

Valutazione della condropatia rotulea con RM: confronto tra sequenze FSE SPIR T2 e GE MTC

Luca MACARINI - Alessandra PERRONE* - Mario MURRONE
Stefania MARINI - Michele STEFANELLI*

Scopo. Confrontare due differenti tecniche RM di soppressione del segnale tessutale nello studio delle alterazioni della cartilagine articolare rotulea.

Materiale e metodi. Sono stati studiati 26 pazienti con RM utilizzando sequenze Spectral Saturation with Inversion Recovery (SPIR), con soppressione del segnale del tessuto adiposo e immagini pesate in T2, e sequenze Magnetization Transfer Contrast (MTC) e sequenze SE pesate in T1-T2. Tutti i pazienti sono stati sottoposti ad artroscopia e in ogni paziente è stata valutata la presenza di lesioni della cartilagine ialina in tre zone articolari rappresentate dalla faccetta mediale, dalla faccetta laterale e dalla cresta rotula. In totale sono state valutate 78 faccette articolari. Le lesioni sono state suddivise in tre stadi utilizzando una classificazione semplificata adattata alla RM in cui la cartilagine normale corrisponde allo stadio 0 della classificazione artroscopica di Noyes, le lesioni di basso grado corrispondono agli stadi I e IIa di Noyes e lesioni di alto grado corrispondono agli stadi IIb e III di Noyes. I risultati artroscopici sono stati confrontati con quelli della RM. Sono state valutate l'accuratezza diagnostica, la sensibilità, la specificità, il VPP e il VPN delle due sequenze considerando complessivamente tutte le lesioni e separatamente le lesioni di basso e di alto grado.

Risultati. L'artroscopia ha rilevato 24 lesioni di basso grado, di cui 16 di stadio I e 8 IIa, e 18 di alto grado, di cui 10 di stadio IIb e 8 di stadio III. La sequenza FSE SPIR T2 e la sequenza GE MTC hanno presentato valori di accuratezza diagnostica complessiva su tutti gli stadi di lesione rispettivamente del 90% e del 77%. La differenza tra le due sequenze è stata maggiore nell'identificazione delle lesioni di basso grado dove la sequenza FSE SPIR T2 ha presentato una sensibilità del 88% e la sequenza GE MTC del 42%. Non si sono invece rilevate sostanziali differenze di specificità tra le due sequenze che hanno presentato, considerando tutti gli stadi, la sequenza FSE SPIR T2 valori del 89% e la sequenza GE MTC del 94%. La sequenza FSE SPIR T2 ha dimostrato le alterazioni del contenuto d'acqua della cartilagine articolare che rappresentano le alterazioni dei primi stadi di patologia. Tale sensibilità della metodica ha consentito di ottenere anche un maggiore contrasto nel rilevare le fini irregolarità superficiali cartilaginee. La sequenza GE MTC ha consentito di rilevare correttamente le lesioni di alto grado che sono suscettibili di trattamenti chirurgici e, in presenza di versamento articolare, piccoli difetti della cartilagine. La sequenza GE MTC è stata del tutto insoddisfacente nelle lesioni di basso grado poiché la soppressione del segnale dei protoni dell'acqua legata ha ridotto il contrasto tra le aree di cartilagine articolare a diverso contenuto d'acqua. Per questo motivo non è stato rilevato l'edema cartilagineo e le iniziali fibrillazioni superficiali.

Conclusioni. Nella nostra esperienza la sequenza FSE SPIR T2 è stata superiore alla sequenza GE MTC nell'identificazione delle lesioni di bas-

Evaluation of patellar chondromalacia with MR: comparison between T2-weighted FSE SPIR and GE MTC

Purpose. To compare two different MR sequences to tissue signal suppression in the study of patellar cartilage abnormalities.

Materials and methods. We examined 26 patients with magnetic resonance (MR) imaging: sequences included spectral saturation with inversion recovery (SPIR), with fat suppression and T2-weighted images, magnetization transfer contrast (MTC) sequences, T1-weighted and T2-weighted spin-echo sequences. All patients underwent conventional knee arthroscopy and in all patients a hyaline cartilage lesion was assessed in three articular zones: the patellar medial facet, the lateral facet and the patellar crista. Was assessed 78 articular facets. The lesions were classified using a standard arthroscopic grading system adapted to MR imaging: normal cartilage that corresponds to the grade 0 according to the Noyes grading system, low grade lesions that correspond to the grade I e IIa and high grade lesions that correspond to grades IIb and III. The arthroscopic results were compared with MR images. We assessed the MR diagnostic accuracy, sensitivity, specificity and MR positive predictive value and negative predictive value of the two sequences taking into consideration total lesions, and high-grade and low grade lesions separately.

Results. Twenty-four low grade lesions (16 grade I e 8 grade IIa) and 18 high grade lesions (10 grade IIb e 8 grade III) were diagnosed by arthroscopy. Regarding low grade and high-grade lesions together, the accuracy was 77% for MTC sequences and 90% for SPIR sequences.

In identifying low-grade lesions, the sensitivity was 88% for SPIR sequence and 42% for MTC sequences. Specificity for the detection of all lesions was 89% for the SPIR sequences and 94% for the MTC sequences. The SPIR sequence visualised water content abnormalities in degenerating cartilage, which are representative of low-grade lesions. The sensitivity of the sequence enabled us to obtain improved contrast for detecting cartilage surface irregularities. The MTC sequences allowed us to grade high-grade lesions susceptible to surgery and small cartilage defects in the presence of joint fluid. The MTC sequences were insufficient in the diagnosis of early stages of chondromalacia because the suppression of the signal of bonded water reduced the contrast among areas of articular cartilage with different water content. For this reason cartilage oedema and early superficial fibrillation were not identified.

Conclusions. In our experience the SPIR sequence proved superior to the MTC sequence in the identification of low grade lesions of the patellar cartilage. The overall value of such sequences in the study of articu-

so grado della cartilagine rotulea. Il valore complessivo di tali sequenze nello studio della patologia articolare tuttavia dovrà essere valutato anche in altre sedi dove lo spessore della cartilagine articolare è inferiore e le superfici più curve.

PAROLE CHIAVE: Condromalacia – Ginocchio - Risonanza Magnetica.

Introduzione

La cartilagine ialina è un tessuto altamente specializzato per resistere alle forze di compressione e la sua funzione principale è facilitare lo scorrimento delle superfici articolari. Tale tessuto è invece facilmente lesionato dalle forze di taglio, ha una scarsa capacità riparativa ed è frequentemente coinvolto da patologie di tipo traumatico, flogistico e degenerativo. Le sue alterazioni hanno un carattere evolutivo, possono portare rapidamente ad un'invalidità funzionale dell'articolazione e rappresentano una delle cause più frequenti d'inabilità cronica [1]. Il ginocchio è una delle articolazioni che viene più spesso interessata da lesioni della cartilagine articolare, sia in forma isolata sia in associazione a lesioni d'altre strutture articolari interne. Dal punto di vista diagnostico le lesioni della cartilagine del ginocchio possono simulare altre patologie e la loro presenza è un fattore prognostico peggiorativo nei pazienti sottoposti ad intervento di meniscectomia [2, 3]. È quindi di fondamentale importanza l'identificazione e la stadiazione delle lesioni cartilaginee al fine di instaurare una terapia corretta e bloccare la progressione del processo artrosico.

La RM è la metodica non invasiva di scelta nello studio delle articolazioni, ed in particolare della cartilagine articolare, in relazione alle sue multiplanarietà ed eccellente risoluzione di contrasto, che le consente di discriminare tra loro i tessuti e, al loro interno, le variazioni dei loro costituenti [4, 5].

Le recenti innovazioni in campo terapeutico hanno rilevato l'importanza della selezione dei pazienti da sottoporre ad intervento chirurgico e del follow-up postoperatorio, e hanno determinato un rinnovato interesse nel definire le tecniche RM più idonee per lo studio della cartilagine articolare. Attualmente esistono numerose sequenze RM, alcune delle quali utilizzano tecniche di soppressione del segnale tessutale, che presentano differenti valori di sensibilità e specificità [6-11]. Ancora oggi è oggetto di discussione quale sia la tecnica migliore e la scelta della sequenza da utilizzare è condizionata dall'indirizzo clinico o di ricerca dell'esame RM, dal tipo di apparecchiatura e del tempo-macchina a disposizione.

Nella nostra esperienza abbiamo utilizzato due sequenze dedicate allo studio della cartilagine articolare che si basano su una tecnica di soppressione del tessuto adiposo, denominata Spectral Saturation with Inversion Recovery (SPIR), e l'altra su una tecnica di trasferimento di magnetizzazione, che sopprime il segnale dell'acqua legata a macromolecole, denominata Magnetization Transfer Contrast (MTC). Entrambe le sequenze in presenza di versamento articolare determinano un marcato effetto artrografico, sono veloci ed hanno il vantaggio, rispetto ad altri tipi di sequenze, di essere utili anche nello studio delle restanti strutture articolari. Queste caratteristiche le rendono proponibili per essere inserite nel protocollo di studio di routine del ginocchio.

Scopo del nostro lavoro è stato quello di confrontare le sequenze FSE SPIR T2 pesate con le sequenze GE MTC

lar pathology also needs to be assessed in the other sites where the articular cartilage is thinner and surfaces more curvilinear.

KEY WORDS: Chondromalacia - Knee - Magnetic Resonance Imaging.

Introduction

Hyaline cartilage is a tissue highly specialised in resisting compression forces, and its main function is to facilitate the movement of articular surfaces. It is, however, easily damaged by shearing forces, has a limited regenerative ability and is frequently involved in trauma, inflammatory and degenerative pathologies. Alterations of hyaline cartilage tend to evolve, they can rapidly lead to functional disability of the joint and are among the most frequent causes of chronic disability [1]. The knee is one of the joints which is most commonly affected by lesions of the articular cartilage, both alone and in association with lesions of other internal articular structures. With regard to diagnosis, the lesions of the knee cartilage can simulate other pathologies and their presence tends to worsen the prognosis in patients undergoing meniscectomy [2, 3]. Identifying and staging cartilaginous lesions is therefore crucial in order to establish the correct treatment and halt the progression of the degenerative process.

Magnetic resonance (MR) is the non-invasive technique of choice in the study of the joints, and the articular cartilage in particular, owing to its multiplanar capabilities and excellent contrast resolution, which enable it to differentiate between the various tissues of the joints and the variation in their constituents [4, 5].

Recent innovations in treatment have demonstrated the importance of the selection of patients to undergo surgery as well as post-operative follow-up, and they have led to a renewed interest in defining the most appropriate MR techniques for the study of articular cartilage. There are currently a number of MR sequences, some of which use techniques of tissue signal suppression, with different sensitivity and specificity values [6-11]. There is still debate today regarding the best technique to use, and the choice of the sequence is dependent on the clinical or research aims of the MR examination, the type of device used and the time available for using the device.

We used two dedicated sequences for the study of the articular cartilage: one based on a technique of fat tissue signal suppression, known as spectral saturation with inversion recovery (SPIR), and the other based on a technique of magnetisation transfer, which suppresses the signal of water bonded to macromolecules, known as magnetisation transfer contrast (MTC). In the presence of articular effusion both sequences provide a marked arthrographic effect, they are fast and have the advantage with respect to other types of sequences of also being useful in the study of other articular structures. Thanks to these characteristics the sequences may be included in the routine study protocol of the knee.

The aim of this paper is to compare T2-weighted fast spin echo (FSE) SPIR sequences with gradient echo (GE) MTC sequences in the study of patellar chondromalacia so as to assess which is the most effective and appropriate for clinical use.

TABELLA I. — Confronto tra classificazione artroscopica di Noyes e aspetti RM (CS: classificazione semplificata).

Stadio Noyes	Artroscopia	Risonanza Magnetica	Stadio (CS)
0	Cartilagine normale	Intensità di segnale omogenea senza irregolarità superficiali	0
I	Rammollimento e fibrillazione superficiale	Alterazione focale di segnale della cartilagine senza irregolarità superficiali	I
Ia	Ulcerazione superficiale <50%	Irregolarità superficiale e riduzione dello spessore cartilagineo inferiore al 50%	
Ib	Ulcerazione profonda >50%	Irregolarità e riduzione dello spessore cartilagineo di oltre il 50% ma non a tutto spessore	II
III	Esposizione dell'osso subcondrale	Assenza di cartilagine senza o con irregolarità dell'osso subcondrale	

TABLE I.—Comparison between the Noyes arthroscopic grading system and MR imaging.

Noyes stage	Arthroscopy	Magnetic Resonance	Stage (SC)
0	Normal cartilage	Homogeneous signal intensity without superficial irregularities	0
I	Softening and superficial fibrillation	Focal signal alterations of the cartilage without superficial irregularities	I
Ia	Superficial fibrillation <50%	Superficial irregularities and reduction of cartilage thickness <50%	
Ib	Deep ulceration >50%	Irregularities and reduction of the cartilage thickness >50% but not the entire thickness	II
III	Exposure of the subchondral bone	Absence of cartilage with or without irregularities of the subchondral bone	

nello studio della condropatia rotulea, al fine di valutare la più efficace ed idonea per un impiego clinico.

Materiale e metodi

Selezione dei pazienti

Abbiamo studiato con RM 26 pazienti, 17 uomini e 9 donne, di età media di 19 anni (range 14-22). In 8 casi i pazienti presentavano gonalgia post-traumatica e in 18 casi gonalgia cronica del comparto anteriore. Tutti i pazienti sono stati sottoposti ad artroscopia ad una distanza di tempo non superiore ad un mese dall'esecuzione dell'esame RM.

Tecnica RM

Gli esami RM sono stati eseguiti con un'apparecchiatura da 1 Tesla (Philips NT 1.0) con lo stesso protocollo di immagine. Abbiamo ristretto lo studio alla cartilagine articolare rotulea poiché è la più spessa del nostro corpo ed è frequentemente interessata da alterazioni post-traumatiche e degenerative. Lo studio ha previsto l'utilizzo di una bobina di superficie dedicata allo studio del ginocchio, scansioni sul piano assiale con spessore di strato di 4 mm, campo di vista (FOV) 180 mm, campo di ricostruzione (RFOV) 80%, matrice di 205×256. Come sequenze sono state impiegate: Fast Spin-Echo (FSE) Spectral Presaturation with Inversion Recovery (SPIR) con immagini T2 pesate (TR/TE 2700/70 ms, Turbo Factor 7, TA 4'20'') e Gradient-Echo (GE) Magnetization Transfer Contrast (MTC) con immagini T1/T2* pesate (TR/FA/TE 700/30°/9 ms, TA 3'50''). Il tempo complessivo dell'esame RM non ha mai superato i 30 minuti.

Classificazione artroscopica

Le lesioni condrali riscontrate all'artroscopia sono state classificate secondo la classificazione di Noyes che considera 4 parametri: l'integrità della cartilagine, la profondità, la sede ed il diametro della lesione [12].

Materials and methods

Patient selection

We performed MR examination of 26 patients (17 males, 9 females) with a mean age of 19 years (range 14-22). In eight cases the patients presented post-traumatic knee pain and in 18 cases chronic knee pain of the anterior compartment. All of the patients underwent arthroscopy within one month of the MR examination.

MR technique

The MR examinations were performed with a 1 Tesla device (Philips NT 1.0) with the same image protocol. We restricted the study to the patellar articular cartilage because it is the thickest in the human body and is frequently subject to post-traumatic and degenerative alterations. The study involved the use of a surface coil dedicated to the study of the knee, axial scans with a 4 mm slice thickness, 180 mm field of view, 80% reconstruction field of view and a 205×256 matrix. The sequences used were FSE SPIR with T2-weighted images (TR/TE 2700/70 ms, turbo factor 7, TA 4'20'') and GE MTC with T1/T2*-weighted images (TR/FA/TE 700/30°/9 MS, TA 3'50''). In no case did the overall examination time exceed 30 minutes.

Arthroscopic classification

The chondral lesions encountered at arthroscopy were classified according to Noyes's classification which takes into account 4 parameters: 1) the description of the articular surface; 2) the depth of the lesion; 3) the location of the lesion; and 4) the diameter of the lesion [12]. There are five stages to this classification (Table I): stage 0 – normal cartilage; stage I – softening and superficial fibrillation with loss of substance; stage IIa – superficial ulceration or cyst-like thickening; stage IIb – deep ulceration and "crab meat" appearance; and stage III – exposure and sclerosis of the subchondral bone.

Secondo tale classificazione si riconoscono 5 stadi (tab. I): 0 cartilagine normale, I rammollimento e fibrillazione superficiale senza perdita di sostanza, IIa ulcerazione superficiale o ispessimento simil-cistico, IIb ulcerazione profonda a «polpa di granchio», III esposizione e sclerosi dell'osso subcondrale.

Aspetti RM

In RM la cartilagine articolare è stata considerata normale quando, in entrambe le sequenze, appariva di spessore regolare e con segnale omogeneo di intensità intermedia, facilmente differenziabile dall'alta iperintensità di segnale del liquido sinoviale e dal basso segnale dell'osso subcondrale sottostante. La cartilagine articolare è stata considerata anormale quando erano presenti aree focali di alterato segnale, irregolarità, difetti o rigonfiamenti della superficie articolare e aree di edema o di sclerosi dell'osso subcondrale. Le zone di cartilagine articolare orientate di circa 55° rispetto al campo magnetico principale sono state valutate con attenzione per escludere che un eventuale incremento dell'intensità di segnale fosse causato da un artefatto da magic angle phenomenon [13].

In RM (tab. I) abbiamo considerato stadio 0 quando la cartilagine era di segnale intermedio, omogeneo e con superficie regolare. Stadio I quando era presente un'alterazione di segnale della cartilagine, superficiale o profonda, senza irregolarità della superficie o perdita di sostanza. Stadio IIa quando erano presenti un'ulcerazione dello strato superficiale che interessava meno del 50% dello spessore della cartilagine o piccole formazioni simil-cistiche (blister), localizzate nello strato profondo della cartilagine, che determinavano un rigonfiamento della superficie articolare. Stadio IIb quando era presente un'ulcerazione profonda che interessava più del 50% dello spessore della cartilagine (fig. 3A, B). Stadio III quando la cartilagine era totalmente assente con esposizione dell'osso subcondrale che poteva apparire normale o sclerotico.

Analisi statistica

Per la correlazione RM-artroscopia è stata utilizzata una classificazione semplificata, già utilizzata in letteratura [9, 14, 15], che noi abbiamo adottato nella pratica clinica e che uniforma gli aspetti morfologici riscontrati dagli esami strumentali con le indicazioni al trattamento terapeutico. In base a tale classificazione (tab. I) si riconoscono 3 stadi: normale, lesione di basso grado, corrispondente agli stadi I e IIa di Noyes, ritenuta suscettibile di trattamento conservativo, e lesione di alto grado, corrispondente agli stadi IIb e III, trattabile chirurgicamente.

Per ogni paziente abbiamo valutato separatamente la cartilagine di tre aree articolari rappresentate dalla faccetta mediale, dalla faccetta laterale e dalla cresta rotulea. Complessivamente in 26 pazienti sono state considerate 78 aree articolari.

Abbiamo valutato l'accuratezza diagnostica, la sensibilità, la specificità, il valore predittivo positivo (VPP) e il valore predittivo negativo (VPN) della RM nell'identificazione e nella stadiazione delle lesioni cartilaginee utilizzando i risultati dell'artroscopia come «gold standard». Abbiamo effettuato separatamente tre valutazioni: in una abbiamo considerato i risultati delle sequenze prendendo in considerazione complessivamente tutte le lesioni, a prescindere dallo stadio, in un'altra solo le lesioni a basso grado e nell'ultima solo quelle di alto grado.

MR findings

In MR the articular cartilage was considered normal when in both sequences it appeared to have a regular thickness and an intermediately intense homogeneous signal which was easily distinguished from the hyperintense signal of the synovial liquid and the low signal of the underlying subchondral bone. The cartilage was considered abnormal when focal areas of altered signal were present, as well as irregularities, defects or swelling of the articular surface and areas of oedema or sclerosis of the subchondral bone. The areas of articular cartilage oriented at about 55° with respect to the static magnetic field were assessed with attention to excluding a possible increase in signal intensity caused by the magic angle phenomenon [13].

In MR (Table I) we gave the following judgements: stage 0 in the presence of cartilage with regular surfaces and an intermediate and homogeneous signal; stage I in the presence of an alteration of the cartilage signal, either superficial or deep, without surface irregularities or loss of substance; stage IIa in the presence of an ulceration of the superficial layer not involving more than 50% of the cartilage thickness, or small blisters situated in the deep layer of the cartilage causing a swelling of the articular surface; stage IIb in the presence of a deep ulceration involving more than 50% of the cartilage thickness (Figs. 3A, B); and stage III when the cartilage was totally absent with exposure of the subchondral bone with either a normal or sclerotic appearance.

Statistical analysis

A simplified classification already adopted in the literature [9, 14, 15] was used for the arthroscopy-MR correlation, a classification we have adopted in clinical practice which renders uniform the morphological aspects encountered by the instrumental examinations with the therapeutic indications. This classification (Table I) recognises three stages: 1) normal; 2) low-grade lesions, which correspond to Noyes's stages I and IIa, and which are considered appropriate for conservative treatment; and 3) high-grade lesions, which correspond to Noyes's stages IIb and III, and which require surgical treatment.

In each patient we separately assessed the cartilage of three articular areas: the medial facet, the lateral facet and the patellar crest. Overall in 26 patients we evaluated 78 articular areas.

We assessed the diagnostic accuracy, the sensitivity, the specificity, the positive predictive value (PPV) and the negative predictive value (NPV) of MR in identifying and staging the cartilage lesions using the results of arthroscopy as the gold standard. We performed three separate assessments: firstly, we considered the results of the sequences taking into account all of the lesions, regardless of the stage; secondly, we considered only the low-grade lesions; and thirdly, we considered only high-grade lesions.

Results

The arthroscopic examination identified 42 lesions overall: 15 cases at the level of the medial facet, 20 cases at the

TABELLA II. — Numero e stadio delle lesioni rilevate dall'artroscopia e dalla RM.

Stadio	Artroscopia	FSE SPIR T2	GE MTC
0	36	32	34
I	16	14	6
IIa	8	7	4
IIb	10	9	8
III	8	8	8
Totale	78	70	60

TABLE II.—Number and stage of the lesions detected by arthroscopy and MR imaging.

Stage	Arthroscopy	T2 weighted FSE-SPIR	GE MTC
0	36	32	34
I	16	14	6
IIa	8	7	4
IIb	10	9	8
III	8	8	8
Total	78	70	60

TABELLA III. — Correlazione artroscopica e RM con sequenze FSE SPIR T2 e GE MTC.

Artroscopia	FSE SPIR T2				GE MTC			
	N.	I	II	Tot.	N.	I	II	Tot.
N.	32	3	1	36	34	1	1	36
I	2	21	1	24	13	10	1	24
II	1	0	17	18	1	1	16	18
Totale	35	24	19	78	48	12	18	78

TABLE III.—Comparison between arthroscopy and MR with T2-weighted FSE SPIR and GE MTC sequences.

Arthroscopy	T2-weighted FSE SPIR				GE MTC			
	Normal	I	II	Tot.	Normal	I	II	Tot.
Normal	32	3	1	36	34	1	1	36
I	2	21	1	24	13	10	1	24
II	1	0	17	18	1	1	16	18
Total	35	24	19	78	48	12	18	78

TABELLA IV. — Risultati sul numero totale delle lesioni, sulle lesioni a basso grado e sulle lesioni ad alto grado.

	FSE SPIR T2			GE MTC		
	Tot.	I	II	Tot.	I	II
Accuratezza %	90	92	96	77	79	95
Sensibilità %	90	88	94	64	42	89
Specificità %	89	94	97	94	96	97
VPP %	90	88	89	93	83	89
VPN %	89	94	98	68	79	97

TABLE IV.—Results for all lesions, low grade lesions and high grade lesions.

	T2-weighted FSE SPIR			GE MTC		
	Tot.	I	II	Tot.	I	II
Accuracy %	90	92	96	77	79	95
Sensitivity %	90	88	94	64	42	89
Specificity %	89	94	97	94	96	97
PPV %	90	88	89	93	83	89
NPV %	89	94	98	68	79	97

Risultati

L'esame artroscopico ha evidenziato complessivamente 42 lesioni localizzate in 15 casi a livello della faccetta mediale, in 20 casi in quella laterale e in 7 casi a livello della cresta rotulea. Ventiquattro lesioni erano di basso grado, di cui 16 di stadio I e 8 di stadio IIa secondo la classificazione di Noyes, e 18 lesioni di alto grado, di cui 10 di stadio IIb e 8 di stadio III (tab. II).

La correlazione tra le lesioni rilevate all'artroscopia e alla RM è riportata nella tabella II. I risultati nell'identificazione per stadio delle singole sequenze sono riportati nella tabella III. L'accuratezza diagnostica, la sensibilità, la specificità, il valore predittivo positivo (VPP) e il valore predittivo negativo (VPN) sono riportati nella tabella IV. Da essi si evince una superiorità della sequenza FSE SPIR T2 rispetto alla

level of the lateral facet, and seven cases at the level of the patellar crista. Twenty-four lesions were low grade, of which 16 were stage I and 8 were stage IIa according to Noyes, whereas 18 lesions were high grade, of which 10 were stage IIb and 8 were stage III (Table II).

The correlation between the lesions identified with arthroscopy and with MR is summarised in Table II. The results regarding the identification of the stage of the lesion for the individual sequences are summarised in Table III. The diagnostic accuracy, the sensitivity, the specificity, the PPV and the NPV are summarised in Table IV. The results demonstrate greater accuracy in the T2-weighted FSE SPIR sequence with respect to GE MTC, with diagnostic accuracy values which consider all stages of 90% and 77%, respectively, and with NPV values of 89% and 68%,

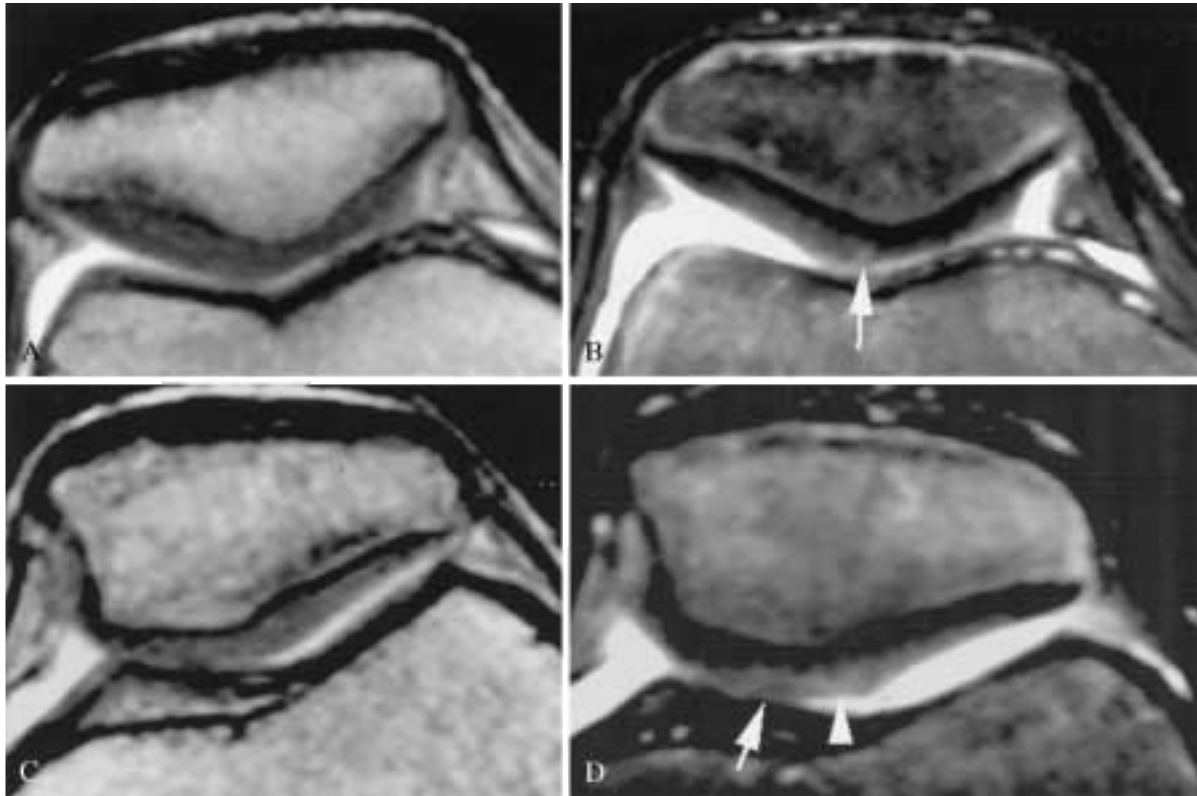


Fig. 1. — Cartilagine articolare normale. Immagini assiali con sequenze GE MTC (A-C) e FSE SPIR T2 (B-D). In entrambe le sequenze la cartilagine articolare è di spessore regolare e di segnale intermedio che contrasta con il liquido sinoviale iperintenso. La maggiore sensibilità della sequenza FSE SPIR T2 (B-D) dimostra una fine irregolarità superficiale (freccia) e un segnale disomogeneo (punta di freccia) della cartilagine non evidenti con la sequenza GE MTC.

Normal articular cartilage. Axial image with gradient echo magnetisation transfer contrast (GE MTC) (A, C) and fast spin echo spectral presaturation with inversion recovery (FSE SPIR) T2 (B, D) sequences. In both sequences articular cartilage has a regular thickness and an intermediate signal contrasting with the hyperintense signal of the synovial fluid. The greater sensitivity of FSE SPIR T2-weighted sequence (B, D) shows a subtle surface irregularity (arrow) and a inhomogeneous cartilage signal (arrowhead) not evident with GE MTC sequence.

GE MTC con valori di accuratezza diagnostica, considerando tutti gli stadi, rispettivamente del 90% e 77% e con valori di VPN rispettivamente del 89% e del 68%. La sequenza FSE SPIR T2 ha valutato correttamente la cartilagine normale nel 88% e la sequenza GE MTC nel 94% (fig. 1). La differenza di maggiore rilievo tra le due sequenze si è riscontrata nella sensibilità d'identificazione delle lesioni di basso grado. In questo stadio la sequenza FSE SPIR T2 ha presentato una sensibilità del 88% a fronte di una sensibilità della GE MTC del 42% (fig. 2). Nell'identificazione delle lesioni di alto grado invece le due sequenze hanno presentato valori di sensibilità sovrapponibili, con il 94% per la FSE SPIR T2 e l'89% per la GE MTC (fig. 3).

La sequenze FSE SPIR T2 ha avuto 4 falsi positivi, 3 falsi negativi, 1 sottostadiazione ed 1 sovrastadiazione. I falsi positivi in 3 casi erano aree di iperintensità di segnale interpretate alla RM come edema cartilagineo (fig. 4b) ed in 1 caso un assottigliamento della cartilagine interpretato come area di denudamento dell'osso subcondrale. I falsi negativi erano in 2 casi delle aree superficiali di fibrillazione ed in 1 caso un'ulcerazione profonda della faccetta mediale. La sequenza GE MTC ha avuto 2 falsi positivi, 14 falsi negativi, 1 sot-

respectively. The T2-weighted FSE SPIR sequence correctly assessed normal cartilage in 88% of cases and the GE MTC sequence in 94% of cases (Fig. 1) The most significant difference between the two sequences was the sensitivity in identifying low-grade lesions. The T2-weighted FSE SPIR sequence had a sensitivity value of 88% compared with the sensitivity of GE MTC of 42% (Fig. 2). With regard to the identification of high-grade lesions, however, the two sequences presented similar sensitivity values, with 94% for T2-weighted FSE SPIR and 89% for GE MTC (Fig. 3).

The T2-weighted FSE SPIR sequences had four false positives, 3 false negatives, one understaging and one overstaging. The false positives in three cases were areas of signal hyperintensity interpreted at MR as cartilage oedema (Fig. 4B) and in one case a thinning of cartilage interpreted as an area of exposure of subchondral bone. The false negatives in two cases were superficial areas of fibrillation and in one case a deep ulceration of the medial facet. The GE MTC sequences had two false positives and 14 false negatives, one understaging and one overstaging. The two false positives involved apparent thinning of the cartilage of various degrees

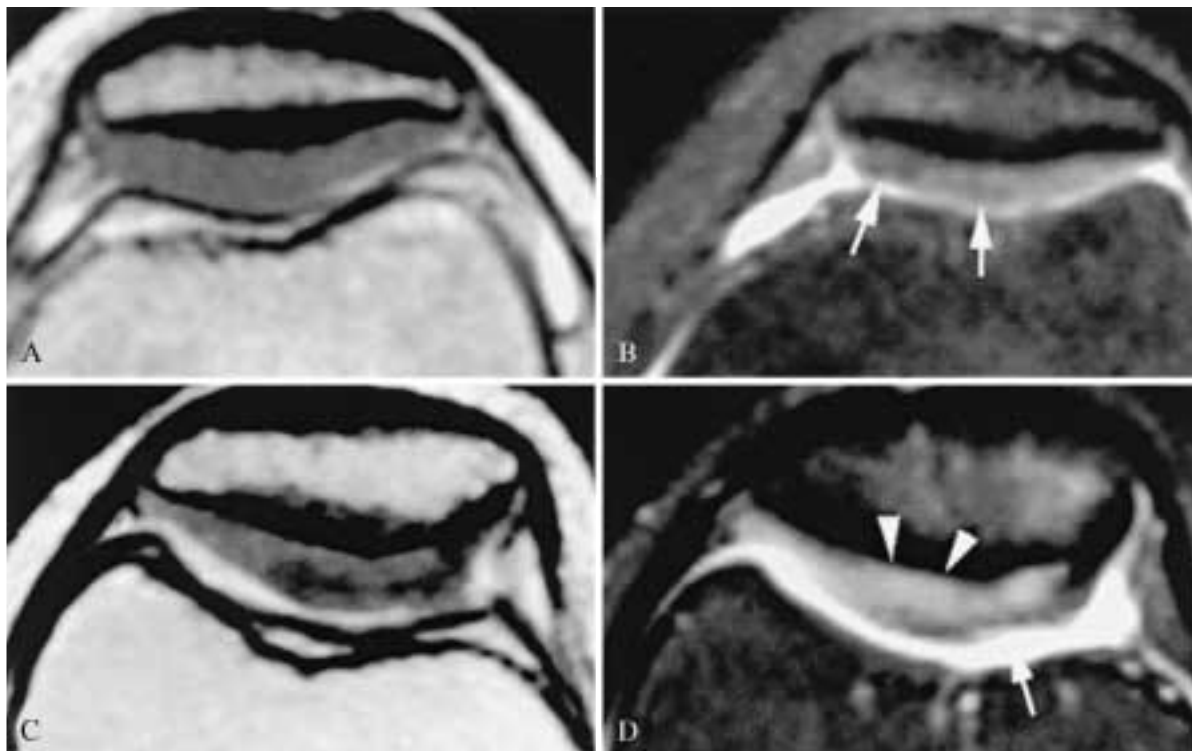


Fig. 2. — Lesioni di basso grado. Fibrillazione superficiale (A, B) e ulcerazione superficiale (C, D) corrispondenti agli stadi artroscopici I e IIa. Immagini assiali con sequenze GE MTC (A-C) e FSE SPIR T2 (B-D). La sequenza FSE SPIR T2 (B) dimostra una sottile fibrillazione superficiale ipointensa (freccie) non evidente con la sequenza GE MTC (A). Nella lesione di stadio IIa la sequenza FSE SPIR T2 (D) dimostra meglio l'ulcerazione superficiale (freccia) ed un edema dello strato profondo della cartilagine (punte di freccia) rispetto alla sequenza GE MTC (C).

Low grade lesions. Surface fibrillation (A, B) and surface ulceration (C, D) that correspond to arthroscopic stages I and IIa. Axial images with GE MTC (A, C) and FSE SPIR T2 (B, D) sequences. The FSE SPIR T2 sequences (B) show a subtle surface fibrillation with low signal intensity (arrows) not evident with GE MTC sequence. In stage IIa lesions, the FSE SPIR T2 sequence better shows surface ulceration (arrow) and an oedema of deep layer cartilage (arrowheads) compared with the GE MTC sequence.

tostadiazione e 1 sovrastadiazione. I due falsi positivi erano rappresentati da apparenti assottigliamenti dello spessore cartilagineo di vario grado interpretati come lesioni di I e II stadio. I falsi negativi erano rappresentati da lesioni iniziali in 13 casi (fig. 2A) e da 1 caso di lesione avanzata. Nelle lesioni di basso grado c'è stata una scarsa correlazione tra artroscopia e sequenza GE MTC con una corretta identificazione di solo 6 lesioni sulle 16 presenti, mentre c'è stata una buona correlazione nelle lesioni di alto grado.

Discussione

L'identificazione delle lesioni osteocondrali è di fondamentale importanza perché rappresentano una causa frequente di gonalgia e poiché presentano un'evoluzione artrosica se non s'instaura un adeguato trattamento terapeutico [16, 17].

Negli ultimi anni le nuove conoscenze fisiopatologiche sulle alterazioni della cartilagine articolare e lo sviluppo di nuove terapie mediche e tecniche chirurgiche hanno richiesto una sempre maggiore accuratezza diagnostica ed hanno portato la RM ad assumere un ruolo prioritario in tale campo di applicazione. Per lo studio della cartilagine articolare con RM sono state proposte sequenze di impulsi tradizionali SE

interpreted as stage I and II lesions. The false negatives involved low-grade lesions in 13 cases (Fig. 2A) and a high-grade lesion in one case. In the low-grade lesions there was little correlation between arthroscopy and the GE MTC sequences, with the correct identification of six of the 16 lesions present, whereas the correlation was good in the high-grade lesions.

Discussion

The identification of osteochondral lesions is crucial because they are a frequent cause of knee pain and they can lead to the development of arthrosis if adequate therapy is not undertaken [16, 17].

In recent years new understanding of the physiopathology of the alterations of articular cartilage and the development of new medical therapies and surgical techniques has called for increasing diagnostic accuracy, conferring on MR a vital role in this field of application. In the study of articular cartilage with MR traditional impulse sequences such as spin echo (SE) and GE have been proposed, as well as 3D GE or FSE dedicated sequences with intraarticular contrast material. Different authors have justified the choice of their

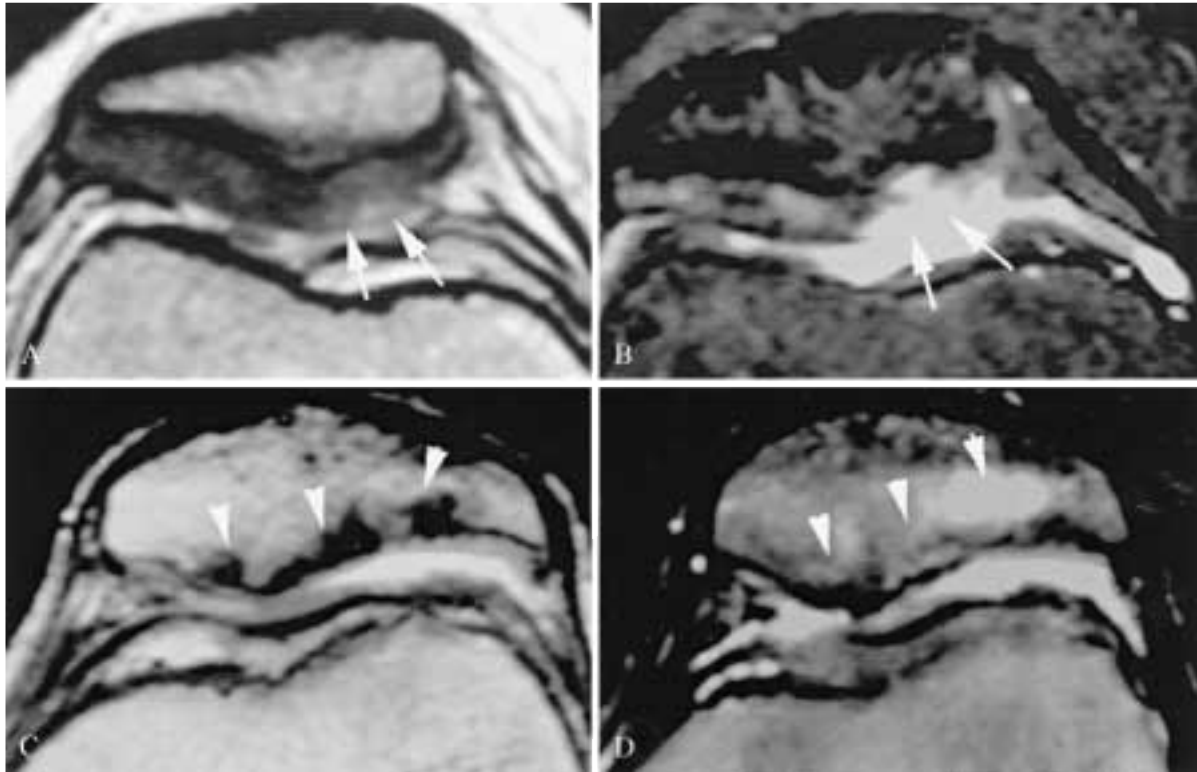


Fig. 3. — Lesioni di alto grado. Ulcerazione profonda (A,B) ed esposizione e sclerosi dell'osso subcondrale (C, D) corrispondenti agli stadi artroscopici IIb e III. Immagini assiali con sequenze GE MTC (A-C) e FSE SPIR T2 (B-D). In entrambi i casi le sequenze dimostrano correttamente le lesioni. Nell'ulcerazione profonda tuttavia la sequenza GE MTC (A) presenta un rilievo minore della sequenza FSE SPIR T2 (B) (freccie) mentre nell'esposizione dell'osso subcondrale la sequenza GE MTC (C) esalta maggiormente rispetto alla sequenza FSE SPIR T2 (D) la sclerosi ossea (punte di freccia).

High-grade lesions. Deep ulceration (A, B) and exposure and sclerosis of subchondral bone (C, D) that correspond to arthroscopic stages IIb and III. Axial images GE MTC (A, C) and FSE SPIR T2 (B, D) sequences. In both cases sequences correctly show lesions. However, the deep ulceration is less marked in the GE MTC sequence (A) with respect to the FSE SPIR T2 sequence (B), whereas the GE MTC sequence (C) more clearly shows the bone sclerosis (arrowheads) than the FSE SPIR T2 (D) sequence.

o GE, sequenze dedicate 3D GE o FSE e mezzi di contrasto intrarticolari. I diversi Autori hanno giustificato la scelta dei differenti tipi di sequenze a seconda dell'impiego clinico o degli scopi di ricerca dell'esame RM, e del tipo di alterazione traumatica o degenerativa da studiare [6-12, 18-23].

Alcune di queste sequenze si basano sulla soppressione selettiva del segnale di alcuni tessuti con l'esaltazione del contrasto tra il liquido sinoviale, la cartilagine articolare e l'osso subcondrale. Tra le sequenze con soppressione del segnale del tessuto adiposo hanno assunto particolare interesse le GE Spoiled GRASS (SPGR) 3D Fat-Saturation (FS) con immagini pesate in T1 [8] e le Fast Spin-Echo (FSE) [9] con immagini pesate in T2. Entrambe le sequenze presentano vantaggi e svantaggi. La prima consente l'esecuzione di strati sottili rilevando difetti morfologici superficiali. La seconda permette di identificare le alterazioni di segnale all'interno dello spessore della cartilagine. Entrambe le sequenze hanno difficoltà nel dimostrare le lesioni da slaminamento, le lesioni peduncolate, le fissurazioni e le aree di fibrillazione [5]. La sequenza SPGR 3D inoltre presenta come svantaggi quello di essere lunga, di non rilevare alterazioni delle altre strutture articolari, di essere molto sensibile agli artefatti ferromagnetici e quindi di non poter essere utilizzata nei controlli postoperatori [5].

different types of sequences according to clinical use, the aims of the research of the MR examination, and the type of alteration-traumatic or degenerative-being studied [6-12, 18-23].

Some of these sequences are based on the selective suppression of the signal of some tissues with the highlighting of the contrast between the synovial liquid, the articular cartilage and the subchondral bone. The sequences with suppression of the fat signal of particular interest include the T1-weighted GE spoiled gradient-echo steady state (SPGR) 3D fat-saturation (FS) and the T2-weighted FSE sequences [9]. Both sequences present advantages and disadvantages. By performing thin slices the first is able to reveal superficial morphological defects, whereas the second is able to identify signal alterations within the thickness of the cartilage. Both sequences have difficulty detecting cartilage atrophy, peduncular lesions, fissuring and areas of fibrillation [5]. In addition, the SPGR 3D sequence has the disadvantage of being a lengthy examination and of being very sensitive to ferromagnetic artefacts, and therefore cannot be used in postoperative follow-up [5].

The T1-weighted SPGR 3D sequence presented sensitiv-

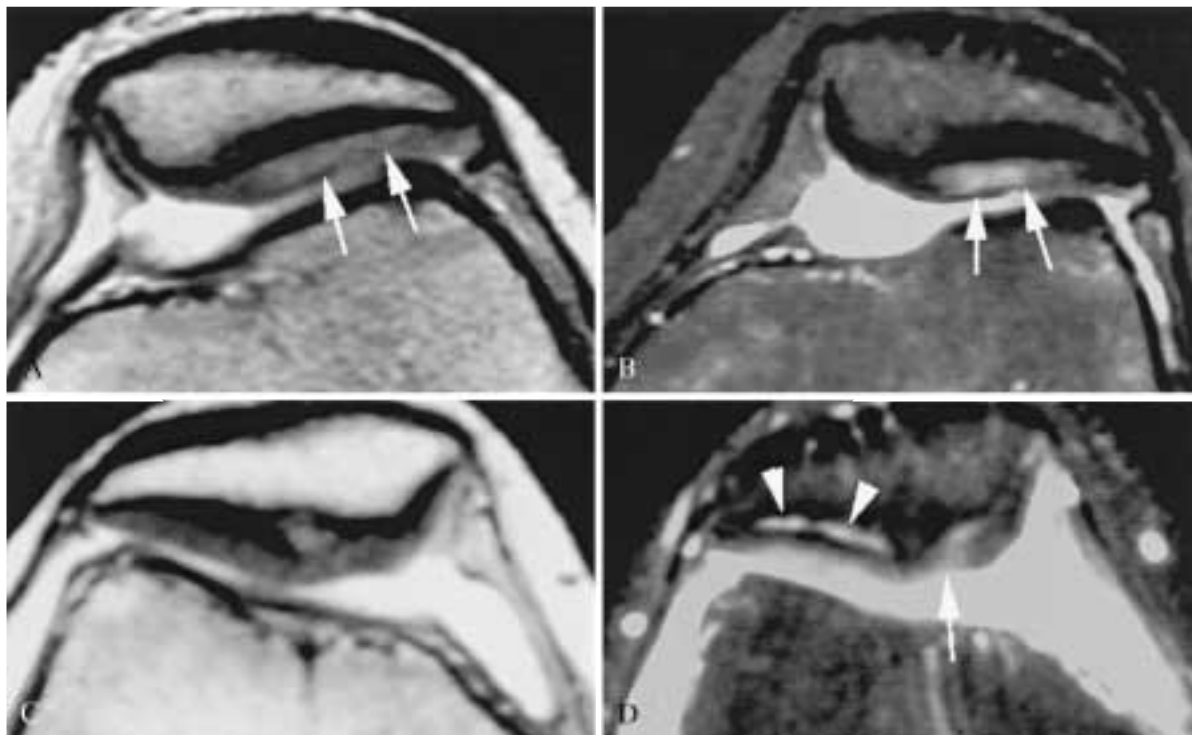


Fig. 4. — Lesioni di basso grado non rilevate all'esame artroscopico. Edema cartilagineo (A, B) e blister dello strato profondo (C, D) corrispondenti agli stadi artroscopici I e IIa. In un paziente con atteggiamento di iperpressione laterale della rotula la sequenza FSE SPIR T2 (B) dimostra, a livello della cartilagine della faccetta laterale, un'area iperintensa a margini sfumati riferibile ad edema cartilagineo (freccie). Tale aspetto è presente ma in minor grado anche nella sequenza GE MTC (A) (freccie). In un altro paziente con cospicuo versamento articolare la sequenza GE MTC (C) non dimostra lesioni della cartilagine mentre la FSE SPIR T2 (D) dimostra un edema cartilagineo (freccia) e delle piccole aree focali di iperintensità dello strato profondo della cartilagine (punte di freccia) riferibili a blisters. Il controllo artroscopico in entrambi i casi non ha dimostrato alterazioni superficiali della cartilagine.

Low-grade lesions not identified with arthroscopy. Cartilage oedema (A, B) and deep layer blister (C, D) that correspond to I and IIa arthroscopic stages. Axial images GE MTC (A, C) and FSE SPIR T2 (B, D) sequences. In a patient with a tendency to patellar lateral hyperpression the FSE SPIR T2 sequence (B) shows a focus of high signal intensity in correspondence with the cartilage lateral facet with shaded contours attributable to cartilage oedema (arrows). This aspect is also present in the GE MTC sequence (A) (arrows) but is less evident. In another patient with considerable articular fluid the GE MTC sequence fails to show cartilage lesions, whereas the FSE SPIR T2 (D) sequence shows a cartilage oedema (arrow) and a small focus of high signal intensity in correspondence with the deep layer cartilage attributable to blisters. The arthroscopic examination in both cases failed to show cartilage surface irregularities.

La sequenza SPGR 3D T1 pesata ha presentato valori di sensibilità, specificità ed accuratezza diagnostica rispettivamente del 86%, 97% e 91% [8]. Tali valori, tuttavia, sono stati calcolati escludendo le lesioni di I stadio della cartilagine rappresentate dai rammollimenti. La sequenza FSE T2 pesata ha invece presentato valori del 93%, 99% e 98% considerando tutti gli stadi delle lesioni [9].

Le sequenze GE MTC, con soppressione del segnale dell'acqua legata, sono state anch'esse proposte nello studio della cartilagine articolare per la possibilità di aumentare il contrasto tra la cartilagine articolare ed il liquido sinoviale [10, 24]. Nella valutazione retrospettiva delle lesioni cartilaginee di grado avanzato le sequenze MTC, senza tecnica di sottrazione, hanno presentato un notevole potere diagnostico raggiungendo valori di sensibilità e specificità rispettivamente del 93% e del 92% [10]. Nello stesso studio, tuttavia, tale tecnica si è dimostrata del tutto insufficiente nel rilevare le alterazioni iniziali, rappresentate da un incremento di contenuto d'acqua della cartilagine, con valori di sensibilità di circa il 25%. Recentemente è stata segnalata anche la possibilità di sfruttare l'effetto di tra-

ity, specificity and diagnostic accuracy values of 86%, 97% and 91%, respectively [8]. These values, however, were calculated with the exclusion of stage I lesions of the cartilage involving softening. The T2-weighted FSE sequence, in contrast, presented values of 93%, 99% and 98%, taking into account all the lesion stages [9].

The GE MTC sequences, with suppression of the bonded water signal, have also been proposed in the study of articular cartilage thanks to their ability to increase the contrast between the articular cartilage and the synovial fluid [10, 24]. In the retrospective assessment of high-grade cartilage lesions MTC sequences, without subtraction technique, have demonstrated diagnostic capabilities, with sensitivity and specificity values of 93% and 92%, respectively [10]. In the same study, however, the technique proved totally inadequate in detecting early alterations, involving an increase in cartilage water content, with sensitivity values of about 25%. The possibility was recently noted of exploiting the effects of magnetisation transfer using FSE sequences with proton-density weighted images.

sferimento della magnetizzazione utilizzando sequenze FSE con immagini pesate in densità protonica (DP). Il trasferimento di magnetizzazione in questa sequenza si verifica a seguito dei multipli impulsi di rifocalizzazione, rappresentati dai treni d'eco della tecnica fast, che forniscono la necessaria risoluzione di contrasto tra la cartilagine, il liquido sinoviale e l'osso subcondrale [11]. Con tali sequenze sono stati ottenuti valori di accuratezza comparabili a quelli delle sequenze dedicate alla cartilagine articolare con il vantaggio di essere veloci, di non richiedere ulteriore tempo per il postprocessing e di poter valutare adeguatamente i menischi ed i legamenti [25].

Nel nostro studio abbiamo confrontato due tecniche di soppressione del segnale tessutale, la SPIR e la MTC, che utilizziamo comunemente negli esami di routine del ginocchio. La SPIR è una tecnica di soppressione selettiva del segnale del tessuto adiposo, che può essere applicata a sequenze SE e FSE con immagini pesate sia in T1 sia in T2. Nella nostra esperienza abbiamo utilizzato tale tecnica con una sequenza Fast Spin-Echo con immagini pesate in T2. La tecnica MTC è stata usata con una sequenza GE con immagini che presentano una pesatura di tipo misto, per la presenza contemporanea della componente T1 e T2; si basa sulla differente velocità di trasferimento di magnetizzazione tra i protoni dell'acqua libera ed i protoni dell'acqua legata alle macromolecole. Si è notato, tuttavia, che esiste una correlazione tra le immagini MTC e quelle T2 pesate in quanto, in entrambe, il liquido sinoviale è iperintenso ed il muscolo ipointenso. Tale fenomeno sarebbe imputabile ad una fortuita correlazione tra la concentrazione di macromolecole e il tempo di rilassamento T2 [26]. Nella sequenza MTC è applicato, oltre all'impulso RF di risonanza, un impulso di bassa frequenza che ha lo scopo di saturare il segnale dei protoni dell'acqua legata ai proteoglicani e alle fibre collagene, presenti nella cartilagine, che ha un T2 più corto. Il segnale dei protoni dell'acqua libera, presenti nel liquido sinoviale, che ha un T2 più lungo, invece non è soppresso. Si realizza così un effetto artrografico tra la cartilagine che appare di segnale intermedio ed il liquido sinoviale iperintenso.

Nel valutare la cartilagine abbiamo utilizzato una classificazione, largamente accettata nella pratica, che sottostima alcune indicazioni cliniche ma che semplifica la correlazione tra RM e artroscopia. Abbiamo limitato il nostro studio alla valutazione della cartilagine articolare della rotula prendendo in considerazione le alterazioni della superficie articolare, del segnale all'interno dello spessore della cartilagine e dell'osso subcondrale.

Entrambe le sequenze hanno fornito una buona rappresentazione dello spessore cartilagineo ed un ottimo contrasto tra liquido sinoviale, cartilagine ed osso subcondrale. Nell'identificazione delle lesioni, tuttavia, la sequenza FSE SPIR T2 è risultata quella con i migliori valori di accuratezza diagnostica, sensibilità e VPN sia considerando complessivamente tutti gli stadi delle lesioni sia considerando separatamente le lesioni a basso grado e quelle ad alto grado. I valori di specificità e di VPP delle due sequenze sono risultati sostanzialmente sovrapponibili con un lieve vantaggio della MTC. Le differenze tra le due sequenze sono state più cospicue nelle lesioni a basso grado. In queste lesioni la sequenza GE MTC si è dimostrata poco sensibile nel rilevare le variazioni del contenuto d'acqua della cartilagine articolare, soprattutto quando non si associavano significative alterazioni del profilo superficiale e non era presente versamento articolare, per assenza di effetto artrografico. Questa sequenza ha, infatti, evidenziato solo 6/16 rammollimenti car-

Magnetisation transfer in this sequence takes place following multiple refocalisation impulses, involving fast technique echo trains, which provide the necessary contrast resolution between the cartilage, the synovial fluid and the subchondral bone [11]. These sequences have produced accuracy values comparable with those of sequences dedicated to the study of articular cartilage, with the advantage of being fast, not requiring additional post-processing time and being able to adequately assess the menisci and the ligaments [25].

In our study we compared two tissue signal suppression techniques, SPIR and MTC, which we regularly use in routine examinations of the knee. SPIR is a technique which selectively suppresses the fat signal and which can be applied to SE and FSE sequences with images weighted in both T1 and T2. In our study we used the technique with a FSE sequence with images weighted in T2. MTC was used with a GE sequence with images presenting a mixed weighting, owing to the simultaneous presence of T1 and T2 components. This is based on the different magnetisation transfer velocities between free water protons and protons of water bonded to macromolecules. Nonetheless, a correlation was noted between the MTC images and T2-weighted images, in that the synovial liquid in both techniques is hyperintense and the muscle hypointense. This phenomenon is likely due to a casual correlation between the concentration of the macromolecules and the T2 relaxation time [26]. In the MTC sequence, as well as the radiofrequency resonance impulse, a low frequency impulse is applied with the aim of saturating the signal of the protons bonded with proteoglycans and with collagen fibres, present in the cartilage, which has a shorter T2. The signal of protons of free water on the other hand, present in the synovial fluid, which has a longer signal, is not suppressed. An arthrographic effect between the cartilage, with an intermediate signal, and the synovial fluid, with a hyperintense signal, is thus achieved.

In the assessment of the cartilage we used a classification largely accepted in practice which underestimates some of the clinical indications but which simplifies the correlation between MR and arthroscopy. We limited our study to the assessment of the articular cartilage of the patellar, taking into consideration the alterations of the articular surfaces, the signal within the thickness of the cartilage, and the signal of the subchondral bone.

Both of the sequences provided a good representation of the cartilage thickness and excellent contrast between the synovial liquid, cartilage and subchondral bone. Nonetheless, in the identification of the lesions the T2-weighted FSE STIR sequence proved to have higher values of diagnostic accuracy, sensitivity and NPV, both considering together all stages of lesions and considering separately low-grade lesions and high-grade lesions. The values of specificity and PPV of the two sequences were similar, with MTC having slightly higher values. The differences between the two sequences were most noticeable with respect to the low-grade lesions. In these lesions the GE MTC sequence proved to be relatively unable to identify variations in the water content of the articular cartilage, particularly when significant alterations were not associated with the cartilage surface and there was no articular perfusion, due to the absence of

tilaginei, classificati come stadio I all'artrosopia, che sono caratterizzati da un incremento del contenuto d'acqua con spessore cartilagineo regolare o aumentato, ma con superficie articolare regolare. Tale limite della sequenza GE MTC si verifica anche quando alla base della lesione esiste una riduzione del contenuto d'acqua rispetto alla cartilagine normale. Nella fibrillazione superficiale la cartilagine ialina si disidrata, diventa sclerotica e la sua superficie è irregolare. La sequenza GE MTC non è stata in grado di evidenziare quest'alterazione in 4/8 casi di lesioni di basso grado, classificate come stadio IIa all'artrosopia, in quanto la sclerosi superficiale non era distinguibile dalla cartilagine normale dello strato più profondo e lo scarso contrasto tra le due componenti non consentiva di rilevare l'irregolarità superficiale. La sequenza FSE SPIR T2 invece è molto sensibile a variazioni del contenuto d'acqua dei tessuti ed ha permesso di rilevare correttamente 14/16 lesioni di stadio I e 7/8 lesioni di stadio IIa. Le iniziali alterazioni della cartilagine articolare sono caratterizzate da una perdita di collagene e da un incremento del contenuto d'acqua, condizioni entrambe responsabili di un incremento dell'intensità di segnale nelle immagini T2 pesate [27]. La sequenza FSE SPIR T2, come tutte le sequenze Fat-Suppressed, aumenta notevolmente il range di sensibilità delle immagini T2 pesate, consentendo di identificare piccole variazioni di segnale della cartilagine articolare. Nella nostra esperienza, infatti, era presente un maggior contrasto tra le strutture con la sequenza FSE SPIR T2 rispetto alla sequenza GE MTC. Il maggior contrasto della sequenza FSE SPIR T2 ha consentito di rilevare la fibrillazione e l'ulcerazione dello strato superficiale delle lesioni di basso grado, di stadio artroscopico I e IIa. In questi casi la sequenza FSE SPIR T2 ha dimostrato la differenza di segnale tra la cartilagine articolare normale ed il tessuto degenerato che appare ipointenso (fig. 2B-D). Non si osservano invece variazioni di rilievo tra le varie sequenze nell'identificazione delle lesioni di alto grado.

Entrambe le sequenze hanno dimostrato elevati valori di specificità, tuttavia sia la FSE SPIR T2 che la GE MTC hanno presentato alcuni falsi positivi. Nella maggior parte dei casi i falsi positivi sono stati rappresentati da apparenti assottigliamenti ed irregolarità superficiali che al controllo artroscopico sono risultati invece negativi con cartilagine normale. In alcuni casi con la FSE SPIR T2 si trattava invece di aree di iperintensità di segnale diffuse o dello strato profondo della cartilagine non confermati dall'artrosopia. Sono possibili alcune giustificazioni dei falsi positivi. Nei casi di assottigliamento dello spessore cartilagineo e delle irregolarità superficiali essi erano presenti soprattutto nelle zone periferiche della superficie cartilaginea, dove la cartilagine è normalmente più sottile e dove il piano di scansione della sezione RM non è ortogonale con la superficie articolare. L'artrosopia inoltre fornisce informazioni solo sulla superficie cartilaginea ma non consente una valutazione del suo spessore. La stessa giustificazione può valere per le aree di iperintensità di segnale dello strato profondo della cartilagine che non sono state evidenziate con l'artrosopia. Bisogna peraltro considerare che la tecnica SPIR riduce ma non elimina l'artefatto da «magic angle phenomenon». Quindi la valutazione delle alterazioni di segnale iperintense in zone della cartilagine articolare che presentano un orientamento di circa 55° rispetto al campo magnetico principale devono essere interpretate con molta attenzione per evitare di incorrere in tal errore. Un limite del nostro studio è stato quello di aver preso in considerazione solo la cartilagine

arthrographic effect. This sequence only identified 6/16 cartilage softening, classified as stage I at arthroscopy and which are characterised by an increase in the water content with a normal or increased cartilage thickness, but with a normal articular surface. This limit to the GE MTC sequence also occurs when at the base of the lesion there is a reduction in the water content with respect to normal cartilage. In superficial fibrillation the hyaline cartilage becomes dehydrated and sclerotic, rendering the surface irregular. The GE MTC was unable to identify this alteration in 4/8 cases of low-grade lesions, classified as stage IIa at arthroscopy, in that the superficial sclerosis was not distinguishable from the normal cartilage of the deeper layer, and the limited contrast between the two components did not allow the superficial irregularity to be identified. The T2-weighted FSE SPIR sequence, on the other hand, was very sensitive to variations in the water content of the tissues, correctly identifying 14/16 stage I lesions and 7/8 stage IIa lesions. The early alterations of the articular cartilage are characterised by a loss of collagen and an increase in water content, both conditions being responsible for an increase in signal intensity in T2-weighted images [27]. The T2-weighted FSE SPIR sequence, like all fat-suppression sequences, markedly increases the range of sensitivity of the T2-weighted images, enabling small signal variations of the articular cartilage to be identified. In our study, in fact, greater contrast between the structures was encountered with the T2-weighted FSE SPIR sequence than with the GE MTC sequence. The greater contrast of the T2-weighted FSE SPIR sequence enabled fibrillation and ulceration of the superficial layer in low-grade lesions—arthroscopic stage I and IIa—to be identified. In these cases the T2-weighted FSE SPIR sequence showed the signal difference between normal articular cartilage and degenerated tissue, which appears hypointense (Figs 2B-D). No significant differences were observed, however, between the two sequences in identifying high-grade lesions.

Although the sequences had high specificity values, both the T2-weighted FSE SPIR and the GE MTC sequences presented a number of false positives. In most cases the false positives were apparent thinning and superficial irregularities which at arthroscopy proved to be negative with normal cartilage. In some cases with the T2-weighted FSE SPIR sequence there were areas of hyperintense signal, either diffuse or of the deep layer of cartilage, which were not confirmed at arthroscopy. There are a number of justifications for the false positives. In the cases of thinning of the cartilage and superficial irregularities, these occurred in peripheral areas of the cartilage surface, where the cartilage is normally thinner and where the scan plane of the MR section is not at right angles to the articular surface. In addition, arthroscopy only provides information regarding the cartilage surface, without being able to assess its thickness. The same justification can be given for areas of hyperintense signal of the deep layer of the cartilage which were not detected at arthroscopy. It should also be borne in mind that the SPIR technique reduces but does not eliminate the magic angle phenomenon. Therefore, the assessment of hyperintense signal alterations in areas of articular cartilage oriented at about 55° with respect to the static magnetic field should be interpreted very carefully to avoid this error. One limit to

articolare rotulea. La cartilagine in questa sede raggiunge il massimo spessore nel nostro corpo, di circa il doppio rispetto allo spessore a livello dei condili femorali e del piatto tibiale, non presenta significativi raggi di curvatura nella sua disposizione ed è inoltre orientata nello spazio in modo che possa essere studiata agevolmente con le sole scansioni sul piano assiale. Queste condizioni hanno sicuramente influenzato favorevolmente i risultati del nostro studio. La valutazione della cartilagine articolare a livello dei compartimenti femoro-tibiale interno ed esterno, infatti, presenta una minore accuratezza rispetto a quella che si ottiene a livello rotuleo. Tale riduzione di accuratezza sarebbe tuttavia ancora compatibile con l'identificazione di lesioni condrali clinicamente sintomatiche e che si possono giovare di trattamenti chirurgici [28].

Un altro aspetto da non sottovalutare nel confronto tra le due sequenze è rappresentato dalla loro affidabilità nella valutazione delle altre strutture articolari, meniscali, legamentose, ossee e sinoviali. Entrambe sembrano presentare una validità complessiva nello studio del ginocchio tanto da poter essere inserite nel protocollo di un esame di RM standard del ginocchio [10, 26]. La sequenza FSE SPIR T2, in ogni caso, presenta una maggior sensibilità nell'identificazione dell'edema osseo conseguente a traumi, a sindromi reattive o ad alterazioni vascolari che, peraltro, sono condizioni frequenti che possono essere associate o simulare altre patologie. Le sequenze con soppressione del segnale del tessuto adiposo sono le migliori per lo studio di tali patologie e, a nostro parere, il loro utilizzo è indispensabile in almeno un piano di scansione nello studio di routine del ginocchio.

Conclusioni

In conclusione nella nostra esperienza la sequenza FSE SPIR T2 è risultata superiore alla GE MTC nella valutazione di tutti gli stadi della condropatia rotulea e in particolare negli stadi iniziali di patologia, consentendo di identificare precocemente le lesioni di basso grado. Tale maggiore sensibilità consente di attribuire alla cartilagine articolare la causa di una gonalgia che altrimenti potrebbe essere riferita ad un'altra struttura articolare e quindi permette di instaurare una terapia corretta. A nostro parere quindi la sequenza FSE SPIR T2 è una sequenza valida da inserire nel protocollo di studio RM standard del ginocchio. La sequenza GE MTC è risultata valida solo nelle lesioni di alto grado, suscettibili di trattamento chirurgico, e la sua efficacia è influenzata, maggiormente rispetto alla FSE SPIR T2, dalla presenza o meno di versamento articolare che provoca un effetto artrografico. Il valore di entrambe le sequenze, tuttavia, dovrà essere valutato anche su lesioni della cartilagine articolare dei compartimenti femoro-tibiali, dove lo spessore cartilagineo è inferiore, e su tutte le altre strutture articolari per poterne verificare l'efficacia clinica complessiva.

our study was the choice of considering only the patellar articular cartilage. The cartilage at this site, which is the thickest in our body being about twice the thickness of the cartilage at the level of the femoral condyles and the tibial head, does not present significant curvatures and is also oriented in space such that it can be easily studied with scans only in the axial plane. These conditions certainly had a favourable impact on the results of our study. The assessment of the articular cartilage at the level of the internal and external femorotibial compartments does in fact present lower accuracy with respect to the values attainable at the patellar level. This reduction in accuracy would still be compatible with the identification of clinically symptomatic chondral lesions which may benefit from surgery [28].

Another aspect which should not be underestimated in the comparison of the two sequences is the reliability in the assessment of the meniscal, ligamentous, osseous and synovial structures. Both sequences seem to have an overall validity in the study of the knee, such that they can be included in the standard MR examination protocol of the knee [10, 26]. The T2-weighted FSE SPIR sequence has a higher sensitivity in identifying osseous oedema following trauma, reactive syndromes or vascular alterations, frequent conditions which can be associated with or simulate other pathologies. The sequences with fat signal suppression are the best for studying such pathologies and in our opinion their use is indispensable in at least one scan plane in the routine study of the knee.

Conclusions

In our experience the T2-weighted FSE SPIR sequence proved superior to the GE MTC sequence in the assessment of all stages of patellar chondromalacia and in particular in the early stages of the pathology, enabling early identification of low-grade lesions. This greater sensitivity enables the cause of knee pain to be attributed to the articular cartilage which may otherwise have been attributed to another articular structure, and therefore enables the correct therapy to be implemented. In our opinion the T2-weighted FSE SPIR sequence is a valid sequence which could be included in the standard MR study protocol of the knee. The GE MTC sequence only proved valid in high-grade lesions susceptible to surgery, and its effectiveness was influenced more than that of the T2-weighted FSE SPIR sequence by the presence or otherwise of articular effusion which causes an arthrographic effect. The value of both sequences, however, also needs to be assessed with lesions of the articular cartilage of the femorotibial compartments, where the cartilage is thinner, and with all the articular structures so as to be able to establish its overall clinical effectiveness.

Bibliografia/References

- 1) Peyron JG: Osteoarthritis: the epidemiologic view-point. *Clin Orthop* 213: 13-19, 1986.
- 2) Curl WW, Krome J, Gordon ES *et al.*: Cartilage injuries: a review of 31,516 knee arthroscopies. *Arthroscopy* 13: 456-460, 1997.
- 3) Rangger C, Kathrein A, Klestil T *et*

- al.*: Partial meniscectomy and osteoarthritis. Implications for treatment of athletes. *Sports Med* 23: 61-68, 1997.
- 4) Peterfy CG, Linares R, Stienbach LS: Recent advances in magnetic resonance imaging of the musculoskeletal system. *Radiol Clin North Am* 32: 291-311, 1994.
- 5) Recht M, Bobic V, Burstein D *et al.*: Magnetic resonance imaging of articu-

- lar cartilage. *Clin Orthop* 391 (Suppl.): S379-396, 2001.
- 6) Konig H, Sauter R, Diemling M *et al.*: Cartilage disorder: comparison of spin-echo, CHESS, and FLASH sequence MR images. *Radiology* 164: 753-758, 1987.
- 7) Recht MP, Kramer J, Marcellis S *et al.*: Abnormalities of articular cartilage in the knee: analysis of available MR techniques. *Radiology* 187: 473-478, 1993.

- 8) Disler DG, McCauley TR, Kelman CG *et al.*: Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging of hyaline cartilage defects in the knee: comparison with standard MR imaging and arthroscopy. *AJR* 167: 127-132, 1996.
- 9) Bredella MA, Tirman PFJ, Peterfy CG *et al.*: Accuracy of T2-weighted fast spin-echo MR imaging with fat saturation in detecting cartilage defects in the knee:

- comparison with arthroscopy in 130 patients. *AJR* 172: 1073-1080, 1999.
- 10) Mori R, Ochi M, Sakai Y *et al*: Clinical significance of magnetic resonance imaging (MRI) for focal chondral lesions. *Magn Reson Imaging* 17: 1135-1140, 1999.
- 11) Sonin AH, Pency RA, Mulligan ME *et al*: Grading articular cartilage of the knee using fast spin-echo proton density-weighted MR imaging without fat suppression. *AJR* 179: 1159-1166, 2002.
- 12) Noyes FR, Stabler Craig L: A system for grading articular cartilage lesions at arthroscopy. *Am J Sports Med* 17: 505-513, 1989.
- 13) Kneeland JB: Articular cartilage and the magic angle effect. *AJR* 177: 671-672, 2001.
- 14) Macarini L, Rizzo A, Martino F *et al*: Stadi iniziali (I e II) e avanzati (III e IV) della condromalacia rotulea giovanile: Diagnosi con Risonanza Magnetica con magnete da 1,5 tesla con sequenze FLASH. *Radiol Med* 95: 557-562, 1998.
- 15) Macarini L, Murrone M, Marini S *et al*: RM nello studio della condropatia del ginocchio: influenza della sede e dello stadio delle lesioni sull'efficacia delle lesioni. *Radiol Med* 105: 48-55, 2003.
- 16) Lawrence RC, Hochberg MC, Kelsey JL *et al*: Estimate of the prevalence of selected arthritic and musculoskeletal disease in the United States. *J Rheumatol* 16: 427-441, 1989.
- 17) Buckwalter JA, Mankin HJ: Articular cartilage: Degeneration and osteoarthritis, repair, regeneration, and transplantation. *Instr Course Lect* 47: 487-504, 1998.
- 18) Brossman J, Frank LR, Pauly JM *et al*: Short echo time projection reconstruction MR imaging of cartilage: comparison with fat-suppressed spoiled GRASS and magnetization contrast MR imaging. *Radiology* 203: 501-507, 1997.
- 19) Chalkias SM, Frezza F, Cova M *et al*: Magnetic resonance of the largest joints. *Radiol Med* 87: 555-573, 1994.
- 20) Cova M, Toffanin R: MR microscopy of hyaline cartilage: current status. *Eur Radiol* 12: 814-823, 2002.
- 21) Maier CF, Tan SG, Hariharan H *et al*: T2 quantification of articular cartilage at 1.5 T. *J Magn Reson Imaging* 17: 358-364, 2003.
- 22) Kramer J, Recht MP, Imhof H *et al*: Post-contrast MR arthrography in assessment of cartilage lesions. *J Comput Assist Tomogr* 18: 218-224, 1994.
- 23) Mosher TJ, Pruett SW: Magnetic resonance imaging of superficial cartilage lesions: role of contrast in lesion detection. *J Magn Reson Imaging* 10: 178-182, 1999.
- 24) Peterfy CG, van Dijke CF, Janzen DL *et al*: Quantification of articular cartilage in the knee with pulsed saturation transfer subtraction and fat-suppressed MR imaging: optimization and validation. *Radiology* 192: 485-491, 1994.
- 25) Potter HG, Linklater JM, Allen AA *et al*: Magnetic resonance imaging of articular cartilage in the knee. An evaluation with use of fast spin-echo imaging. *J Bone Joint Surg Am* 80: 1276-1284, 1998.
- 26) Eng J, Ceckler TL, Balaban RS: Quantitative 1H magnetization transfer imaging *in vivo*. *Magn Res Med* 17: 304-314, 1991.
- 27) Peterfy CG, Genant HK: Emerging applications of magnetic resonance imaging in the evaluation of articular cartilage. *Radiol Clin North Am* 34: 195-213, 1996.
- 28) Pozzi Mucelli R, Cova M, Shariat-Razavi I *et al*: Confronto in Risonanza Magnetica tra sequenze Spin-echo e sequenze con soppressione del grasso nelle malattie dello scheletro. *Radiol Med* 93: 504-509, 1997.

Dott. L. Macarini
 Istituto di Radiologia
 Università degli Studi
 Piazza G. Cesare, 11
 70124 Bari BA
 Tel. 080/5478840
 Fax 080/5592911
 E-mail: lmacarini@radiologia.uniba.it