

Evaluation of the biliary and pancreatic system with 2D SSFSE, breath-hold 3D FRFSE and respiratory-triggered 3D FRFSE sequences

Valutazione del sistema biliare e pancreatico mediante sequenze SSFSE 2D, FRFSE 3D breath-hold e FRFSE 3D triggerate

S. Palmucci • L.A. Mauro • M. Coppolino • A.G. Musumeci • P.V. Foti • P. Milone • G.C. Ettore

Sezione di Scienze Radiologiche, Dipartimento DOGIRA, Azienda Ospedaliero Universitaria “Policlinico Vittorio Emanuele”,
Via Santa Sofia 78, Catania, Italy
Correspondence to: S. Palmucci, Tel.: +39-347-8330775, Fax:+39-095-3782360, e-mail: spalmucci@sirm.org

Received: 28 February 2009 / Accepted: 7 May 2009 / Published online: 15 January 2010
© Springer-Verlag 2010

Abstract

Purpose. The authors compared biliary and pancreatic imaging obtained through 2D single-shot fast spin-echo (SSFSE), breath-hold 3D fast recovery fast spin-echo (FRFSE) and respiratory-triggered 3D FRFSE sequences. **Materials and methods.** A total of 106 magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) examinations performed between December 2007 and September 2008 were evaluated with a comparison of 2D SSFSE (thin section and thick slab), breath-hold 3D FRFSE and respiratory-triggered 3D FRFSE sequences. The biliary tract was divided into seven segments: right hepatic duct, left hepatic duct, common hepatic duct, cystic duct, common bile duct, cystic duct junction and biliary-pancreatic confluence. The main pancreatic duct was divided into three segments (head, body and tail). Visualisation of biliary variants was also compared. Two blinded radiologists evaluated segment visibility using a quantitative scale. The Student's *t* test for paired samples was used for statistical analysis. **Results.** Compared with 2D SSFSE, respiratory-triggered 3D FRFSE sequences showed better visibility of the right hepatic duct ($p=0.0277$), the cystic duct ($p=0.0081$), the cystic duct junction ($p=0.0010$), the biliary-pancreatic confluence ($p=0.0334$) and biliary variants ($p=0.0198$). In the comparison between breath-hold 3D FRFSE and 2D SSFSE, a significant statistical difference was found in visualisation of the cystic duct ($p=0.027$), the cystic duct junction ($p=0.020$), the biliary-pancreatic confluence ($p=0.0338$) and biliary variants ($p=0.0311$). **Conclusions.** Three-dimensional FRFSE offers a significant benefit over conventional 2D imaging.

Riassunto

Obiettivo. Scopo del nostro studio è stato confrontare l'imaging biliare e pancreatico mediante 2D single-shot fast spin-echo (SSFSE), 3D fast recovery fast spin-echo (FRFSE) breath-hold e 3D FRFSE triggerate. **Materiali e metodi.** Centosei esami di colangiopancreatografia in risonanza magnetica (RM) – eseguiti tra dicembre 2007 e settembre 2008 – sono state analizzati confrontando SSFSE 2D (con spessore sottile e con slab), FRFSE 3D breath-hold e FRFSE 3D triggerate con il respiro. L'albero biliare è stato suddiviso in 7 segmenti: dotto destro, dotto sinistro, dotto epatico comune, dotto cistico, coledoco, inserzione cistico-coledocica e confluenza coledoco-pancreatica. Il dotto pancreatico è stato ripartito in 3 parti (testa, corpo e coda). È stata confrontata anche la visualizzazione di varianti biliari. Due radiologi in cieco hanno valutato la visibilità dei segmenti mediante una scala quantitativa; le analisi statistiche sono state effettuate mediante test *t* di Student per dati appaiati. **Risultati.** Rispetto alle SSFSE 2D, FRFSE triggerate hanno evidenziato migliore visualizzazione dell'epatico destro ($p=0,0277$), del cistico ($p=0,0081$), della giunzione cistico-coledocica ($p=0,0010$) e delle varianti biliari ($p=0,0198$); nel confronto 3D FRFSE breath-hold versus SSFSE 2D, è stata rilevata differenza statisticamente significativa nella visualizzazione del cistico ($p=0,027$), del punto d'inserzione del cistico ($p=0,020$), della confluenza coledoco-pancreatica ($p=0,0338$) e delle varianti biliari ($p=0,0311$). **Conclusioni.** FRFSE 3D rappresentano un importante valore aggiunto all'imaging convenzionale 2D.

Keywords Magnetic resonance · Cholangiopancreatography · Biliary and pancreatic imaging

Parole chiave Risonanza magnetica · Colangiopancreatografia · Imaging biliare e pancreatico

Introduction

The aim of our study was to compare visualisation of the biliopancreatic system obtained with cholangiopancreatography 3D fast recovery fast spin-echo (FRFSE) sequences and 2D single-shot fast spin-echo (SSFSE) sequences. The intention was to emphasise the added value of the 3D FRFSE sequences, which are better able to visualise the biliopancreatic system than are conventional 2D sequences.

Since the introduction of magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) in 1991, a number of studies in the literature have emphasised its noninvasive diagnostic role in the study of biliopancreatic disease [1–6]. Semiinvasive surgery, such as laparoscopic cholecystectomy, oncological surgery and liver transplant surgery, have found MRCP to be a valuable and indispensable aid in both preoperative and postoperative phases for accurate visualisation of the pre- and postsurgical anatomy [7, 8]. The need for accurate biliary imaging also derives from the notable anatomical variability in the biliopancreatic system [9–11].

Various published studies have investigated the acquisition techniques of MRCP [12–14]. In our study, we evaluated visualisation of the biliopancreatic system and compared 2D SSFSE sequences with 3D FRFSE sequences acquired with both the breath-hold and respiratory-triggered techniques.

The 2D SSFSE sequences are largely used in MRCP and acquired with a variable slab (generally between 50 and 60 mm) in extremely short acquisition times (an acquisition every 1–2 s). In most cases, a radial loop is acquired to facilitate viewing, centred either on the primary biliary convergence or the biliopancreatic confluence. The 3D FRFSE sequences are characterised by a high signal-to-noise ratio (SNR) and are acquired with both the breath-hold and respiratory-triggering techniques. In FRFSE acquisitions a -90° flip-back pulse is applied prior to the subsequent excitation, which brings the magnetisation vector back into the longitudinal plane, with a resulting increase in SNR. These sequences can be easily reconstructed in dedicated study planes to obtain multiplanar reformatting (MPR) and maximum intensity projection (MIP) images. With postprocessing the 3D FRFSE, sequences are able to satisfy a number of clinical and surgical requirements for hepatic, biliary and pancreatic imaging.

In the various study planes, reconstructions demonstrate

Introduzione

Scopo del nostro lavoro è confrontare la visualizzazione del sistema bilio-pancreatico ottenuta mediante sequenze colangiopancreatografiche fast recovery fast spin-echo 3D (FRFSE) e mediante sequenze single-shot fast spin-echo 2D (SSFSE). Si vuole, infatti, sottolineare il valore aggiunto delle sequenze 3D FRFSE, che mostrano capacità di visualizzazione del sistema bilio-pancreatico a tratti superiore rispetto alle convenzionali sequenze 2D.

Sin dalla sua introduzione, nel 1991, diversi studi in letteratura hanno sottolineato il ruolo diagnostico non invasivo della colangiopancreatografia in risonanza magnetica (RM) nella patologia bilio-pancreatica [1–6]. La chirurgia semi-invasiva, quale la colecistectomia laparoscopica, la chirurgia oncologica e la chirurgia dei trapianti del fegato, hanno trovato nella colangio-RM un prezioso ed indispensabile strumento di indagine, non soltanto in fase pre-chirurgica, ma anche post-chirurgica, al fine di ottenere una visualizzazione accurata dell'anatomia pre- e post-intervento [7, 8]. La necessità di un imaging biliare accurato deriva inoltre dalla notevole variabilità di presentazione anatomica dell'albero bilio-pancreatico [9–11].

In letteratura sono stati pubblicati diversi studi riguardo le tecniche di acquisizione dell'imaging colangiopancreatografico RM [12–14]. Nel nostro studio valutiamo la visualizzazione del sistema bilio-pancreatico, mettendo a confronto sequenze SSFSE 2D, sequenze FRFSE 3D acquisite con tecnica breath-hold e sequenze FRFSE 3D acquisite in modalità triggerata.

Le SSFSE 2D sono sequenze largamente adoperate nella colangio-pancreatografia RM, acquisite con slab variabile (generalmente tra i 50 e i 60 mm), in tempi estremamente bassi (un'acquisizione ogni 1–2 secondi); nella maggior parte dei casi, al fine di aumentare la panoramicità di visualizzazione, vengono acquisite in un loop radiale, centrato o sulla convergenza biliare primaria o a livello della confluenza bilio-pancreatica. Le FRFSE 3D sono sequenze dotate di un elevato rapporto segnale-rumore, acquisite sia con tecnica breath-hold che in modalità triggerata con il respiro; nelle acquisizioni FRFSE l'applicazione di un impulso di rifocalizzazione a -90° alla fine del treno di echi FSE riconduce nel piano longitudinale il vettore di magnetizzazione, con aumento del rapporto segnale/rumore. Tali sequenze vengono facilmente ricostruite secondo piani dedicati di studio, in modo da ottenere immagini multi-planar reformatting (MPR) e maximum intensity projection (MIP).

the anatomy and presence of anatomical variants of the bile and/or cystic ducts. Correct identification of anatomical variants of the biliary tract is vital for adequate preoperative planning in the case of gallbladder (laparotomic or laparoscopic cholecystectomy) or biliary-tract surgery. Accurate visualisation of the hepatic hilum, and in particular of the biliary structures at that level, is one of the fundamental aims in liver transplantation imaging, and the possibility of dedicated reconstruction planes offers advantages to both the radiologist and the surgeon in preoperative planning and follow-up of liver transplant patients.

Materials and methods

Examination protocol and study population

We reviewed 106 MRCP examinations performed at our centre between December 2007 and September 2008. The examinations were performed with a 1.5-T MR system (GE Signa HDx MR System, General Electric). Images were acquired with an eight-channel phased-array body coil. Prior to each examination, written informed consent was obtained for all patients.

For image evaluation, we included patients with different indications for undergoing MRCP. In most cases, the MR examination was performed on the basis of clinical and/or instrumental diagnostic suspicion of biliary disease (choledocholithiasis, cholangiocarcinoma, etc.), identified with laboratory tests (elevated cholestasis markers) or following other examinations (transabdominal ultrasound). In other cases, the MR examination was requested based on clinical and/or instrumental diagnostic suspicion of pancreatic disease (pancreatitis, pancreatic tumour, etc.) following the finding of abnormal laboratory markers [pancreatic amylase, pancreatic lipase, markers of extrahepatic cholestasis, increase in carbohydrate antigen 19-9 (Ca 19-9)] or an abnormal finding at ultrasound or multidetector-row computed tomography (MDCT). In some patients, the indication for examination was to obtain a preoperative evaluation of the biliary tract (e.g. biliodigestive anastomosis or laparoscopic cholecystectomy). Patients with a history of a prior biliodigestive anastomosis and patients with a biliary prosthesis were excluded from the evaluation.

The study protocol involved the acquisition of between six and ten sequences. Therefore, each MRCP study not only included specific sequences for visualisation of the biliary tract but also morphological sequences aimed at studying the organs containing biliopancreatic structures, i.e. liver and pancreas. The following sequences were performed:

- axial T1-weighted fast spoiled gradient-echo (FSPGR) in-phase and out of phase (TE 2.2 ms and 4.4 ms,

Grazie al post-processing le sequenze FRFSE 3D soddisfano numerose esigenze cliniche e chirurgiche dell'imaging epatico, biliare e pancreatico.

Le ricostruzioni dimostrano secondo piani dedicati l'anatomia di eventuali varianti biliari e/o del dotto cistico. La corretta identificazione delle varianti anatomiche biliari e cistiche si rende necessaria per un'ideale pianificazione pre-operatoria nel caso di interventi riguardanti la colecisti (colecistectomia laparotomica o laparoscopica) o le vie biliari. Un'accurata dimostrazione dell'anatomia dell'ilo epatico, ed in particolare delle strutture biliari a tale livello, è uno degli obiettivi fondamentali da perseguire nell'imaging dei trapianti epatici, e la possibilità di piani di ricostruzione dedicati - offre vantaggi sia al radiologo che al chirurgo nella pianificazione pre-operatoria che nel follow-up del trapianto di fegato.

Materiali e metodi

Protocollo d'esame e popolazione di studio

Sono stati analizzati 106 esami di colangiopancreatografia RM eseguiti presso la nostra unità operativa nel periodo compreso da dicembre 2007 sino a settembre 2008. Gli esami sono stati eseguiti con apparecchiatura RM da 1,5 Tesla (Signa HDx MR System GE-General Electric); le immagini sono state acquisite con bobine body 8ch phased array. Prima di ogni esame è stato acquisito un modulo di consenso informato all'esecuzione della metodica RM.

Nella valutazione delle immagini sono stati inclusi pazienti con indicazioni diverse all'esecuzione di una colangiopancreatografia RM. In molti casi, infatti, l'esame RM è stato eseguito in relazione al sospetto clinico e/o diagnostico strumentale di malattia biliare (coledocolitiasi, colangiocarcinoma, ecc.), rilevato per mezzo di indagini di laboratorio (rialzo degli indici di colesterasi) o a seguito di altri esami (ecografia trans addominale); in altri casi l'indicazione alla RM è scaturita dal sospetto clinico e/o diagnostico strumentale di malattia pancreatica (pancreatite, neoformazione pancreatica, ecc.), a seguito del riscontro di un'alterazione dei parametri di laboratorio (amilasi pancreatica, lipasi pancreatica, indici di colesterasi extraepatica, aumento del marker Ca 19.9) o di un'alterazione rilevata all'ecografia o alla tomografia computerizzata (TC) multidetettore; in alcuni pazienti è stata posta l'indicazione all'esame per ottenere una valutazione pre-operatoria del sistema biliare (ad esempio prima di interventi di anastomosi bilio-digestiva o di colecistectomia laparoscopica). Nella valutazione sono stati esclusi pazienti con anamnesi di pregresso intervento di anastomosi bilio-digestiva o pazienti portatori di protesi biliari.

Il protocollo di studio ha previsto l'acquisizione di un

- respectively; thickness 6 mm; spacing 1 mm)
- white-blood steady-state free precession (SSFP) sequences in both coronal and axial planes (TR 3.9 ms, TE 1.7 ms, thickness 6 mm, spacing 0.6–1 mm, matrix 224×320)
- T2-weighted fast spin-echo (FSE) sequences in the axial plane (TR 2150 ms, TE 102 ms, thickness 5 mm, spacing 1 mm)
- T2-weighted SSFSE in coronal and axial planes (thickness 6 mm, spacing 1 mm, matrix 320×288)
- axial T2-weighted FSE sequences with fat saturation and TE up to 140 ms (thickness 5 mm, spacing 1 mm).

Visualisation of the biliary tract was performed with 2D SSFSE and 3D FRFSE sequences. The 2D SSFSE (single-shot fast spin-echo) sequences were obtained with thin multisection acquisitions – with TR infinite, TE 90 ms, thickness 4 mm, matrix 320×320; and with thick section acquisitions – with 50-mm slab, TR infinite, TE 1,100 ms, matrix 512×384. The thick-slab sequences were acquired with a radial loop being centred at the level of the primary biliary convergence and at the biliopancreatic confluence. The first image of the radial loop was placed along the posterior border of the right hepatic lobe. The images were acquired during breath-hold at end expiration. The 3D FRFSE sequences were performed both during breath-hold at end expiration and in respiratory-triggering modality in an oblique coronal plane (parallel to the common bile duct) and in axial planes, with coverage of the hepatic-pancreatic volume of interest for the evaluation of the biliary and pancreatic ducts.

Breath-hold 3D FRFSE sequences were carried out with the following parameters: TR 4,000 ms, TE 722 ms, thickness 3 mm, matrix 256×192, field of view (FOV) 36×36. Duration of the acquisitions performed with the breath-hold technique was 20–26 s (22–24 s in 85 examinations). Respiratory-triggered 3D FRFSE sequences were done with acquisitions at each respiratory interval – with effective TR corresponding to 1 R-R respiratory cycle (one respiratory interval – generally around 4,000 ms, with TE 722 ms), thickness 2–3 mm, matrix 256×256, FOV 36×36. Duration of the respiratory-triggered 3D FRFSE sequences, with 2.2-mm thickness, was around 2 min 40 s in a patient with a normal respiratory cycle (around 15 breaths/min). Administration of a negative superparamagnetic contrast agent (Ferumoxsil-Lumirem, Guerbet) was required to avoid superimposition of gastric and duodenal fluids. The order of the three types of MRCP sequences – 2D SSFSE, breath-hold 3D FRFSE and respiratory-triggered 3D FRFSE – was randomised.

Where necessary, the studies were completed with T1-weighted 3D FSPGR sequences obtained in baseline conditions and after the intravenous administration of a 0.1-mmol/kg dose of gadolinium benzyloxypropionic-

numero di sequenze tra sei e dieci; pertanto ogni studio di colangio-pancreatografia RM non ha incluso solamente sequenze colangio-RM specifiche per la visualizzazione delle vie biliari, ma anche sequenze morfologiche rivolte allo studio degli organi contenenti le strutture biliopancreatiche, quali fegato e pancreas (il cosiddetto contenente). Nel protocollo d'esame sono state effettuate:

- *sequenze assiali fast spoiled gradient-echo (FSPGR) T1 “in fase” e “fuori fase” (tempo di eco [TE] rispettivamente di 2,2 e 4,4 ms, thickness 6 mm, spacing 1 mm);*
- *sequenze steady state free precession (SSFP) a “sangue bianco”, secondo piani coronali ed assiali (tempo di ripetizione [TR] 3,9 ms, TE 1,7 ms, thickness 6 mm, spacing 0,6–1 mm, matrice 224×320);*
- *sequenze fast spin-echo (FSE) T2, secondo piani di scansione assiali (TR 2150 ms, TE 102 ms, thickness 5 mm, spacing 1 mm);*
- *SSFSE T2 realizzate secondo piani coronali ed assiali (thickness 6 mm, spacing 1 mm, matrice 320×288);*
- *sequenze FSE T2 assiali anche con soppressione del segnale adiposo e con TE fino a 140 ms (thickness 5 mm, spacing 1 mm).*

La visualizzazione delle vie biliari è stata effettuata con sequenze SSFSE 2D e FRFSE 3D. Le SSFSE 2D sono state condotte con acquisizioni a spessore sottile “thin multisection” (con TR infinito, TE 90 ms, spessore di 4 mm, matrice 320×320) e con acquisizioni a strato spesso (con slab di 50 mm, TR infinito, TE 1100 ms, matrice 512×384). Le sequenze thick-slab sono state acquisite centrando un loop radiale a livello della convergenza biliare primaria ed in corrispondenza della confluenza bilio-pancreatica; la prima immagine del loop radiale è stata posta lungo il margine posteriore del lobo destro del fegato; le immagini sono state acquisite in apnea espiratoria. Le sequenze FRFSE 3D sono state effettuate sia in apnea espiratoria che in modalità triggerata, secondo un piano coronale obliquo (parallelo al decorso della via biliare principale [VBP]) e secondo piani assiali, con estensione a coprire il volume epato-pancreatico di interesse ai fini della valutazione dei dotti biliari e pancreatici.

Le FRFSE 3D con tecnica breath hold sono state acquisite con i seguenti parametri: TR 4000 ms, TE 722 ms, spessore 3 mm, matrice 256×192, campo di vista (FOV) 36×36; la durata delle acquisizioni effettuate con tecnica breath-hold è stata compresa tra i 20 ed i 26 secondi (22–24 secondi in 85 degli esami oggetto di studio). Le FRFSE 3D triggerate sono state realizzate con acquisizioni ad ogni intervallo respiratorio, con TR effettivo corrispondente ad 1 ciclo respiratorio R-R (1 respiratory interval, generalmente sui 4000 ms, con TE 722 ms), spessore 2–3 mm, matrice 256×256, FOV 36×36; la durata delle sequenze 3D FRFSE triggerate, con 2,2 mm di spessore, è stata di circa 2 minuti e 40 secondi in un soggetto con normale frequenza respiratorio (circa 15 atti

tetraacetic acid (Gd-BOPTA) (Multihance 0.5 M, Bracco Imaging Spa, Milan, Italy). The 3D FSPGR sequences were performed with fat suppression (TR 4.2 ms, TE 2.0 ms, thickness 3 mm) and extended to cover the entire hepatic–pancreatic–biliary volume. Images after administration of gadolinium were acquired in the multiphase dynamic modality, with acquisition times of 20, 70 and 180 s from the beginning of gadolinium administration. Contrast material was administered with a dual-head automatic injector (MedRad Spectris).

Thin-section 2D SSFSE and the 3D FRFSE sequences were reconstructed with MPR and MIP techniques using a dedicated software package (GE Advantage Workstation, General Electric). Table 1 summarises the study protocol, with technical parameters of the MRCP sequences.

A total of 98 out of 106 examinations was analysed (eight patients were excluded due to inadequate examination technique). All three MRCP sequences – 2D SSFSE, breath-hold 3D FRFSE and respiratory-triggered 3D FRFSE – were performed in all 98 examinations included in the comparison. Retrospective review of the cases included MRCP studies positive for biliopancreatic disease and MRCP studies where no disease was found. MR diagnoses were 16/98 cases of gallbladder stones, 24/98 cases of

respiratori al minuto). La somministrazione per os di un agente superparamagnetico negativizzante il contenuto intestinale (Ferumoxsil-Lumirem, Guerbet) si è resa necessaria al fine di evitare la sovrapposizione di liquidi gastrici e duodenali. L'ordine di acquisizione dei tre tipi di sequenze colangiopancreatografiche – SSFSE 2D e FRFSE 3D – è stato preventivamente randomizzato.

Gli studi sono stati completati, nei casi in cui ritenuto necessario, con acquisizione di sequenze FSPGR T1 3D, ottenute in condizioni di base e durante la somministrazione endovenosa di gadopentato dimeglumina (Gd-BOPTA) alla dose di 0,1 mmol/kg (Multihance 0,5 M, Bracco Imaging spa, Milano, Italia); le sequenze FSPGR 3D sono state effettuate con soppressione del segnale adiposo (TR 4,2 ms, TE 2,0 ms, thickness 3 mm), estese a coprire l'intero volume epato-pancreatico-biliare; le immagini dopo somministrazione di mezzo di contrasto sono state acquisite in modalità dinamica multifasica, con tempi di acquisizione a 20, 70 e 180 secondi dall'inizio della somministrazione di gadolinio. Il mezzo di contrasto è stato somministrato mediante iniettore automatico a doppia testata (MedRad Spectris).

Le sequenze 2D SSFSE a strato sottile e le 3D FRFSE sono state ricostruite con tecnica MPR e MIP mediante software dedicato (Advantage Workstation GE-General

Table 1 Magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) protocol study. Technical parameters for acquisition of sequences used to evaluate biliopancreatic imaging; 3D fast recovery fast spin-echo (FRFSE) sequences were used with and without contrast medium (gadolinium)

	TR (ms)	TE (ms)	Thickness (mm)	Gap (mm)	Breath-hold	Respiratory-triggered	Shim
SSFP	3.9	1.7	6	0.6–1	Yes	–	–
FSE	2,150	102	5	1	Yes	–	–
SSFSE	744–900	55–60	4–6	0–1	Yes	–	–
2D SSFSE	~2,600	~1,100	Slab 50–60	–	Yes	–	Yes
Breath-hold 3D FRFSE	1,200	516	3.0	1.2–1.5	Yes	–	Yes
Respiratory-triggered 3D FRFSE	4,000	722	2.2	1.1	Yes	Yes	Yes
3D FSPGR	4.2	2	3.0	1.5	Yes	–	–

TR, time of repetition; TE, time of echo; SSFP, steady-state free-precession; FSE, fast spin echo; SSFSE, single-shot fast spin-echo; FRFSE, fast recovery fast spin-echo

Tabella 1 Protocollo di studio di colangio-pancreatografia RM. Parametri tecnici di acquisizione delle principali sequenze mirate alla valutazione dell'imaging bilio-pancreatico; fast recovery fast spin-echo (FRFSE) 3D sono state impiegate senza e con somministrazione di mezzo di contrasto (gadolinio)

	TR (ms)	TE (ms)	Spessore (mm)	Gap (mm)	Apnea	Sincronizzazione	Shim
SSFP	3,9	1,7	6	0,6–1	Sì	–	–
FSE	2150	102	5	1	Sì	–	–
SSFSE	744–900	55–60	4–6	0–1	Sì	–	–
SSFSE 2D	~2600	~1100	Slab 50–60	–	Sì	–	Sì
FRFSE 3D breath-hold	1200	516	3,0	1,2–1,5	Sì	–	Sì
FRFSE 3D triggered	4000	722	2,2	1,1	–	Sì	Sì
FSPGR 3D	4,2	2	3,0	1,5	Sì	–	–

TR, tempo di ripetizione; TE, tempo di eco; SSFP, steady-state free-precession; FSE, fast spin echo; SSFSE, single-shot fast spin-echo; FRFSE, fast recovery fast spin-echo

Table 2 Diagnostic results observed in the retrospective review of 98 patients compared with magnetic MRCP sequences

Diagnosis	N. of patients (%)
Cholelithiasis	24 (24.5)
Neoplasms	12 (12.2)
Gallbladder stones	16 (16.3)
Gallbladder stones+choledocholithiasis	6 (6.1)
Cystic duct stones	1 (1)
Acute pancreatitis	2 (2)
Chronic pancreatitis	13 (13.3)
No disease	24 (24.5)

Tabella 2 Riscontri diagnostici rilevati nella revisione retrospettiva dei 98 pazienti oggetto di confronto tra le sequenze MRCP

Diagnosi	Nu. dei pazienti (%)
Coledocolitiasi	24 (24,5)
Neoplasie	12 (12,2)
Calcolosi della colecisti	16 (16,3)
Calcolosi della colecisti+coledocolitiasi	6 (6,1)
Calcolosi del dotto cistico	1 (1)
Pancreatiti acute	2 (2)
Pancreatiti croniche	13 (13,3)
Assenza di patologia	24 (24,5)

biliary tract stones, 12/98 cases of biliopancreatic tumour and 2/98 cases of acute pancreatitis. Cystic duct stones were identified in one patient, choledocholithiasis was associated with gallbladder stones in six and chronic pancreatitis was found in 13. No biliary or pancreatic disease was diagnosed in 24 patients (Table 2). The reference standard for the diagnostic hypotheses formulated with MRCP was at least one of the following modalities, when available: (1) endoscopic retrograde cholangiopancreatography; (2) surgery and histological examination (intraoperative or on the surgical specimen); (3) clinical and laboratory findings and possibly an additional MRCP study performed at 3 months in cases where no treatment was provided.

Statistical techniques and data analysis

Different segments of the biliopancreatic tract were analysed. The biliary system was subdivided into seven segments: right hepatic duct, left hepatic duct, common hepatic duct, cystic duct, common bile duct, cystic duct junction and biliary-pancreatic confluence. The main pancreatic duct was divided into three segments: head, body and tail. In total, ten segments of the biliopancreatic tract were analysed. In addition, visualisation and interpretation of possible anatomical variants of the biliary tract or the

Electric). Nella Tabella 1 viene riproposto il protocollo di studio impiegato, con i parametri tecnici delle sequenze colangiopancreatografiche.

Sono stati analizzati 98 dei 106 esami (8 pazienti sono stati scartati per inadeguatezza tecnica d'esame); nei 98 esami utilizzati per la comparazione sono state sempre eseguite le tre sequenze colangiopancreatografiche – SSFSE 2D, FRFSE 3D breath hold e FRFSE 3D triggerate. Nella revisione retrospettiva dei casi, sono state valutate sia colangiopancreatografie RM positive per malattia biliopancreatica, sia colangiopancreatografie RM nelle quali non è stata riscontrata alcuna patologia. Le diagnosi formulate con la RM sono state: calcolosi della colecisti in 16/98 casi, litiasi della via biliare in 24/98 casi, neoplasie biliopancreatiche in 12/98 casi e pancreatiti “acute” in 2 casi; in un paziente è stato identificato un calcolo del dotto cistico; in 6 casi è stata riscontrata litiasi coledocica associata a calcolosi della colecisti, mentre in 13/98 pazienti sono stati riscontrati quadri RM di pancreatite cronica. In 24 pazienti non è stata diagnosticata alcuna patologia biliare o pancreatica (Tabella 2). Standard di riferimento per le ipotesi diagnostiche formulate con colangiopancreatografia RM sono state (quando disponibili) almeno una delle seguenti modalità: 1) colangiopancreatografia retrograda endoscopica (ERCP); 2) intervento chirurgico ed esame istologico (intra-operatorio o su pezzo asportato); 3) controllo clinico, bio-umorale ed eventualmente diagnostico a tre mesi dopo colangiopancreatografia RM, nei casi in cui non sia stato eseguito alcun trattamento.

Metodi statistici ed analisi dei dati

Sono stati analizzati diversi tratti dell'albero bilio-pancreatico. Il sistema biliare è stato suddiviso in sette segmenti: dotto destro, dotto sinistro, dotto epatico comune, dotto cistico, punto di inserzione del cistico a livello della via biliare, coledoco e confluenza coledoco-dotto pancreatico principale. Il sistema duttale pancreatico è stato suddiviso in tre segmenti: tratto cefalico, tratto del corpo e tratto della coda. In totale sono stati analizzati dieci segmenti dell'albero bilio-pancreatico. Anche la visualizzazione ed interpretazione di eventuali varianti anatomiche dell'albero biliare o del sistema pancreatico è stato oggetto di studio fra le sequenze, ottenendo in totale 11 classi di segmenti a confronto. A ciascun segmento è stato attribuito un punteggio secondo la seguente scala di valutazione, rivolta a considerare la maggiore o minore capacità di visualizzazione delle sequenze:

- 0 mancata visualizzazione;
- 1 visualizzazione inferiore a 1/2 tratto;
- 2 visualizzazione incompleta ma >1/2 del tratto;
- 3 tratto visualizzato in maniera completa.

Al valore ottenuto dalla prima scala di valutazione, è stato aggiunto uno score ricavato da una seconda scala di

pancreatic system was studied, thus making a total of 11 classes of segments to be compared. Each segment was attributed a score according to the following evaluation scale, which indicates the greater or lesser visualisation by the sequences:

- 0 no visualisation
- 1 visualisation <1/2 of the tract
- 2 incomplete visualisation but >1/2 of the tract
- 3 complete visualisation of the tract.

The value obtained with the first scale was added to a score derived from a second evaluation scale regarding the quality of visualisation of biliopancreatic segments, according to the following point system:

- 0 poor visualisation with low signal intensity of the biliopancreatic structures and/or blurring artefacts
- 1 good visualisation with moderate signal intensity and absence of blurring artefacts
- 2 excellent visualisation with high signal intensity of the biliopancreatic structures and high SNR.

The techniques were compared with a Student's *t* test for quantitative data pairs; for each segment, a paired analysis was done of the numerical scores for all the examinations. The comparisons were:

- 2D SSFSE sequences versus breath-hold 3D FRFSE sequences
- 2D SSFSE sequences versus respiratory-triggered 3D FRFSE sequences
- breath-hold 3D FRFSE sequences versus respiratory-triggered 3D FRFSE sequences

A *p* value <0.05 was considered statistically significant. The scores were assigned independently by two radiologists. Sequences were visualised in random order.

Results

With regard to anatomical variants of the biliary tract, we took as reference the classification of variants proposed by Yoshida et al. [15]. We identified normal confluence in 48/98 cases, triple confluence in 28/98 cases, presence of a right posterior duct draining into the left duct in 16/98 cases, an accessory right duct emptying into the common hepatic duct in 2/98 cases, an aberrant right posterior duct draining into the common hepatic duct in 3/98 cases and a cystic duct draining into a right aberrant duct (Table 3).

Anatomical variants of the cystic duct were classified according to drainage site, morphology and course. In 61 cases, normal anatomy was identified, with the cystic duct draining along the lateral profile of the middle third of the main bile duct, with regular course. In six patients we found a cystic duct with lateral confluence, with regular height and spiraliform course; in four patients, a cystic duct was visualised with regular height and anterior confluence; in two

valutazione riguardante la qualità di visualizzazione del segmento bilio-pancreatico, secondo il seguente punteggio:

- 0, scarsa visualizzazione, con bassa intensità di segnale delle strutture bilio-pancreatiche e/o artefatti da blurring;
- 1, visualizzazione di grado buono, con intensità di segnale di grado moderato ed assenza di artefatti da blurring;
- 2, visualizzazione di grado eccellente, con alta intensità di segnale delle strutture bilio-pancreatiche e rapporto segnale/rumore elevato.

Per confrontare le tecniche è stato adoperato il test *t* di Student per dati numerici quantitativi appaiati: per ogni segmento sono stati analizzati in maniera appaiata i punteggi numerici di tutti gli esami. Sono state messe a confronto:

- Sequenze SSFSE 2D versus FRFSE 3D con tecnica breath-hold;
- Sequenze SSFSE 2D versus FRFSE 3D acquisite in modalità triggerata;
- Sequenze FRFSE 3D con tecnica breath-hold versus FRFSE 3D triggerate.

Valori di *p*<0,05 sono stati considerati statisticamente significativi. I punteggi sono stati assegnati da due radiologi indipendenti; l'ordine di visualizzazione delle sequenze è stato preventivamente randomizzato.

Risultati

Riguardo le varianti dell'albero biliare, è stata presa come riferimento la classificazione delle varianti di Yoshida et al. [15]. Abbiamo identificato in 48/98 casi una convergenza regolare, in 28/98 casi un aspetto a triforcazione; la presenza di un dotto dorso-caudale slittato sul dotto biliare sinistro è stata identificata in 16/98 casi, mentre in 2/98 casi abbiamo evidenziato un dotto accessorio destro slittato sul dotto comune. In 3/98 casi è stato riscontrato un dotto aberrante dorso-caudale con confluenza nel dotto epatico comune, ed infine in 1/98 casi è stato dimostrato un cistico impiantato su un dotto destro aberrante (Tabella 3).

Le varianti anatomiche del dotto cistico sono state classificate secondo l'impianto, la morfologia ed il decorso. In 61 casi è stata riscontrata un'anatomia normale, con cistico impiantato lungo il profilo laterale del terzo medio della via biliare principale, con decorso regolare. In 6 pazienti abbiamo rilevato un dotto cistico con impianto laterale, altezza regolare e decorso spiraliforme, in 4 pazienti è stato visualizzato un dotto cistico di altezza regolare, con impianto anteriore ed in 2 casi un cistico impiantato ad altezza regolare lungo la parete posteriore. In 2 pazienti è stato identificato un cistico con impianto più craniale che di norma, con decorso parallelo ed impianto sulla parete mediale della VBP; un cistico con decorso parallelo ed impianto più caudale sul versante laterale è stato evidenziato in 5 casi,

Table 3 Biliary variants seen in our series

Biliary tract variants	Number	Percent
Normal anatomy	48 cases	48.9
Trifurcation	28 cases	28.57
Right posterior hepatic duct draining into left hepatic duct	16 cases	16.32
Accessory right hepatic duct draining into common hepatic duct	2 cases	2.04
Aberrant posterior duct draining into common hepatic duct	3 cases	3.06
Cystic duct draining into aberrant duct	1 case	1.02

Tabella 3 Varianti biliari riscontrate nella nostra casistica

Biliary tract variants	Numero	Percentuale
Anatomia normale	48 casi	48,9
Triforcazione	28 casi	28,57
Dotto dorso-caudale slittato sul sinistro	16 casi	16,32
Dotto accessorio destro slittato sul comune	2 casi	2,04
Dotto aberrante dorso caudale slittato sul comune	3 casi	3,06
Cistico impiantato su dotto aberrante	1 caso	1,02

patients, a cystic duct was found draining more cranially than normal, with a parallel course and confluence on the medial wall of the main bile duct. There were five cases of cystic duct with parallel course and more caudal confluence on the lateral profile, whereas a parallel caudal course with confluence on the medial wall was identified in six cases. Only in one case did a cystic duct drain into a right aberrant hepatic duct. Lastly, in 12 cases, the cystic duct was not identified (patients with prior cholecystectomy).

The presence of motion artefacts was encountered more often in breath-hold 3D FRFSE acquisitions and 2D SSFSE acquisitions. The 2D sequences – both with thin slice and thick slab – were flawed by motion artefacts in 22 cases due to the poor breath-hold by the patients, who were often unable to cooperate and correctly perform the instructions provided by the MR operator, even in the case of the short-duration, thick-slab acquisitions. In the case of breath-hold 3D FRFSE acquisitions, the image quality was degraded in 24 cases owing to motion artefacts due to poor patient compliance and the relatively lengthy duration of the breath-hold required for acquisition of the sequences used (22–24 s). The images least affected by motion artefacts were respiratory-triggered 3D FRFSE acquisitions (12 cases), thanks to the good synchronisation obtained each time with the respiratory cycle of the patient.

2D SSFSE versus respiratory-triggered 3D FRFSE

Comparison with the Student's *t* test per segment (Fig. 1) revealed no significant difference in visualisation of the left hepatic duct and the common hepatic duct when using the respiratory-triggered 3D FRFSE technique and the 2D

mentre un decorso parallelo caudale con impianto mediale è stato identificato in 6 casi. Solamente in un caso è stato riscontrato un cistico con impianto su un dotto epatico biliare destro aberrante. Infine in 12 casi il dotto cistico non è stato identificato (pazienti con pregressa colecistectomia).

La presenza di artefatti da movimento è stata riscontrata con maggior frequenza nelle acquisizioni 3D FRFSE con tecnica breath hold e nelle acquisizioni 2D SSFSE. Le sequenze 2D – sia con spessore sottile che con thick slab – sono state in 22 casi inficcate da artefatti da movimento per lo scarso mantenimento dell'apnea da parte del paziente, spesso incapace a collaborare e ad eseguire correttamente le istruzioni fornite dell'operatore RM, persino nel caso delle acquisizioni di breve durata thick slab. Nel caso delle 3D FRFSE acquisite con tecnica breath hold, in 24 casi la qualità delle immagini è stata degradata dalla presenza di artefatti da movimento, dovuti per lo più a pazienti scarsamente collaboranti ed alla durata relativamente ampia dell'apnea necessaria all'acquisizione di tal sequenze da noi utilizzata (22–24 secondi). Le immagini meno inficcate dalla presenza di artefatti da movimento sono state le FRFSE 3D triggerate (12 casi), in rapporto alla buona sincronizzazione ottenuta di volta in volta con il ciclo respiratorio del paziente.

SSFSE 2D versus FRFSE 3D triggerate

Dal confronto con test *t* di Student per segmento (Fig. 1), non si è rilevata alcuna differenza statisticamente significativa nella visualizzazione del dotto biliare epatico sinistro e del dotto epatico comune, impiegando le tecniche FRFSE 3D triggerate e le tecniche SSFSE 2D (valori di *p* rispettivamente di 0,0584 e 0,0735). Le sequenze FRFSE 3D triggerate hanno consentito una visualizzazione migliore del dotto epatico

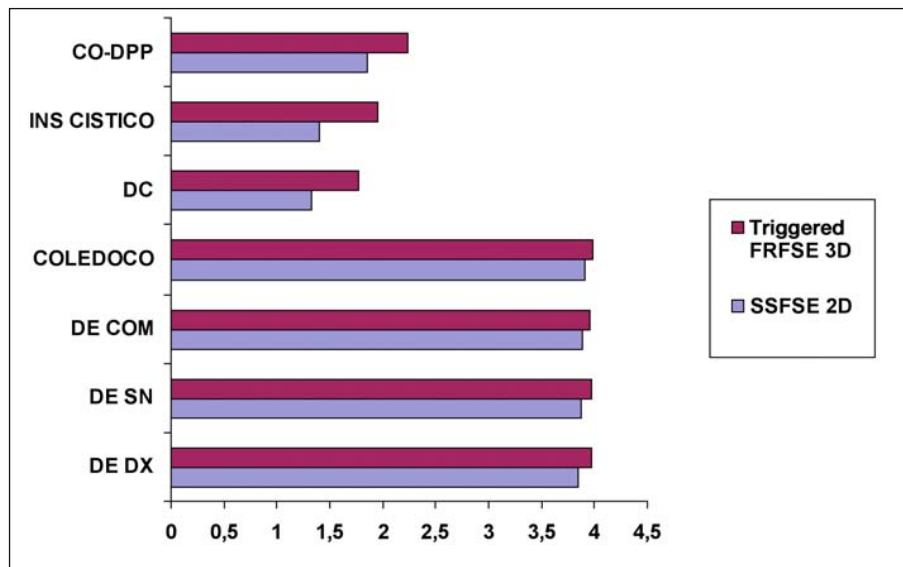


Fig. 1 Results of comparison between 2D single-shot fast spin-echo (SSFSE) and respiratory-triggered 3D FRFSE sequences. Results of the scoring system for visualisation of biliary segments can be observed. Significant statistical differences are apparent in visualisation of the right hepatic duct, cystic duct, cystic duct junction with the main bile duct and biliary–pancreatic confluence. *DC*, cystic duct; *DE DX*, right hepatic duct; *DE SN*, left hepatic duct; *CO-DPP*, biliary–pancreatic confluence; *DE COM*, common hepatic duct; *INS CISTICO*, cystic duct junction with main bile duct.

Fig. 1 Risultati del confronto tra sequenze SSFSE 2D e FRFSE 3D acquisite in modalità triggerata; sono stati riportati i risultati relativi alla visualizzazione dei segmenti biliari. Si osservano differenze statisticamente significative nella visualizzazione del dotto destro, del dotto cistico, del punto di inserzione del cistico a livello del dotto coledocico e della confluenza coledoco-dotto pancreatico. *DC*, dotto cistico; *DE DX*, dotto epatico destro; *DE SN*, dotto epatico sinistro; *CO-DPP*, confluenza coledoco-pancreatica; *DE COM*, dotto epatico comune; *INS CISTICO*, punto di inserzione del cistico lungo il dotto coledocico.

SSFSE technique ($p=0.0584$ and 0.0735 , respectively). The respiratory-triggered 3D FRFSE sequences better visualised the right hepatic duct, with $p=0.0277$. There was a statistically significant difference with regard to visualisation of the cystic duct in favour of the 3D sequences ($p=0.0081$) (Fig. 2) and with regard to the confluence of the cystic duct with the main bile duct in favour of the 3D sequences ($p=0.0010$). No statistically significant difference ($p>0.05$) was noted regarding visualisation of the main bile duct and the pancreatic duct, the latter being analysed in all three segments (head, body and tail). With regard to visualisation of the confluence between the common bile duct and the pancreatic duct, comparison demonstrated the superior visualisation of the 3D sequences ($p=0.0334$).

The comparison also considered visualisation of possible anatomical variants: the score obtained for 3D FRFSE was higher than the score for 2D SSFSE sequences, with $p=0.0198$ (Fig. 3).

2D SSFSE versus breath-hold 3D FRFSE

Comparison between 2D SSFSE and breath-hold 3D FRFSE sequence (Fig. 4) revealed a statistically significant difference in favour of 3D sequences in visualisation of the cystic duct ($p=0.027$) (Fig. 5), the cystic duct/main bile duct confluence ($p=0.020$) and the common bile duct/pancreatic

destro, con valore di $p=0,0277$. Per quanto riguarda la visualizzazione del dotto cistico è emersa una differenza statisticamente significativa a vantaggio delle sequenze 3D, con valori di $p=0,0081$ (Fig. 2). Riguardo la visualizzazione del punto di inserzione del dotto cistico sulla VBP è stata osservata una differenza statisticamente significativa a favore delle sequenze 3D con valori di $p=0,0010$. Non si apprezza alcuna differenza statisticamente significativa ($p>0,05$) riguardo la visualizzazione del dotto coledocico e del dotto pancreatico, quest'ultimo analizzato considerando il tratto cefalico, del corpo e della coda. Nella visualizzazione della confluenza coledoco-dotto pancreatico, il confronto dei dati appaiati per i 98 esami ha evidenziato valori di visualizzazione più elevati per le sequenze 3D (con $p=0,0334$).

Il confronto ha preso in considerazione anche la visualizzazione delle eventuali varianti anatomiche: lo score ottenuto per le FRFSE 3D è risultato statisticamente più elevato rispetto alle SSFSE 2D, con valore di $p=0,0198$ (Fig. 3).

SSFSE 2D versus FRFSE 3D breath-hold

Dal confronto tra SSFSE 2D e FRFSE 3D acquisite con tecnica breath-hold (Fig. 4), è emersa una differenza statisticamente significativa a favore delle 3D nella visualizzazione del dotto cistico ($p=0,027$) (Fig. 5), della confluenza cistico-coledoco ($p=0,020$) e della confluenza

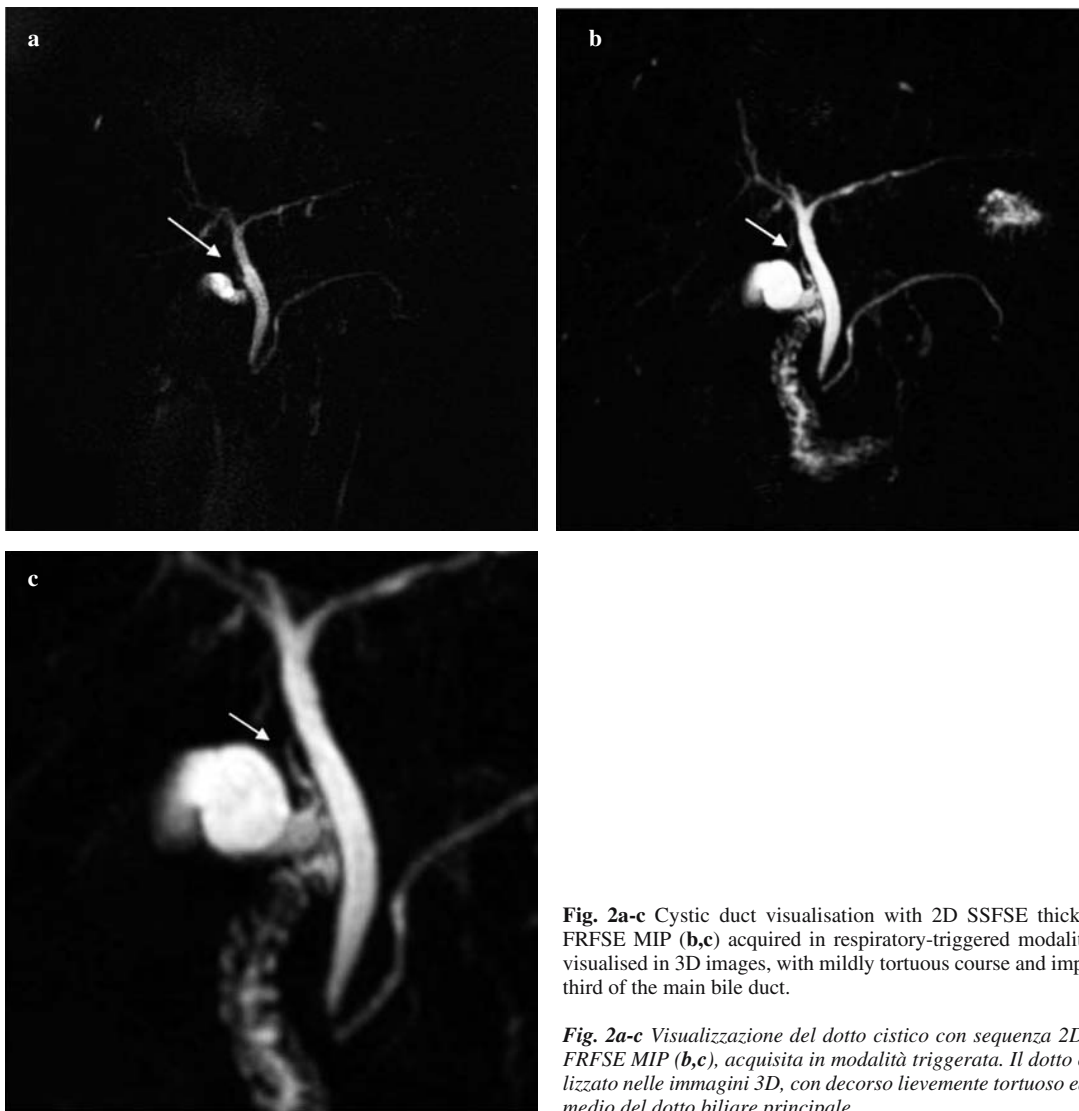


Fig. 2a-c Cystic duct visualisation with 2D SSFSE thick-slab sequence (a) and 3D FRFSE MIP (b,c) acquired in respiratory-triggered modality. The cystic duct is better visualised in 3D images, with mildly tortuous course and implantation level at the middle third of the main bile duct.

Fig. 2a-c Visualizzazione del dotto cistico con sequenza 2D SSFSE thick-slab (a) e 3D FRFSE MIP (b,c), acquisita in modalità triggerata. Il dotto cistico appare meglio visualizzato nelle immagini 3D, con decorso lievemente tortuoso ed impianto a livello del terzo medio del dotto biliare principale.

duct confluence ($p=0.0338$). No statistically significant difference was appreciated in visualisation of the right hepatic duct ($p=0.1324$), the left hepatic duct ($p=0.2075$), the common hepatic duct ($p=0.1028$) and the common bile duct ($p=0.1028$). With regard to the pancreatic duct system, no statistically significant difference was found in visualisation of the pancreatic duct at the level of the head and body of the pancreas, whereas the ductal segment in the tail of the parenchyma appeared to be better visualised with 2D sequences, although this finding was not statistically significant. Visualisation of anatomical variants of the biliary tract was greater with the 3D FRFSE sequence ($p=0.0311$) (Fig. 6).

Respiratory-triggered 3D FRFSE versus breath-hold 3D FRFSE

For most of segments, the mean visualisation score was

coledoco-dotto pancreatico ($p=0,0338$); non si apprezza differenza statisticamente significativa nella visualizzazione del dotto destro ($p=0,1324$), del dotto sinistro ($p=0,2075$), del dotto epatico comune ($p=0,1028$) e del coledoco ($p=0,1028$). Per quanto riguarda il sistema duttale pancreatico, non esiste alcuna differenza statisticamente significativa nella visualizzazione del dotto pancreatico a livello del tratto cefalico e del corpo; la porzione duttale della coda del parenchima, appare meglio visualizzata con le sequenze 2D, seppur con valore statisticamente non significativo. La visualizzazione delle varianti biliari è stata meglio ottenuta con sequenze FRFSE 3D, con valore di $p=0,0311$ (Fig. 6).

FRFSE 3D triggerate versus FRFSE 3D breath-hold

Per la maggior parte dei segmenti si documenta un valore medio di visualizzazione superiore per le sequenze FRFSE 3D triggerate; non è stata comunque rilevata alcuna



Fig. 3a-e Biliary tract variant, with right aberrant duct emptying into the common hepatic duct: 2D SSFSE thick-slab acquisitions show cystic duct with caudal insertion and spiraliform course, parallel to common bile duct (*white empty arrow*); the aberrant duct draining into the common bile duct is barely visible (*white arrow*) (**a,b**). Respiratory-triggered FRFSE MIP acquisition show an aberrant duct hidden by the overlapping of the gallbladder and the cystic duct (**c**); FRFSE MPR (**d,e**) clearly show the aberrant duct and its junction with the common bile duct (*white arrow*).

Fig. 3a-e Presenza di variante dell'albero biliare, con dotto aberrante destro che si impianta lungo il dotto biliare principale. In **a** e **b** (acquisizioni SSFSE 2D thick-slab) si visualizza il dotto cistico con inserzione caudale e decorso spiraliforme, parallelo al dotto coledocico (*freccia bianca vuota*); la confluenza del dotto aberrante nel coledoco è scarsamente intuibile (*freccia bianca*). In **c** (FRFSE MIP acquisite in modalità triggerata) il dotto aberrante è nascosto dalla sovrapposizione della colecisti e del dotto cistico; le ricostruzioni FRFSE MPR (**d,e**) consentono una chiara visualizzazione del dotto aberrante e della sua inserzione lungo il coledoco (*freccia bianca*).

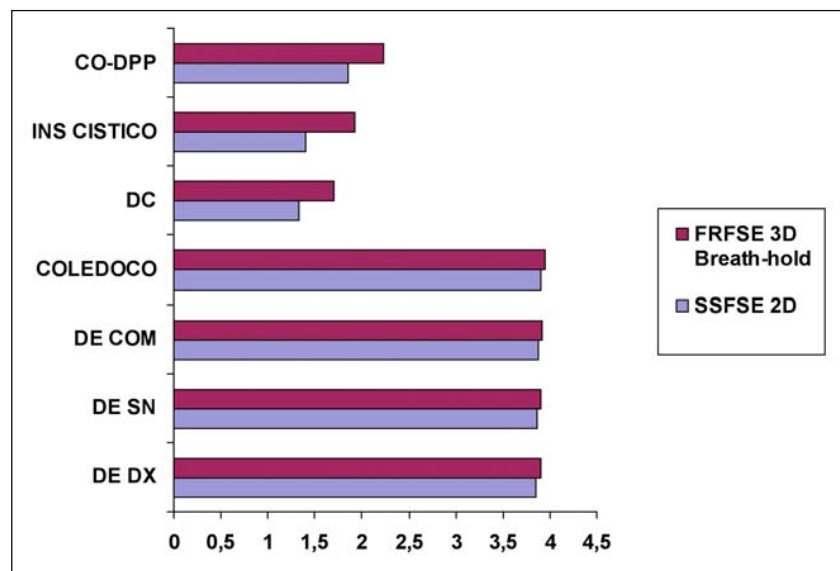


Fig. 4 Results of comparison between 2D single-shot fast spin-echo (SSFSE) and 3D FRFSE breath-hold sequences. Results for biliary segment visualisation are shown. Significant statistical differences are apparent in visualisation of the cystic duct, cystic duct junction with the main bile duct and biliary–pancreatic confluence. *DC*, cystic duct, *DE DX*, right hepatic duct; *DE SN*, left hepatic duct; *CO-DPP*, biliary–pancreatic confluence; *DE COM*, common hepatic duct; *INS CISTICO*, cystic duct junction with main bile duct.

Fig. 4 Risultati del confronto tra sequenze SSFSE 2D e FRFSE 3D acquisite con tecnica breath-hold; sono stati riportati i risultati relativi alla visualizzazione dei segmenti biliari. Si osservano differenze statisticamente significative nella visualizzazione del dotto cistico, del punto di inserzione del cistico a livello del dotto coledocico e della confluenza coledoco-dotto pancreatico. *DC*, dotto cistico; *DE DX*, dotto epatico destro; *DE SN*, dotto epatico sinistro; *CO-DPP*, confluenza coledoco-pancreatica; *DE COM*, dotto epatico comune; *INS CISTICO*, punto di inserzione del cistico lungo il dotto coledocico.

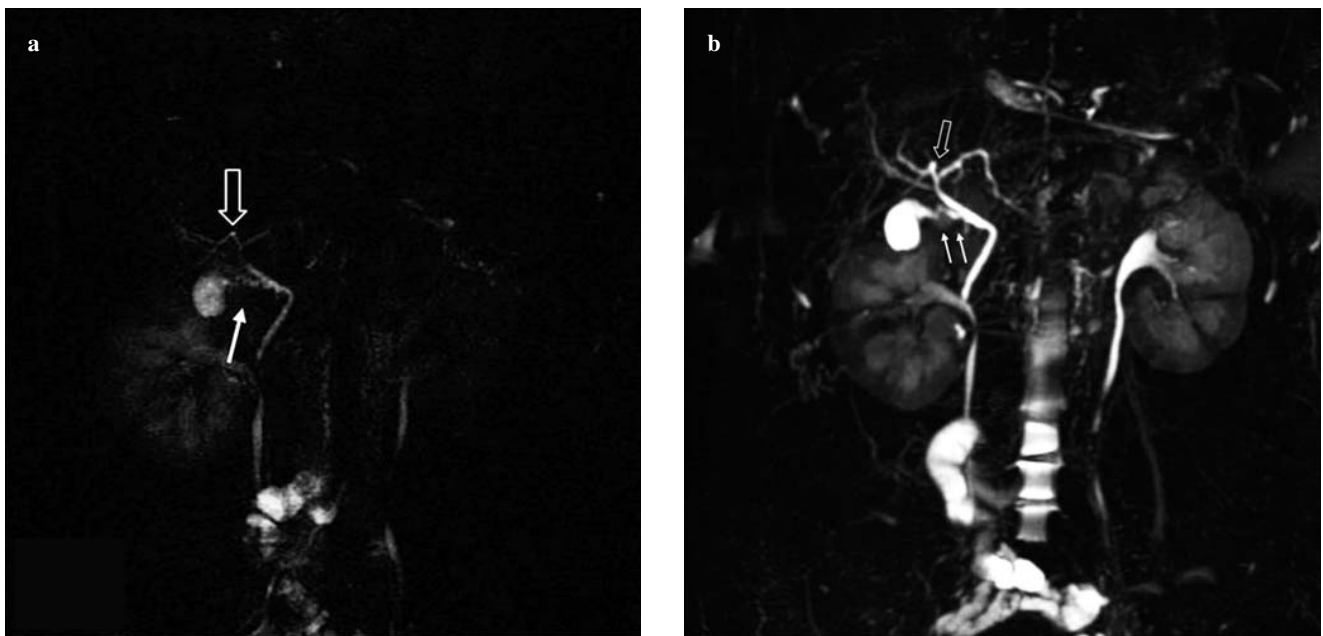


Fig. 5a,b Cystic duct visualisation along the main bile duct. SSFSE thick-slab acquisition shows mildly spiraliform course, with insertion at the middle third of the common bile duct (*white arrow*) (**a**); 3D breath-hold FRFSE shows cystic duct course with high intensity signal (*white arrow*); the right posterior hepatic duct draining into the biliary confluence (*white empty arrows*) is also evident (**b**).

Fig. 5a,b Visualizzazione del dotto cistico lungo la via biliare; si osserva in **a** (acquisizione SSFSE thick slab) il decorso lievemente spiraliforme, con inserzione al terzo medio del dotto coledocico (*freccia bianca*); in **b** (FRFSE 3D breath-hold) dimostra il decorso del dotto cistico con intensità di segnale elevata (*freccia bianca*); è evidente anche lo slittamento del dotto dorso-caudale destro alla convergenza biliare (*freccie bianche vuote*).

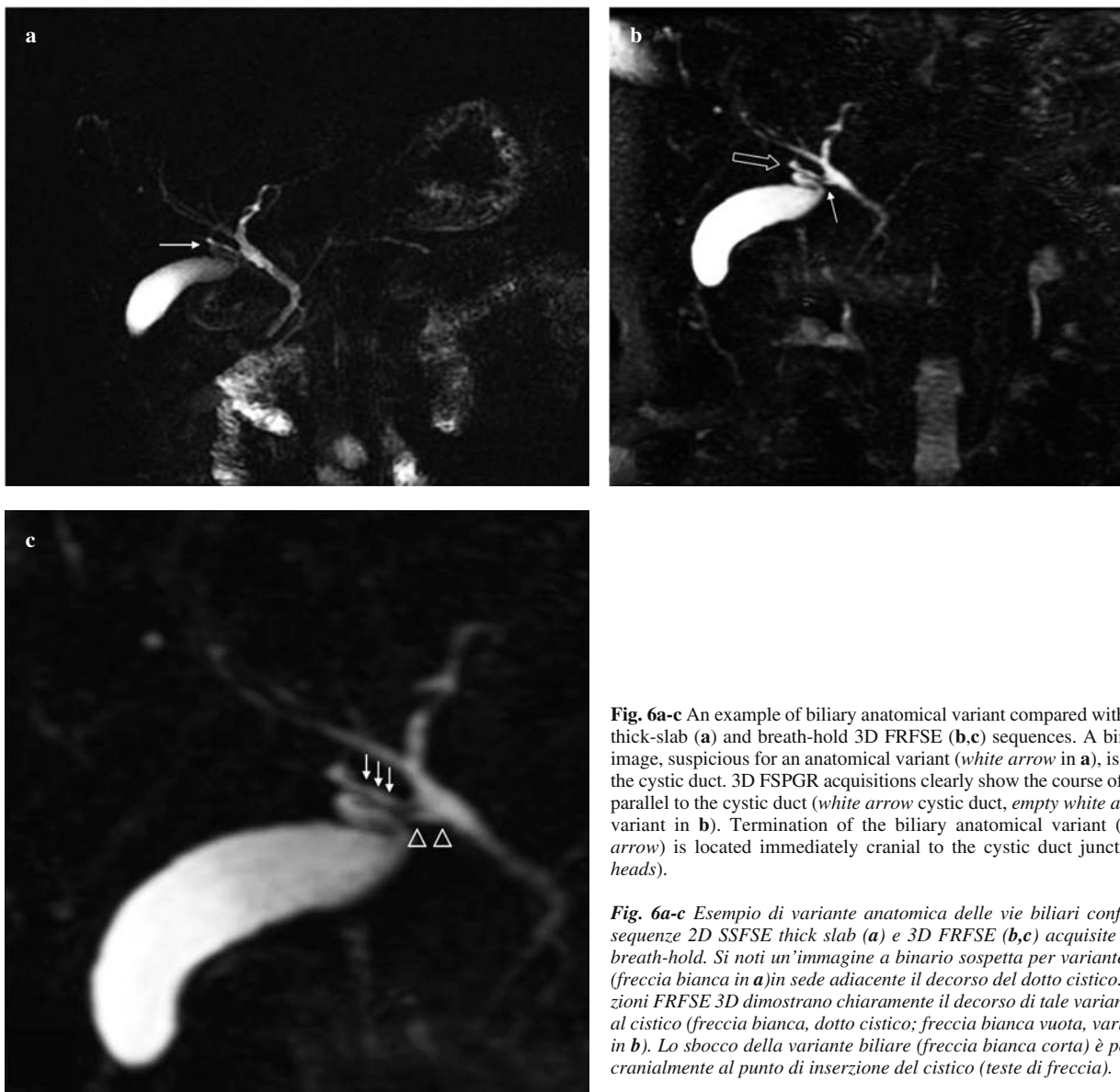


Fig. 6a-c An example of biliary anatomical variant compared with 2D SSFSE thick-slab (**a**) and breath-hold 3D FRFSE (**b,c**) sequences. A binary-shaped image, suspicious for an anatomical variant (*white arrow* in **a**), is visible near the cystic duct. 3D FSPGR acquisitions clearly show the course of this variant parallel to the cystic duct (*white arrow* cystic duct, *empty white arrow* biliary variant in **b**). Termination of the biliary anatomical variant (*short white arrow*) is located immediately cranial to the cystic duct junction (*arrow-heads*).

Fig. 6a-c Esempio di variante anatomica delle vie biliari confrontato con sequenze 2D SSFSE thick slab (**a**) e 3D FRFSE (**b,c**) acquisite con tecnica breath-hold. Si noti un'immagine a binario sospetta per variante anatomica (*freccia bianca* in **a**) in sede adiacente il decorso del dotto cistico. Le acquisizioni FRFSE 3D dimostrano chiaramente il decorso di tale variante parallela al cistico (*freccia bianca*, dotto cistico; *freccia bianca vuota*, variante biliare in **b**). Lo sbocco della variante biliare (*freccia bianca corta*) è posta appena cranialmente al punto di inserzione del cistico (*teste di freccia*).

greater for respiratory-triggered 3D FRFSE sequences, although no statistically significant difference was found between the two techniques in evaluation of the right hepatic duct ($p=0.2291$), the left hepatic duct ($p=0.0918$), the common hepatic duct ($p=0.7316$) and the common bile duct/pancreatic duct confluence ($p=0.9162$). Similarly, no statistically significant difference was found for visualisation of pancreatic segments and anatomical variants of the biliary tract.

Discussion

A number of studies in the literature have already emphasised the role of 3D FRFSE in imaging the biliary tract [16,

differenza statisticamente significativa tra le due sequenze nella valutazione del dotto destro ($p=0,2291$), del dotto sinistro ($p=0,0918$), del dotto epatico comune ($p=0,7316$), della confluenza coledoco-dotto pancreatico ($p=0,9162$). Analogamente non si rileva alcuna differenza statisticamente significativa per i segmenti pancreatici e la visualizzazione delle varianti biliari.

Discussione

Alcuni studi in letteratura hanno già sottolineato il ruolo delle FRFSE 3D nell'imaging dell'albero biliare [16, 17]. Sodickson et al. [16] hanno valutato la visualizzazione dei segmenti del sistema biliare e pancreatico con sequenze

17]. Sodickson et al. [16] evaluated visualisation of the segments of the biliary and pancreatic system with FRFSE and SSFSE sequences. The authors compared the visibility obtained per segment, first with 3D FRFSE sequences versus thin-section 2D SSFSE sequences, and then with 3D FRFSE MIP versus thick-slab 2D SSFSE. In the first comparison, a statistically significant difference was reported in favour of 3D sequences in visualisation of the right hepatic duct, the left hepatic duct, the cystic duct, the common hepatic duct and the pancreatic duct (in all three segments). In the second comparison, however, no significant difference was reported with regard to visualisation of the cystic duct, the right hepatic duct, the left hepatic duct and the common hepatic duct. Only the common bile duct was better visualised with 3D sequences, and there was even an opposite trend in visualisation of the pancreatic duct, with 2D sequences proving superior to 3D sequences. In our study, the score attributed to 2D and 3D sequences was derived from visualisation of native and reconstructed images to take advantage of the added value supplied by MPR and MIP postprocessing, which are typical features of 3D FRFSE sequence. Postprocessing of native images enables clear depiction of the biliary anatomy in dedicated planes, even in several critical points such as the confluence of the cystic duct along the main bile duct. Native 3D images with axial data sets clearly display the anatomy of the intrahepatic bile ducts, which in 2D sequences is not always easy to interpret given the possible overlapping of the ducts.

Masui et al. [17] compared 2D single-SSFSE, 2D multi-SSFSE and 3D FRFSE sequences in evaluation of the biliopancreatic system. They analysed visualisation of the first-, second- and third-order branches of the intrahepatic ducts, in addition to the pancreatic duct, the cystic duct and the extrahepatic bile duct – the latter being divided into three segments (middle, upper and lower). Visualisation of the intrahepatic ducts, the extrahepatic duct in the upper and middle segments, the cystic duct and the pancreatic duct was qualitatively higher with 3D FRFSE sequences ($p < 0.05$) [17]. The 3D FRFSE sequences were acquired with the respiratory-triggered modality.

When first introduced, the 3D technique was unable to produce significant advantages in biliopancreatic imaging, in that it required lengthy execution times for image acquisition. The combination of 3D FSE sequences with echoplanar imaging techniques, according to Wielopolski et al. [18], made it possible to reduce acquisition times and cover a sufficiently large anatomical volume to study the entire biliary system. In addition to reducing acquisition times, the introduction of echoplanar imaging in 3D sequences increased the SNR and spatial resolution [18].

Use of parallel imaging has further reduced acquisition

FRFSE e SSFSE. Gli autori hanno confrontato la visibilità ottenuta per segmento prima con sequenze FRFSE 3D versus sequenze thin section-SSFSE 2D, e successivamente con sequenze FRFSE 3D MIP versus sequenze thick slab-SSFSE 2D; viene riportata una differenza statisticamente significativa a favore delle sequenze 3D nella visualizzazione del dotto destro, del dotto sinistro, del dotto cistico, del dotto epatico comune e del dotto pancreatico (nelle tre componenti), nella comparazione tra le sequenze 2D a strato sottile e le sequenze 3D. Nel confronto 3D MIP versus thick slab 2D, non si rileva invece alcuna differenza significativa riguardo la visualizzazione del cistico, del dotto epatico destro, sinistro e dell'epatico comune; solamente il dotto coledocico è stato meglio visualizzato con le 3D, ed addirittura nella visualizzazione del dotto pancreatico si osserva un'inversione del trend con 2D thick slab superiori alle 3D. Nel nostro studio il punteggio attribuito alle sequenze 2D e 3D è stato ricavato dalla visualizzazione delle immagini native e ricostruite, in modo da sfruttare il valore aggiunto dal post-processing MPR e MIP, "proprio" delle sequenze 3D FRFSE. La rielaborazione delle immagini native consente di dimostrare chiaramente secondo piani dedicati l'anatomia biliare, anche in alcuni punti critici, quale l'inserzione del cistico lungo la via biliare principale; le immagini native 3D acquisite con pacchetti assiali dimostrano chiaramente l'anatomia dei dotti biliari intra-epatici, che nelle sequenze 2D è spesso di non immediata interpretazione in relazione alla possibile sovrapposizione dei dotti.

Masui et al. [17] hanno confrontato sequenze 2D single-SSFSE, 2D multi-SSFSE e 3D FRFSE nella valutazione del sistema bilio-pancreatico; viene analizzata la visualizzazione delle branche di primo, secondo e terzo ordine dei dotti intra-epatici, ed inoltre del dotto pancreatico, del dotto cistico e del dotto biliare extra-epatico quest'ultimo ripartito in tre porzioni (tratto medio, superiore e inferiore). La visualizzazione dei dotti biliari intra-epatici, del dotto biliare extra-epatico nel tratto superiore e medio, del dotto cistico e del dotto pancreatico è risultata qualitativamente più elevata con le FRFSE 3D ($p < 0,05$) [17]. Le sequenze FRFSE 3D sono state acquisite in modalità triggerata con il respiro.

La tecnica 3D dapprima non aveva prodotto vantaggi significativi nella visualizzazione bilio-pancreatica, in quanto richiedeva lunghi tempi di esecuzione per l'acquisizione delle immagini. La combinazione di sequenze 3D FSE con tecniche di echo-planar imaging ha consentito secondo Wielopolski et al. [18] di ridurre i tempi di acquisizione, in modo da coprire un volume anatomico ampio e sufficiente a studiare tutto il sistema biliare; oltre alla riduzione dei tempi, l'introduzione dell'echo-planar imaging nelle sequenze 3D aumenta il rapporto segnale rumore e la risoluzione spaziale [18].

L'impiego dell'imaging parallelo ha ulteriormente ridotto i tempi di acquisizione: nelle attuali sequenze 3D FRFSE

times. In current respiratory-triggered 3D FRFSE sequences, the signal reduction associated with the use of array spatial sensitivity encoding technique (ASSET) is compensated by the application of a fast recovery pulse – a -90° flip back pulse is applied prior to the subsequent excitation – capable of bringing the magnetization vector back in the longitudinal plane with an associated increase in the SNR [17, 19].

Comparison between the respiratory-triggered and breath-hold 3D sequences shows that mean visualisation scores obtained with respiratory-triggered sequences are higher than those obtained with the breath-hold technique, although the difference is not statistically significant. Use of ASSET in 3D acquisitions with the breath-hold technique produced a reduction in acquisition time and therefore in the length of the breath-hold, with the possibility of obtaining good quality images with a 3-mm thickness. The better visualisation obtained with respiratory-triggered 3D sequences and the higher SNR of these sequences can be explained by the modality of filling the k-space, which in the triggered sequences occurs at end expiration, thus avoiding motion artefacts that may flaw image quality obtained with the breath-hold technique, given the lengthy duration of the breath-hold (22–24 s). In addition, respiratory-triggered 3D FRFSE sequences were acquired in times ranging from 2 to 3 min and a slice thickness up to approximately 2 mm, thus enabling more detailed visualisation of the biliary anatomy.

Anatomical variants of the biliary anatomy were better visualised with 3D sequences than with 2D sequences. In our experience, although the thick-slab 2D sequences offer a good panoramic appearance of the biliopancreatic anatomy, they do not always offer immediate and easy identification of the anatomical variants of the cystic and biliary ducts. Visualisation of these variants is often demonstrated with the targeted positioning of the slab during the examination. Correct placement of these “targeted slabs” is often operator dependent in that it is linked to the ability of the radiologist to identify or suspect a variant during the examination. Interpretation of an anatomical variant with the use of 3D technique is much simpler in that the volume of the data set is sufficiently broad to cover the entire biliary tract. The postprocessing done at the end of the examination removes the operator dependence and the need for an immediate reading of the images during the examination. During postprocessing, the biliary and pancreatic anatomy acquired in the 3D volume is analysed with MPR capable of precisely demonstrating any variants, according to dedicated reconstruction planes. It should be borne in mind that native images of 3D FRFSE sequences are particularly important in identification of possible pathological changes: MIP reconstructions, which provide a clear and immediate view of the

triggerate la riduzione di segnale legata all'impiego di array spatial sensitivity encoding technique (ASSET) è compensata con l'applicazione di un impulso fast recovery, un impulso di -90° applicato alla fine del treno di echi FSE, capace di ricondurre nel piano longitudinale il vettore di magnetizzazione, con aumento del rapporto segnale/rumore [17, 19].

Dai risultati ricavati nel confronto tra sequenze 3D acquisite in modalità triggerata e con tecnica breath-hold, si rileva che i valori medi di visualizzazione ottenuti con le sequenze triggerate sono lievemente più elevati rispetto a quelli delle sequenze acquisite con tecnica breath-hold, senza però che si osservi alcuna differenza statisticamente significativa. L'impiego di ASSET nelle acquisizioni 3D con tecnica breath-hold ha consentito una riduzione del tempo di acquisizione e dunque di apnea, con la possibilità di ottenere immagini di buona qualità con spessore di 3 mm. La migliore visualizzazione ottenuta con le sequenze 3D triggerate ed il rapporto segnale/rumore mediamente più elevato di tali sequenze rispetto alle FRFSE acquisite con tecnica breath-hold possono essere spiegati dalla modalità di riempimento del k-spazio, che nelle sequenze triggerate avviene alla fine dell'espiazione, evitando artefatti da movimento che con tecnica breath-hold rischiano talvolta di inficiare la qualità delle immagini, vista la durata del tempo di apnea (22–24 secondi). Inoltre le FRFSE 3D triggerate con il respiro sono state acquisite con tempi tra i due ed i tre minuti e spessore sino a 2 mm circa, consentendo di rilevare un dettaglio anatomico di visualizzazione talvolta più fine.

Riguardo le varianti biliari, le 3D hanno evidenziato capacità di visualizzazione superiori rispetto alle sequenze 2D; le sequenze 2D thick slab nella nostra esperienza pur offrendo una buona panoramica bilio-pancreatica, non sempre permettono una facile e pronta identificazione delle varianti dei dotti biliari e del dotto cistico. La visualizzazione di tali varianti è spesso dimostrata con il posizionamento di slab mirati durante lo svolgimento dell'esame: la corretta disposizione di questi slab mirati è talvolta operatore-dipendente, in quanto legata alla capacità del radiologo di identificare o sospettare nel corso dell'esame una variante. L'interpretazione di una variante anatomica con l'impiego della tecnica 3D è stata più agevole, in quanto il volume del pacchetto di studio è sufficientemente ampio a coprire tutto l'albero biliare; il post-processing eseguito a conclusione dell'esame svincola dall'operatore-dipendenza e dalla necessità di un'immediata lettura dell'immagine durante lo svolgimento dell'esame. Nella rielaborazione delle immagini l'anatomia biliare e pancreatica acquisita nel volume 3D viene analizzata con piani di riformattazione multipli, in grado di dimostrare con esattezza le eventuali varianti, secondo piani di ricostruzione dedicati. È necessario ricordare che le immagini native delle FRFSE 3D mantengono un'elevata importanza nell'identificazione di eventuali alterazioni patologiche: le ricostruzioni MIP, capaci di fornire una

biliary anatomy, can in fact hide the presence of calculosis or other disease.

Conclusions

In conclusion, we can state that 3D FRFSE sequences (breath-hold and respiratory-triggered) present the same level of manageability as 2D SSFSE sequences and are better able to visualise certain segments of the biliary tract compared with thick-section rapid acquisition with relaxation enhancement (RARE) SSFSE sequences, which at the end of the 1990s was the technique of choice for biliary tract imaging. In light of our findings, we suggest considering the use of 3D sequences in the biliopancreatic imaging study protocol alongside conventional 2D sequences.

Conflict of interest None

References/Bibliografia

- Guarise A, Baltieri S, Mainardi P, Faccioli N (2005) Accuratezza diagnostica della colangiowirsung-RM nella coledocolitiasi. *Radiol Med* 109:239–251
- Becker C, Grossholz M, Becker M et al (1997) Choledocholitis and bile duct stenosis: diagnostic accuracy of MR cholangiopancreatography. *Radiology* 205:523–530
- Zhong L, Yao QY, Li L, Xu JR (2003) Imaging diagnosis of pancreato-biliary disease: a control study. *World J Gastroenterol* 9:2824–2827
- Lee MG, Lee HJ, Kim MH et al (1997) Extrahepatic biliary diseases: 3D MR cholangiopancreatography compared with endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Radiology* 202:663–669
- Aubé C, Delorme B, Yzet T et al (2005) MR cholangiopancreatography versus endoscopic sonography in suspected common bile duct lithiasis: a prospective, comparative study. *AJR Am J Roentgenol* 184:55–62
- Manfredi R, Mehrabi S, Motton M et al (2008) Risonanza magnetica (RM) e colangiopancreatografia con RM (CPRM) dei tumori intraduttali papillari mucino-secerenti (TIPM) multifocali dei dotti pancreatici secondari: semeiotica ed evoluzione. *Radiol Med* 113:414–428
- Ausch C, Hochwarter G, Taher M et al (2005) Improving the safety of laparoscopic cholecystectomy: the routine use of preoperative magnetic resonance cholangiography. *Surg Endosc* 19:574–580
- Macdonald DB, Haider MA, Khalili K et al (2005) Relationship between vascular and biliary anatomy in living liver donors. *AJR Am J Roentgenol* 185:247–252
- Puente SG, Bannura GC (1983) Radiological anatomy of the biliary tract: variations and congenital abnormalities. *World J Surg* 7:271–276
- Taourel P, Bret PM, Reinhold C et al (1996) Anatomic variants of the biliary tree: diagnosis with MR cholangiopancreatography. *Radiology* 199:521–527
- De Filippo M, Calabrese M, Quinto S et al (2008) Varianti ed anomalie congenite delle vie biliari e pancreatiche: aspetti colangiopancreato-RM, epidemiologia e significato clinico. *Radiol Med* 113:841–859
- Reuther G, Kiefer B, Tuchmann A (1996) Cholangiography before biliary surgery: single-shot MR cholangiography versus intravenous cholangiography. *Radiology* 198:561–566
- Fulcher AS, Turner MA, Capps GW (1999) MR cholangiography: technical advances and clinical applications. *RadioGraphics* 19:25–41
- Reinhold C, Guibaud L, Genin G, Bret PM (1995) MR cholangiopancreatography: comparison between two-dimensional fast spin-echo and three-dimensional gradient-echo pulse sequences. *J Magn Resonan Imaging* 4:379–384
- Yoshida J, Chijiwa K, Yamaguchi K et al (1996) Practical classification of the branching types of the biliary tree: an analysis of 1,094 consecutive direct cholangiograms. *J Am Coll Surg* 182:37–40
- Sodickson A, Mortelet KJ, Barish MA et al (2006) Three-dimensional fast-recovery fast spin-echo MRCP: comparison with two-dimensional single-shot fast spin-echo techniques. *Radiology* 238:549–559
- Masui T, Katayama M, Kobayashi S et al (2006) Magnetic resonance cholangiopancreatography: comparison of respiratory-triggered three-dimensional fast-recovery fast spin-echo with parallel imaging technique and breath-hold half-Fourier two-dimensional single-shot fast spin-echo technique. *Radiat Med* 24:202–209
- Wielopolski PA, Gaa J, Wielopolski DR, Oudkerk M (1999) Breath-hold MR cholangiopancreatography with three-dimensional, segmented, echo-planar imaging and volume rendering. *Radiology* 210:247–252
- Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, Boesiger P (1999) SENSE: sensitivity encoding for fast MRI. *Magn Reson Med* 42:952–962

Conclusioni

In conclusione, possiamo affermare che le sequenze 3D FRFSE (breath-hold e respiratory triggered) attualmente presentano la stessa maneggevolezza delle SSFSE 2D, con capacità di visualizzazione a tratti superiori rispetto alle SSFSE thick-section rapid acquisition with relaxation enhancement (RARE), sequenze che alla fine degli anni '90 si sono imposte come imaging di scelta biliare. In relazione ai risultati ottenuti, suggeriamo di considerare l'eventuale utilizzo delle 3D nel protocollo di studio dell'imaging biliopancreatico, accanto alle convenzionali sequenze 2D.