiatura utilizzata.

In realtà ad una prima valutazione dei risultati potrebbe sembrare che la sequenza 2D single-shot FSE sia più condizionata da artefatti rispetto alle sequenze 3D FSE. Peraltro, in 5 dei 6 casi con artefatti sulle immagini della sequenza

coronal plane. The structures of interest are imaged using thick sections (2-10 cm), a long echo train and an extremely long TE such that only stationary fluids are visualised. Acquisition time usually ranges from 1 to 5 seconds per acquisition.

Techniques employing the MIP reconstruction algorithm provide images processed from multiple cross-sectional images. These techniques suffer a limitation inherent in the algorithm itself, that is higher background signal and therefore lower contrast resolution [27].

In discussing our results regarding the comparison between the projection technique with 2D single-shot FSE sequence and the two 3D FSE sequences with different slice thickness, we will analyse our findings on the presence of artefacts, overall image quality, conspicuity of anatomical structures and the presence of disease with assessment of level of diagnostic confidence separately.

As regards the presence of artefacts, all sequences produced images that were relatively free of major artefacts, which demonstrates the value of the MRCP sequences with the equipment used.

In fact, an initial evaluation of results shows the 2D sin-

2D single-shot FSE questi sono risultati minimi e non hanno mai condizionato la valutazione diagnostica. Viceversa gli artefatti nelle sequenze 3D FSE, anche se rari, hanno condizionato la valutazione diagnostica in 2 casi. La minore entità degli artefatti da noi riscontrati sulle immagini della sequenza 2D single-shot FSE trova riscontro in letteratura in lavori che confrontano la sequenza single-shot RARE con la sequenza multislice HASTE [20, 21] ed è conseguenza del minor tempo di acquisizione che riduce al minimo gli artefatti legati al movimento delle anse intestinali, al chemical shift, alla suscettibilità magnetica e a quelli legati alla respirazione e alla pulsabilità vascolare.

Per ciò che concerne la *qualità globale delle immagini* si è evidenziato un maggior punteggio della sequenza 2D single-shot FSE con valori che risultano significativamente superiori rispetto alle altre due sequenze (in entrambi i casi $p < 0.001$).

Nelle immagini ottenute con la sequenza 2D single-shot FSE si è apprezzata una maggior nettezza dei contorni delle vie biliari rispetto a quanto evidente nelle sequenze 3D FSE è ciò riflette verosimilmente il maggior rapporto di intensità di segnale e il maggior rapporto contrasto/rumore.

Considerando il confronto tra le due sequenze 3D FSE a diverso spessore di strato, il risultato migliore ottenuto con la sequenza con spessore di 1.6 mm rispetto a quella con spessore di 3 mm può essere in parte spiegato dal fatto che la sequenza 3D FSE con spessore di strato da 3 mm ha risentito della sovrapposizione di strutture vascolari, in particolare dell' albero portale, e ciò ha sicuramente penalizzato queste immagini. Va rilevato come la diversa soppressione delle strutture vascolari sia legata al diverso TE delle due sequenze 3D FSE (650 ms per quella con spessore di strato da 1,6 mm e 350 ms per quella con spessore di strato da 3 mm). Infatti un valore di TE più basso determina una minore soppressione del fondo, e quindi anche delle strutture vascolari.

L'analisi del *grado di visualizzazione delle strutture anatomiche* ha messo in evidenza la superiorità delle sequenze 2D single-shot FSE rispetto ad entrambe le sequenze 3D FSE. In particolare è emersa una maggiore validità della sequenza 2D single-shot FSE nella visualizzazione di strutture anatomiche di piccole dimensioni quali i dotti intraepatici e il dotto di Wirsung. La superiorità a tale riguardo della tecnica colangiografica proiettiva rispetto a quelle che utilizzano l'algoritmo di ricostruzione MIP trova conferma in letteratura [21, 28] ed è riferita a vari fattori, in primo luogo al maggior rapporto di intensità di segnale e al maggior rapporto contrasto/rumore [21]. Inoltre le immagini ottenute con la sequenza 2D single-shot FSE, come già sottolineato, sono meno gravate da artefatti e dalla sovrapposizione delle strutture vascolari, ed ancora tale risultato si deve ricondurre ai limiti intrinseci all'algoritmo di ricostruzione MIP che, per l'aumento del segnale di fondo e la conseguente diminuzione della risoluzione di contrasto, dimostra meno nettamente i piccoli dotti.

Per quanto riguarda la *presenza di eventuale patologia* (dilatazione, stenosi, calcoli) non sono state rilevate differenze significative tra le tre sequenze impiegate sia in termini di riconoscimento di patologia sia in termini di confidenza diagnostica. In particolare sono stati ottenuti risultati assolutamente sovrapponibili per quanto riguarda la presenza/assenza di dilatazione, senza alcun dubbio diagnostico.

Per quanto concerne la valutazione dei livelli di confidenza diagnostica relativi alla presenza/assenza di stenosi si sono

gle-shot FSE sequence to be more affected by artefacts than the 3D FSE sequences. In 5 of the 6 cases showing artefacts on the 2D single-shot FSE sequence images, these were minimal and never affected the diagnostic evaluation. Conversely, the artefacts in the 3D FSE sequences, although rare, affected the diagnostic evaluation in 2 cases. The finding of fewer artefacts on the 2D single-shot FSE sequence images is confirmed by literature reports comparing the single-shot RARE sequence to the multislice HASTE sequence [20, 21] and results from the shorter acquisition time that drastically reduces artefacts related to bowel movement, chemical shift, magnetic susceptibility, respiration and vascular pulsatility.

In the evaluation of overall image quality the 2D single-shot FSE sequence scored significantly better than the other two sequences (in both cases $p < 0.001$). In the images obtained with the 2D single-shot FSE sequence the biliary duct contours were sharper compared to the 3D FSE sequences, which probably reflects the better signal intensity ratio and contrast-to-noise ratio of these sequences.

With regard to the comparison between the two 3D FSE sequences with different slice thickness, the superiority of the 1.6-mm slice thickness over the 3-mm thickness may in part be explained by vascular overlapping (in particular by the portal veins) affecting the quality of the images from 3D FSE sequence with a 3-mm slice thickness. It should be noted that the difference in vascular suppression is related to the different TE of the two 3D FSE sequences (650 ms for the 1.6-mm slice thickness and 350 ms for the 3-mm thickness), given that a lower TE value results in less suppression of the background signal, and therefore of vascular structures.

The analysis of the conspicuity of anatomical structures demonstrated the superiority of the 2D single-shot FSE sequence over both the 3D FSE sequences. In particular, the 2D single-shot FSE sequence better visualised small structures, such as the intrahepatic ducts and the duct of Wirsung. This superiority of the cholangiographic projection technique over those employing the MIP reconstruction algorithm is corroborated by the literature [21, 28] and is accounted for by a number of factors, the most important of which are the greater signal intensity ratio and contrast-to-noise ratio [21].

Furthermore, the images yielded by the 2D single-shot FSE sequence, as previously mentioned, are less affected by artefacts and vascular overlapping; this is related to the limitations inherent in the MIP reconstruction algorithm, which is less effective in depicting small ducts due to higher background signal and lower contrast resolution.

With regard to the presence of disease (dilatation, stenosis, stones) there were no significant differences among the three sequences in terms of either identification of disease or diagnostic confidence.

In particular, the results were comparable for detecting the presence/absence of dilatation without any diagnostic uncertainty.

osservate delle lievi differenze, peraltro non statisticamente significative, a favore della sequenza 2D single-shot FSE. Ulteriore elemento a favore della sequenza 2D single-shot FSE è la considerazione che questa si basa sulla valutazione di un numero limitato di immagini (9 con la tecnica da noi utilizzata) mentre la valutazione delle immagini MIP e di partizione comporta nel caso della sequenza 3D FSE a spessore di strato di 1.6 mm la valutazione di almeno 120 immagini e nel caso della sequenza 3D FSE a spessore di strato di 3 mm la valutazione di almeno 50 immagini.

Questi dati sono in accordo con quanto riportato in letteratura [21, 25, 28]. Morrin *et al.* [21] hanno rilevato valori di sensibilità e specificità più elevati con la sequenza single-shot RARE rispetto alla sequenza multislice HASTE sia nel riconoscimento di dilatazione sia in quello di stenosi. La differenza risultava statisticamente significativa quando si prendeva in considerazione la stenosi dei dotti intraepatici e del dotto pancreatico.

Per quanto riguarda il riconoscimento dei calcoli biliari, non sono state riscontrate differenze significative tra le tre sequenze, ma va sottolineato come i casi osservati fossero soltanto 6. Nel complesso i risultati da noi ottenuti possono essere letti a favore della sequenza 2D single-shot FSE in quanto questa richiede la valutazione di un numero limitato di immagini rispetto alle altre due, come abbiamo già precedentemente precisato. In letteratura si sottolinea tuttavia come quando si utilizza una tecnica di CPRM di tipo "proiettivo", i calcoli possono risultare mascherati per effetto volume parziale, in particolare quando le vie biliari siano notevolmente dilatate [21, 25]. Peraltro Soto *et al.* [25], in 24 pazienti con calcolosi della via biliare hanno riportato una sensibilità e specificità sovrapponibili per quanto riguarda il riconoscimento di calcoli per la sequenza 3D FSE e per la sequenza single-section half-Fourier RARE con spessore di 30 mm. Non si è quindi ancora giunti in letteratura a un accordo su quale sia la sequenza più adatta alla dimostrazione di calcoli nella via biliare. Vi è comunque l'orientamento a preferire la tecnica "proiettiva" rispetto a quella 3D FSE facendo successivamente ricorso a quest'ultima solo quando permangono dubbi su un'eventuale litiasi delle vie biliari.

Conclusioni

Dall'analisi dei nostri risultati è emersa una superiorità della sequenza 2D single-shot FSE rispetto alle sequenze 3D FSE nella valutazione della via biliare. Questo dato presenta una sua ricaduta in termini pratici. Si può pertanto concludere che l'esame di CPRM può essere oggi condotto con una sequenza estremamente pratica e veloce quale la sequenza 2D single-shot FSE che consente di acquisire un numero di immagini variabili da 9 a 12 secondo angolazioni diverse. La sequenza è rapidissima durando circa un secondo per acquisizione e, per questa ragione, è ottimamente tollerata dai pazienti anche poco collaboranti. Questa sequenza ha dimostrato la sua validità anche per strutture di piccole dimensioni come l'albero biliare intraepatico e il dotto di Wirsung. Inoltre la sequenza risulta particolarmente valida nel momento in cui ci si sposta da esami puramente morfologici ad esami dinamici quali lo studio funzionale dello sfintere di Oddi e gli esami condotti con secretina per lo studio del Wirsung.

As for the evaluation of the levels of confidence in diagnosing the presence/absence of stenosis, there were slight, though not statistically significant, differences in favour of the 2D single-shot FSE sequence. Another advantage of the 2D single-shot FSE sequence is that diagnosis is based on the evaluation of a limited number of images (9 with the technique employed in this study) whereas the evaluation of the MIP and cross-sectional images involves reading at least 120 images in the case of the 1.6-mm slice thickness 3D FSE sequence and 50 images in the case of the 3-mm slice thickness sequence.

These findings are in agreement with previous studies [21, 25, 28]. Morrin et al [21] reported higher sensitivity and specificity of the single-shot RARE sequence compared to the multislice HASTE in visualising both dilatation and stenosis. The difference was statistically significant when intrahepatic and pancreatic duct stenosis was considered.

As regards identification of biliary stones, no significant differences were found among the three sequences; it should, however, be noted that there were only 6 cases in the series. Overall, the results obtained appear to point to a superiority of the 2D single-shot FSE sequence given that, as previously stated, it requires evaluation of a smaller number of images compared to the other two sequences. The literature, however, reports that when a "projective" MRCP technique is used, stones may be obscured by partial volume effects, particularly in cases of considerable dilatation of the biliary tract [21, 25]. Nonetheless, in 24 patients with biliary stones Soto et al [25] reported similar sensitivity and specificity for stone identification of the 3D FSE sequence and the single-section half-Fourier RARE with a section thickness of 30 mm. No agreement has therefore been reached as to the best sequence for demonstrating biliary stones, although there is a tendency to prefer the projection technique to the 3D FSE technique, and to use the latter only when doubts persist on the presence of biliary lithiasis.

Conclusions

The analysis of our results point to a superiority of the 2D single-shot FSE sequence over 3D FSE sequences in the evaluation of the biliary tract, a finding that has implications for clinical practice. We can therefore conclude that MRCP can be performed using a practical and fast sequence such as 2D single-shot FSE which yields 9 to 12 images at different angles. This very fast sequence lasts about one second per acquisition and is therefore very well tolerated even by poorly cooperative patients.

This sequence has demonstrated its value even in depicting small structures, such as the intrahepatic biliary tree and the duct of Wirsung. In addition, the sequence is particularly useful when, rather than purely morphological imaging, dynamic studies are needed, such as the functional study of the sphincter of Oddi and examinations after secretin administration for the study of the duct of Wirsung.

Bibliografia/References

- 1) Becker CD, Grossholz M, Becker M *et al*: Cholelithiasis and bile duct stenosis: diagnostic accuracy of MR cholangiopancreatography. *Radiology* 205: 523-530, 1997.
- 2) Lee MG, Lee HJ, Kim MH *et al*: Extrahepatic biliary diseases. 3D MR cholangiopancreatography compared with endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Radiology* 202: 663-669, 1997.
- 3) Fulcher A, Turner MA, Capps G *et al*: Half-Fourier RARE MR cholangiopancreatography: experience in 300 subjects. *Radiology* 207: 21-32, 1998.
- 4) Barish MA, Yucel EK, Ferrucci JT: Magnetic resonance cholangiopancreatography. *N Engl J Med* 341: 258-264, 1999.
- 5) Arslan A, Geitung JT, Viktil E *et al*: Pancreaticobiliary diseases. Comparison of 2D single-shot turbo spin-echo MR cholangiopancreatography with endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Acta Radiol* 41: 621-626, 2000.
- 6) Manfredi R, Brizi MG, Masselli G *et al*: Stenosi maligne ilari delle vie biliari: correlazione tra la colangiografia con risonanza magnetica e le colangiografie dirette. *Radiol Med* 102: 48-54, 2001.
- 7) Soto JA, Barish MA, Yucel EK *et al*: Pancreatic duct: MR cholangiopancreatography with a three dimensional fast spin-echo technique. *Radiology* 196: 459-464, 1995.
- 8) Barish MA, Soto JA, Yucel EK: Magnetic resonance cholangiopancreatography of the biliary ducts: techniques, clinical application and limitations. *Top Magn Reson Imaging* 8: 302-311, 1996.
- 9) Barish M, Soto J, Ferrucci J: Magnetic resonance pancreatography. *Endoscopy* 29: 487-495, 1997.
- 10) Calvo MM, Bujanda L, Calderon A *et al*: Comparison between magnetic resonance cholangiopancreatography and ERCP for evaluation of the pancreatic duct. *Am J Gastroenterol* 97: 347-353, 2002.
- 11) Kim TK, Kim BS, Kim JH *et al*: Diagnosis of intrahepatic stones: superiority of MR cholangiopancreatography over endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *AJR* 179: 429-434, 2002.
- 12) David V, Reinhold C, Hochman M *et al*: Pitfalls in the interpretation of MR cholangiopancreatography. *AJR* 170: 1055-1059, 1998.
- 13) Laubenberger J, Buchert M, Schneider B *et al*: Breath-hold projection MRCP: a new method for the examination of bile and pancreatic ducts. *Magn Reson Med* 33: 18-23, 1995.
- 14) Miyazaki T, Yamashita Y, Tsuchigame T *et al*: MR cholangiopancreatography using HASTE (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin-echo) sequences. *AJR* 166: 1297-1303, 1996.
- 15) Matos C, Metens T, Deviere J *et al*: Pancreatic duct: morphologic and functional evaluation with dynamic MR pancreatography after secretin stimulation. *Radiology* 203: 435-441, 1997.
- 16) Holzknecht N, Gauger J, Sackmann M *et al*: Breath-hold MR cholangiopancreatography with snapshot techniques: prospective comparison with endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Radiology* 206: 657-664, 1998.
- 17) Irie H, Honda H, Tajima T *et al*: Optimal MR cholangiopancreatographic sequence and its clinical application. *Radiology* 206: 379-387, 1998.
- 18) Hundt W, Petsch R, Scheidler J, Reiser M: Clinical evaluation of further-developed MRCP sequences in comparison with standard MRCP sequences. *Eur Radiol* 12: 1768-1777, 2002.
- 19) Ichikawa T, Nitatori T, Hachiya J, Mizutani Y: Breath-hold MR cholangiopancreatography with half-average single-shot hybrid rare acquisition with relaxation enhancement sequence: comparison of fast GRE and SE sequences. *JCAT* 20: 798-802, 1996.
- 20) Lee MG, Jeong JK, Kim ME *et al*: MR cholangiopancreatography of pancreaticobiliary diseases: comparing single-shot RARE and multislice HASTE sequences. *AJR* 171: 1539-1545, 1998.
- 21) Morrin MM, Farrell RJ, McEntee G *et al*: MR cholangiopancreatography of pancreaticobiliary diseases: comparison of single-shot RARE and multislice HASTE sequences. *Clin Radiol* 55: 866-873.
- 22) Soto JA, Barish MA, Alvarez O, Medina S: Detection of cholelithiasis with MR cholangiography: comparison of three-dimensional fast spin-echo and single- and multisection half-Fourier rapid acquisition with relaxation enhancement sequences. *Radiology* 215: 737-745, 2000.
- 23) Bret PM, Reinhold C: Magnetic resonance cholangiopancreatography. *Endoscopy* 29: 472-486, 1997.
- 24) Barish MA, Yucel EK, Soto JA *et al*: MR cholangiopancreatography. Efficacy of three-dimensional turbo spin-echo technique. *AJR* 165: 295-300, 1995.
- 25) Soto JA, Yucel EK, Barish MA *et al*: MR cholangiopancreatography after unsuccessful or incomplete ERCP. *Radiology* 199: 91-98, 1996.
- 26) Takehara Y, Ichijo K, Tooyama N *et al*: Breath-hold MR cholangio-pancreatography (MRCP) with a long-echo-train fast spin-echo sequence and a surface coil in chronic pancreatitis. *Radiology* 192: 73-78, 1994.
- 27) Van Hoe L, Vanbeckevoort D, Van Steenberghe W (eds) Atlas of cross-sectional and projective MR cholangio-pancreatography, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- 28) Yamashita Y, Abe Y, Tang Y *et al*: In vitro and clinical studies of image acquisition in breath-hold MR cholangiopancreatography: single-shot projection technique versus multislice technique. *AJR* 168: 1449-1454, 1997.

Prof.ssa M. Cova
 Unità Clinica Operativa di Radiologia
 Università degli Studi di Trieste
 Ospedale di Cattinara
 Strada di Fiume, 447
 34149 Trieste TS
 Tel. 040/3994372
 Fax 040/3994500
 E-mail: cova@gnbs.univ.trieste.it