

MR imaging of the knee in patients with medial unicompartmental arthroplasty: comparison among sequences at 1.5 T

Risonanza magnetica del ginocchio in pazienti con protesi monocompartimentale mediale: confronto tra sequenze a 1,5 T

A. Aliprandi¹ • F. Perona² • M. Bandirali¹ • P. Randelli³ • P. Cabitza³ • F. Sardanelli¹

¹Servizio di Radiologia, Dipartimento di Scienze Medico-Chirurgiche, Università degli Studi di Milano, IRCCS Policlinico San Donato, Via Morandi 30, 20097 San Donato Milanese, Italy

²Servizio di Radiologia, IRCCS Istituto Ortopedico Galeazzi, Via R. Galeazzi 4, 20161 Milano, Italy

³Unità di Ortopedia, Dipartimento di Scienze Medico-Chirurgiche, Università degli Studi di Milano, IRCCS Policlinico San Donato, Via Morandi 30, 20097 San Donato Milanese, Italy

Correspondence to: A. Aliprandi, Tel.: +39-02-52774462, Fax: +39-02-5279695, e-mail: a.aliprandi@grupposandonato.it

Received: 31 July 2008 / Accepted: 10 September 2008 / Published online: 5 February 2009
© Springer-Verlag 2009

Abstract

Purpose. This study was done to test a series of magnetic resonance (MR) imaging sequences of the knee after medial unicompartmental arthroplasty.

Materials and methods. Four patients who had undergone Oxford III medial unicompartmental arthroplasty underwent 1.5-T MR imaging of the operated knee using coronal sequences: T1-weighted spin-echo (SE), T1-weighted turbo SE (TSE), proton-density (PD)- and T2-weighted TSE, T1-weighted gradient echo (GE), short-tau inversion recovery (STIR), multi echo data image combination (MEDIC), T2*-weighted GE, volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE), and dual-echo steady state (DESS). For each sequence, we evaluated the visibility of the anatomical structures of the central pivot, lateral compartment, and anterior compartment using a semiquantitative score (0=total masking; 1=insufficient visibility; 2=sufficient visibility; 3=optimal visibility). The sum of the scores given to each sequence was divided by the maximal sum, obtaining a percentage visibility index. Friedman and sign tests were used for statistical analysis.

Results. MR examination time was 30–32 min. No patients reported pain, heat or other local discomfort. The visibility index ranged between 83% and 89% for the first four sequences without significant differences among them, 58% for STIR and 11%–36% for the last five sequences. Significant differences were found between each of the four first sequences and the remaining sequences ($p < 0.004$) and

Riassunto

Obiettivo. Testare una serie di sequenze RM in pazienti portatori di protesi monocompartimentale mediale del ginocchio.

Materiali e metodi. Quattro pazienti portatori di protesi monocompartimentale mediale Oxford III sono stati sottoposti a RM a 1,5 T mediante scansioni coronali: spin-echo (SE) pesata in T1; turbo-SE (TSE) pesata in T1; TSE pesata in densità protonica (DP) e T2; gradient-echo (GE) pesata in T1; short tau inversion recovery (STIR); multi echo data image combination (MEDIC); GE pesata in T2*; volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE); dual echo steady state (DESS). Per ciascuna sequenza è stata valutata la visibilità delle strutture anatomiche del pivot centrale, del compartimento laterale e del compartimento anteriore mediante un punteggio semiquantitativo (0=totale mascheramento; 1=insufficiente riconoscibilità; 2=sufficiente riconoscibilità; 3=ottimale riconoscibilità). La somma dei punteggi riportati da ciascuna sequenza è stata divisa per il valore massimo ottenibile, ottenendo un indice percentuale di riconoscibilità. Analisi statistica mediante test di Friedman e test dei segni.

Risultati. L'indagine RM è durata circa 30–32 minuti. Nessun paziente ha lamentato dolore, riscaldamento o altre sensazioni locali. L'indice di riconoscibilità è risultato tra l'83% e l'89% per le prime quattro sequenze, senza differenze significative tra loro, 58% per la STIR e tra l'11% e il 36% per le ultime cinque sequenze. Sono

between STIR and the last five sequences ($p < 0.008$).

Conclusions. MR imaging of the knee after medial unicompartmental arthroplasty was not associated with adverse events. An imaging protocol including SE, TSE and STIR sequences could be used to study the knee with unicompartmental arthroplasty.

Keywords Knee · Unicompartmental arthroplasty · Magnetic resonance imaging

risultate significative le differenze tra le prime quattro sequenze e le rimanenti sei sequenze ($p < 0,004$) e tra la STIR e le ultime cinque sequenze ($p < 0,008$).

Conclusioni. L'indagine RM del ginocchio con protesi monocompartmentale mediale non comporta l'insorgenza di eventi avversi. Le sequenze SE, TSE e STIR potrebbero essere utilmente incluse in un protocollo per lo studio del ginocchio con protesi monocompartmentale mediale.

Parole chiave Ginocchio · Protesi monocompartmentali · Risonanza magnetica

Introduction

Medial unicompartmental knee replacement is considered a valid surgical option for patients affected by medial arthritis [1–4]. By saving the lateral compartment of the knee, this approach is less invasive and more accepted by patients in comparison with total knee arthroplasty [5]. Long-term clinical results are optimal, with reported rates of implant survival equal to 97% at 10 years [6] and 94% at 15 years [7].

Middle- and long-term evaluation of the remaining anatomical structures of the knee, in particular progression of arthritis of the untreated compartment [8, 9], should be performed with dedicated imaging techniques. Whereas bone segments can be studied using radiographic examinations [8, 10, 11], synovial and capsular structures and collateral ligaments can be investigated with ultrasound, an approach already proposed for evaluating soft tissues after total knee arthroplasty [12]. No real solution, however, exists for evaluating the lateral and anterior compartments (in particular, bone, cartilage and lateral meniscus) or structures of the central pivot of knees treated with medial unicompartmental arthroplasty.

Magnetic resonance (MR) imaging is considered an optimal technique for imaging the knee and evaluating new therapeutic approaches [13, 14]. Until now, MR imaging of the replaced knee has been practically considered to be contraindicated, even though pilot experiences of MR imaging of the knee after total arthroplasty have been reported [15, 16]. In fact, metallic objects inside the human body generate artefacts on MR images, and such artefacts vary in size and type according to the radiofrequency sequence used and its technical parameters [17]. Gradient-echo (GE) sequences are more sensitive (and thus produce larger artefacts) when compared with spin-echo (SE) sequences, and the size of the artefact increases as T2* weighting increases [18–20]. Therefore, orthopaedic metallic devices are generally considered a possible limitation for MR imaging, being a possible source of masking the anatomical districts to be studied [20]. In particular, the current opinion is that in the

Introduzione

L'impianto di una protesi monocompartmentale mediale (PMCM) del ginocchio è da tempo considerato una valida opzione chirurgica per il trattamento dell'artrosi del compartimento mediale [1–4]. Tale approccio, risparmiando il compartimento laterale, rappresenta una procedura meno invasiva e quindi meglio tollerata rispetto all'impianto di protesi totale [5]. La prognosi a lungo termine è ottimale: sono state riportate sopravvivenze medie delle PMCM a 10 anni del 97% [6], a 15 anni del 94% [7].

La valutazione a medio e lungo termine delle strutture anatomiche residue, in particolare la progressione artrosica del compartimento laterale [8, 9], necessita di un utilizzo appropriato di tecniche di imaging. Mentre lo studio delle strutture ossee è agevolmente condotto mediante indagini radiografiche [8, 10, 11], quello della sinovia, delle strutture capsulari e dei legamenti collaterali si giova dell'approccio ecografico, già proposto per il follow-up delle protesi totali [12]. Resta aperto, nei pazienti con PMCM, il problema della valutazione dei compartimenti laterale e anteriore (con particolare riferimento alle strutture osteocartilaginee e al menisco laterale), oltre che delle strutture del pivot centrale.

La risonanza magnetica (RM) è oggi considerata tecnica di imaging ottimale nello studio del ginocchio, anche relativamente alla valutazione di approcci terapeutici innovativi [13, 14]. Fino ad oggi, nei pazienti con protesi del ginocchio la RM è stata ritenuta sostanzialmente controindicata ai fini della valutazione del ginocchio operato, anche se sono state riportate alcune esperienze pilota nello studio RM di pazienti con protesi totali [15, 16]. Infatti, la presenza di oggetti metallici intracorporei genera nelle immagini RM artefatti che variano a seconda del tipo di sequenza di impulsi a radiofrequenza e dei suoi parametri tecnici [17]. In generale le sequenze gradient-echo (GE) sono più sensibili (e quindi producono artefatti di maggiori dimensioni) rispetto a quelle spin-

presence of total arthroplasty of the knee, MR imaging does not allow a reliable evaluation of even superficial structures such as the quadriceps tendon, patellar tendon and collateral ligaments, which are better investigated with ultrasound [12].

The aim of our study was to test a series of MR sequences for evaluating the knee after medial unilateral arthroplasty in order to identify sequences that provide images affected by smaller artefacts and thus of potential use for assessing the anterior and lateral compartments and the central pivot.

Materials and methods

Patients

Between June and September 2005, four symptomatic patients (two women aged 60 and 65 years and two men aged 67 and 79 years) who had undergone medial unicompartmental arthroplasty (Oxford III, Biomet, London, UK) underwent MR imaging of the treated knee. This implant is composed of two metallic devices (cobalt–chrome–molybdenum alloy) implanted into the medial femoral condyle and into the corresponding portion of the tibial plate, which can be easily recognised at radiography, and of a radiolucent polymer meniscus [10]. The four prostheses were implanted 14–18 months before MR imaging. The study was approved by the ethics committee, and informed consent was obtained from all patients.

MR protocol

Examinations were performed with a 1.5-T superconductive magnet, 40-mT/m gradient power and a 20-cm flexible coil surrounding the knee (Sonata Maestro Class, Siemens, Erlangen, Germany). To test the effect of the metallic implant on the images generated by multiple sequences with an acceptable examination time, we adopted one scan plane only. The coronal plane was chosen in order to directly evaluate the mediolateral and craniocaudal extent of image artefacts using a relatively small number of slices. In fact, whereas the sagittal scan plane would have prevented direct evaluation of mediolateral extent of artefacts, the axial scan plane would have allowed the direct evaluation of mediolateral and anteroposterior extent of artefacts (though not the craniocaudal extent), but only with a far higher number of slices compared with coronal scanning and, as a consequence, longer scan time. Moreover, the coronal scan plane permitted optimal evaluation of the lateral meniscus, with a higher rendering in comparison with the axial plane alone [21].

We tested seven sequences commonly used in musculoskeletal MR imaging: T1-weighted SE, T1-weighted

echo (SE) e l'entità dell'artefatto aumenta col crescere della pesatura in T2 [18–20]. Per tale motivo, le protesi metalliche ortopediche sono in generale considerate condizioni potenzialmente limitanti l'indagine RM in quanto potenziale fonte di mascheramento delle regioni anatomiche oggetto di studio [20]. In particolare, in presenza di protesi totali del ginocchio, secondo l'opinione corrente la RM non consente una valutazione affidabile neppure di strutture superficiali quali il tendine del quadricipite, i legamenti collaterali e il tendine rotuleo, per le quali appare nel complesso superiore il contributo diagnostico dell'ecografia [12].*

Scopo dello studio è stato testare una serie di sequenze RM per lo studio del ginocchio trattato con PMCM al fine di identificare quelle che consentono di ottenere immagini gravate da minori artefatti, quindi potenzialmente utili per lo studio del pivot centrale e dei compartimenti anteriore e laterale.

Materiali e metodi

Pazienti

Tra giugno e settembre 2005, 4 pazienti sintomatici (2 femmine di 60 e 65 anni e 2 maschi di 67 e 79 anni) portatori di PMCM Oxford III (Biomet, London, UK) sono stati sottoposti a RM del ginocchio protesizzato. Tale protesi è costituita da due componenti metalliche in lega al cobalto-cromo-molibdeno impiantate sul condilo femorale mediale e sul corrispondente emipiatto tibiale, ben riconoscibili all'esame radiografico, e da un menisco in polimero radiotrasparente [10]. Le protesi erano state installate tra 14 e 18 mesi prima dell'esecuzione dell'indagine RM. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico e ciascun paziente ha espresso consenso informato all'esecuzione dell'indagine.

Protocollo RM

Le indagini sono state eseguite con apparecchiatura a magnete superconduttivo operante a 1,5 T, gradienti con potenza di 40-mT/m (Sonata Maestro Class, Siemens, Erlangen, Germania) e bobina flessibile (20 cm) posta a circondare l'articolazione. Al fine di testare la sensibilità di molteplici sequenze RM alla presenza della protesi metallica in tempi-esame accettabili, è stato utilizzato un unico piano di scansione. È stato scelto il piano coronale per valutare direttamente l'estensione medio-laterale e cranio-caudale degli artefatti con un numero relativamente ridotto di strati. Infatti, mentre il piano sagittale non avrebbe permesso la valutazione diretta dell'estensione medio-laterale degli artefatti, il piano assiale avrebbe sì

turbo-SE (TSE), proton-density (PD)- and T2- weighted TSE, T1-weighted spoiled GE (fast low-angle shot), short-tau inversion recovery (STIR) and multi-echo data image combination (MEDIC). Moreover, to investigate artefact extent on images obtained with sequences highly sensitive to magnetic inhomogeneity, we tested a T2*-weighted spoiled GE sequence and two three-dimensional sequences: the volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE) and the dual-echo steady-state (DESS) sequences. The technical parameters used for these ten sequences are reported in Table 1. Each of the four patients remained in our department about 30 min after the examination and was asked if she or he had any discomfort during or after the exam.

Image analysis

For each of the ten sequences, two radiologists with about

consentito la valutazione diretta dell'estensione medio-laterale e antero-posteriore degli artefatti (rinunciando a quella cranio-caudale) ma con un numero di strati molto più elevato rispetto al piano coronale e, quindi, tempi di scansione prolungati. Il piano coronale ha altresì permesso una valutazione ottimale del menisco laterale, comunque valutabile in modo più impreciso nella sola scansione assiale [21].

Sono state testate sette sequenze tra quelle più utilizzate in RM muscolo-scheletrica: SE pesata in T1; turbo-SE (TSE) pesata in T1; TSE pesata in densità protonica (DP) e T2; GE con spoiler (fast low angle shot) pesata in T1; short tau inversion recovery (STIR); multi echo data image combination (MEDIC). Allo scopo di verificare l'estensione degli artefatti in sequenze ad alta sensibilità alla disomogeneità magnetica, sono state altresì testate una sequenza GE con spoiler pesata in T2 e due sequenze con acquisizione*

Table 1 Technical parameters of ten MR sequences used in four patients for the 1.5-T study of the knee with unicompartmental Oxford III Biomet arthroplasty

Sequences	TR (ms)	TE (ms)	Flip Angle	Thickness (mm)	Number of slices	Acquisition time (min:sec)
PD-weighted TSE	2900	13.0	150°	7.0	20	2:35
T2-weighted TSE	2900	81.0	150°	7.0	20	2:35
T1-weighted SE	410	10.0	90°	7.0	20	1:49
T1-weighted TSE	549	9.5	120°	7.0	20	1:00
STIR ^a	2500	54.0	180°	7.0	20	3:12
T1-weighted GE	520	9.0	70°	7.0	20	4:28
T2*-weighted GE	520	15.0	25°	7.0	20	4:28
DESS	22.65	6.15	25°	5.0	20	2:17
VIBE	7	2.49	8°	7.0	20	0:25
MEDIC	876	26.0	30°	7.0	20	3:46

TR, time of repetition; TE, time of echo; PD, proton density; TSE, turbo spin-echo; SE, spin-echo; STIR, short tau inversion-recovery; GE, gradient-echo; DESS, double echo in the steady state; VIBE, volumetric interpolated breath-hold examination; MEDIC, multi echo data image combination. For all sequences: matrix 256×256; field of view 200×200 mm; number of excitations, NEX=1, with the exception of T1- and T2*-weighted GE sequences (NEX=2).

^a Inversion time=130 ms

Tabella 1 Parametri tecnici delle 10 sequenze RM (1.5 T) utilizzate nello studio del ginocchio in quattro pazienti portatori di protesi monocompartimentali Oxford III Biomet

Sequenze	TR (ms)	TE (ms)	Flip Angle	Spessore (mm)	Numero di strati	Tempo di acquisizione (min:sec)
TSE DP-pesata	2900	13.0	150°	7.0	20	2:35
TSE T2-pesata	2900	81.0	150°	7.0	20	2:35
SE T1-pesata	410	10.0	90°	7.0	20	1:49
TSE T1-pesata	549	9.5	120°	7.0	20	1:00
STIR ^a	2500	54.0	180°	7.0	20	3:12
GE T1-pesata	520	9.0	70°	7.0	20	4:28
GE T2*-pesata	520	15.0	25°	7.0	20	4:28
DESS	22.65	6.15	25°	5.0	20	2:17
VIBE	7	2.49	8°	7.0	20	0:25
MEDIC	876	26.0	30°	7.0	20	3:46

TR, tempo di ripetizione; TE, tempo di eco; DP, densità protonica; TSE, turbo spin-echo; SE, spin-echo; STIR, short tau inversion-recovery; GE, gradient-echo; DESS, double echo in the steady state; VIBE, volumetric interpolated breath-hold; MEDIC, multi echo data image combination. Per tutte le sequenze: matrice 256×256; campo di vista 200×200 mm; numero di eccitazioni, NEX=1, ad eccezione delle sequenze GE T1- e T2*-pesate (NEX=2).

^a Tempo di interpulso=130 ms

10 and 4 years, respectively, of experience in musculoskeletal MR imaging rated in consensus the visibility of the anatomical structures of the central pivot (cruciate ligaments), lateral compartment (femoral and tibial bone and cartilages; lateral meniscus; capsule and lateral collateral ligament) and anterior compartment (femoral and tibial bone and cartilages; Hoffa fat pad, patellar tendon).

We used a semiquantitative scoring system for the visibility of anatomical structures related either to the presence of image artefacts or to the contrast resolution for each sequence (0=total masking; 1=insufficient visibility; 2=sufficient visibility; 3=optimal visibility). The sum of the scores given to each sequence for each of the three compartments and for all four patients was divided by the maximum sum that could be obtained (score=3 for all three compartments and all four patients; i.e. $3 \times 3 \times 4 = 36$), thus obtaining a percentage visibility index.

Statistical analysis

Differences among the visibility indexes of the ten sequences were globally evaluated with the Friedman test. Post hoc analysis for direct comparison between pairs of sequences was performed using the sign test. The SPSS software package (SPSS Inc., release 14.0 for Windows) was used. p values <0.05 were considered significant.

Results

MR examination time was 30–32 min: 24 min of scan time of the ten sequences and the remaining 6–8 min for patient positioning, initial scout sequences and patient removal from the unit. None of the four patients reported pain, heat or other local discomfort either during the examination or during the following 30 min.

Visibility indexes of anatomical structures obtained with each of the ten sequences are reported in Table 2. Examples of visibility of anatomical structures are provided in Fig. 1 for the anterior compartment, Fig. 2 for the central pivot, and Fig. 3 for the lateral compartment. Difference among visibility indexes of the ten sequences was highly significant ($p < 0.001$, Friedman test). Nonsignificant differences ($p = 0.733$, Friedman test) were observed among the visibility indexes of the first four sequences (PD- and T2-weighted TSE, T1-weighted SE, and T1-weighted TSE). The visibility indexes of the first four sequences were significantly higher ($p < 0.004$, sign test) than those of the remaining six sequences. Visibility index of the STIR sequence (fifth, decreasing order) was significantly higher ($p < 0.008$, sign test) than that of the last five sequences (T1- and T2*-weighted GE, DESS, VIBE, MEDIC). The difference between the visibility index of the T1-weighted GE

tridimensionale, volumetric interpolated breath-hold sequence (VIBE) e dual echo steady state (DESS). I parametri delle sequenze sono illustrati in dettaglio in Tabella 1. Ciascuno dei quattro pazienti è rimasto in reparto in osservazione per circa 30 minuti dopo l'esecuzione dell'indagine ed è stato interrogato sull'eventuale insorgenza di qualsiasi disturbo durante e dopo l'indagine.

Analisi delle immagini

Due radiologi con circa 10 e 4 anni di esperienza in RM muscolo-scheletrica hanno valutato in consenso, per ciascuna sequenza, la visibilità delle strutture anatomiche del pivot centrale (legamenti crociati), del compartimento laterale (osso e cartilagine femorale e tibiale; menisco laterale; capsula e legamento collaterale laterale), del compartimento anteriore (osso e cartilagine femorale e tibiale; corpo di Hoffa; tendine rotuleo).

È stato utilizzato un punteggio semiquantitativo di riconoscibilità delle strutture anatomiche in relazione alla presenza di artefatti e alla risoluzione di contrasto della sequenza (0=totale mascheramento; 1=insufficiente riconoscibilità; 2=sufficiente riconoscibilità; 3=ottimale riconoscibilità). La somma dei punteggi riportati da ciascuna sequenza in ciascuno dei tre compartimenti e per tutti e quattro i pazienti è stata divisa per il valore massimo ottenibile (score=3 per i tre compartimenti e per ognuno dei quattro pazienti, cioè $3 \times 3 \times 4 = 36$), ottenendo per ciascuna sequenza un indice percentuale di riconoscibilità.

Analisi statistica

Le differenze tra gli indici di riconoscibilità delle dieci sequenze sono stati globalmente valutati con il test di Friedman; l'analisi post-hoc per il confronto delle differenze tra gli indici di riconoscibilità di coppie di sequenze è stata eseguita con il test dei segni. L'analisi statistica è stata effettuata con software SPSS (SPSS Inc., versione 14.0 per Windows). Valori di p inferiori a 0,05 sono stati considerati significativi.

Risultati

L'indagine RM è durata circa 30–32 minuti, 24 dei quali per il tempo di acquisizione delle dieci sequenze, i rimanenti 6–8 minuti per il posizionamento del paziente, le sequenze di centratura e la discesa del paziente dal lettino. Nessuno dei quattro pazienti ha lamentato dolore, riscaldamento o altre sensazioni locali durante l'indagine o nei 30 minuti successivi.

Gli indici di riconoscibilità delle strutture anatomiche nelle immagini ottenute con le dieci sequenze sono riportati

Table 2 Visibility index of anatomical structures of the central pivot, anterior compartment and lateral compartment of the knee after Oxford III Biomet medial unicompartmental arthroplasty in four patients studied with 1.5-T MR imaging using ten sequences

Sequences	Visibility score			Sum	Visibility index ^a
	Central pivot	Anterior compartment	Lateral compartment		
PD-weighted TSE	11	10	11	32	89%
T2-weighted TSE	11	10	11	32	89%
T1-weighted SE	10	10	11	31	86%
T1-weighted TSE	9	11	10	30	83%
STIR	6	7	8	21	58%
T1-weighted GE	3	5	5	13	36%
T2*-weighted GE	2	3	6	11	31%
DESS	2	4	3	9	25%
VIBE	1	3	2	6	17%
MEDIC	1	1	2	4	11%

TSE, turbo spin-echo; PD, proton density; SE, spin-echo; STIR, short-tau inversion recovery; GE, gradient-echo; DESS, double echo in the steady state; VIBE, volumetric interpolated breath-hold examination; MEDIC, multi-echo data image combination.

^a Per cent ratio between the sum of the visibility scores obtained for the three compartments and the maximum attainable score (see text)

Tabella 2 Riconoscibilità delle strutture anatomiche del pivot centrale, del compartimento anteriore e del compartimento laterale del ginocchio in quattro pazienti portatori di protesi monocompartimentali Oxford III Biomet studiati a 1,5 T con dieci diverse sequenze

Sequenze	Punteggio di riconoscibilità			Somma	Indice di riconoscibilità ^a
	Pivot centrale	Compartimento anteriore	Compartimento laterale		
TSE DP-pesata	11	10	11	32	89%
TSE T2-pesata	11	10	11	32	89%
SE T1-pesata	10	10	11	31	86%
TSE T1-pesata	9	11	10	30	83%
STIR	6	7	8	21	58%
GE T1-pesata	3	5	5	13	36%
GE T2*-pesata	2	3	6	11	31%
DESS	2	4	3	9	25%
VIBE	1	3	2	6	17%
MEDIC	1	1	2	4	11%

TSE, turbo spin-echo; DP, densità protonica; SE, spin-echo; STIR, short tau inversion-recovery; GE, gradient-echo; DESS, double echo in the steady state; VIBE, volumetric interpolated breath-hold examination; MEDIC, multi echo data image combination.

^aRapporto percentuale tra la somma dei punteggi e il valore massimo ottenibile (vedi testo)

and that of the T2*-weighted GE was not significant ($p=0.453$, sign test). Scores assigned to each sequence are shown in decreasing order in Fig. 4.

Discussion

Firstly, our results show that 1.5-T MR imaging of the knee with medial unicompartmental arthroplasty is not associated with adverse events during or immediately after the examination. This result was expected, given that orthopaedic implants are generally defined not as real contraindications to the study but as patient conditions possibly limiting the diagnostic effectiveness of the examination; that is, as a possible source of image artefacts in the body region being investigated [22].

Secondly, comparison among sequences confirmed the

in ordine decrescente in Tabella 2. Esempi della riconoscibilità delle strutture anatomiche sono forniti nella Fig. 1 per il compartimento anteriore, nella Fig. 2 per il pivot centrale e nella Fig. 3 per il compartimento laterale. La differenza fra gli indici di riconoscibilità delle 10 sequenze è risultata altamente significativa ($p<0,001$, test di Friedman). Non sono state osservate differenze significative ($p=0,733$, test di Friedman) tra gli indici di riconoscibilità delle prime quattro sequenze (TSE DP- e T2-pesata, SE T1-pesata e TSE T1-pesata). L'indice di riconoscibilità delle prime quattro sequenze è risultato significativamente maggiore ($p<0,004$, test dei segni) di quello delle restanti sei sequenze. L'indice di riconoscibilità della sequenza STIR (quinta in ordine decrescente) è risultato significativamente maggiore ($p<0,008$, test dei segni) di quello delle ultime cinque sequenze (GE T1- e T2*-pesata, DESS, VIBE, MEDIC). La differenza tra gli indici di riconoscibilità delle

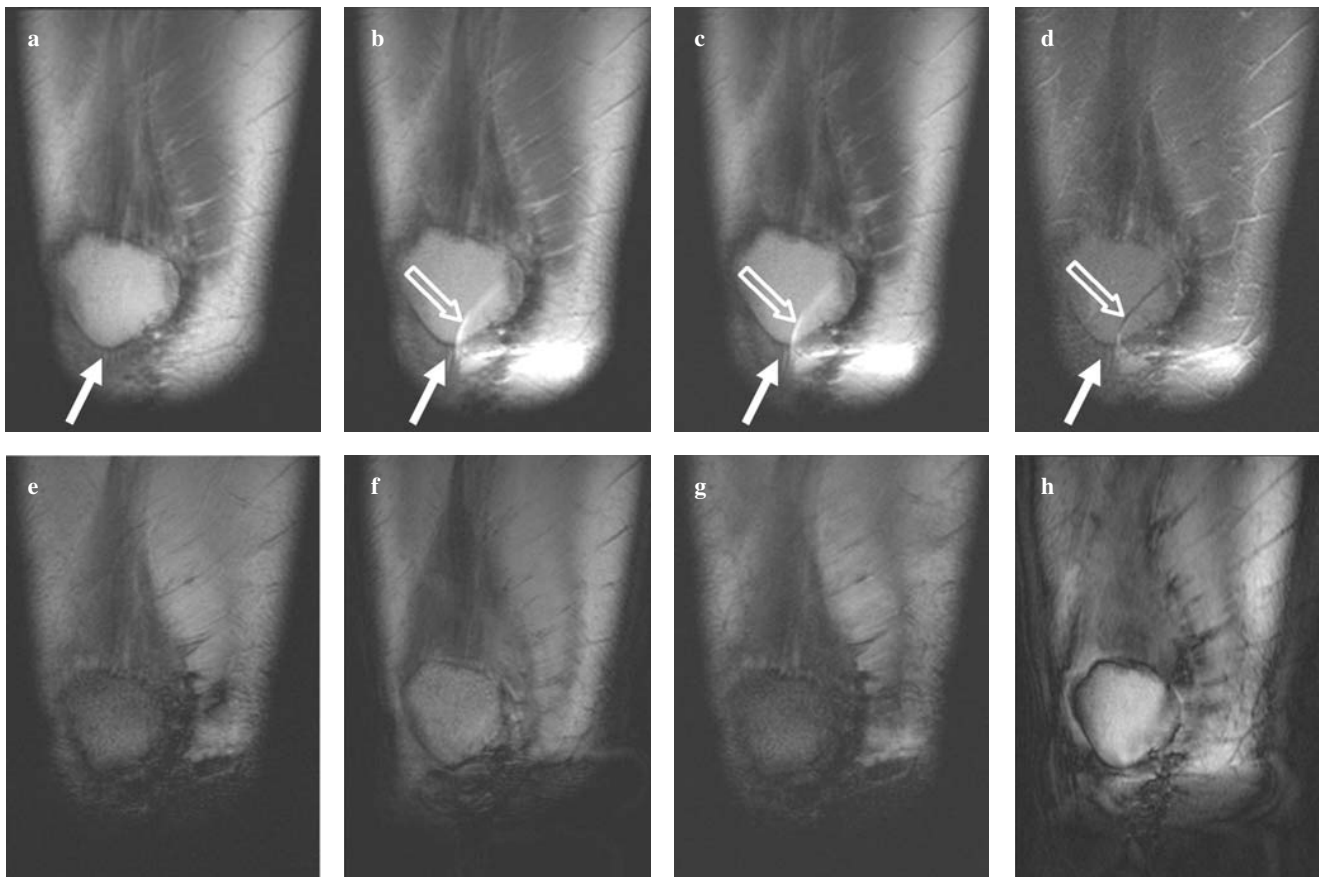


Fig. 1a-h Comparison among magnetic resonance (MR) sequences used at 1.5 T for studying the knee after unicompartamental arthroplasty (coronal plane, anterior compartment): **a** T1-weighted turbo spin-echo (TSE); **b** proton-density-weighted TSE; **c** T2-weighted TSE; **d** short-tau inversion recovery (STIR); **e** gradient-echo (GE) T2*-weighted; **f** dual-echo steady state (DESS); **g** multi-echo data image combination (MEDIC); **h** volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE). Note the visibility of the patellar tendon only in **a, b, c, and d** (full arrow), whereas in the remaining images, the artefact entirely masks the image below the patellar apex. In **b, c and d**, a thin linear curved artefact does not limit the visibility of patellar tendon (empty arrow).

Fig. 1a-h Comparazione tra sequenze RM (1,5 T) per lo studio del ginocchio con protesi monocompartimentale mediale (piano coronale, compartimento anteriore): **a** turbo spin-echo (TSE) pesata in T1; **b** TSE pesata in densità protonica; **c** TSE pesata in T2; **d** short tau inversion-recovery (STIR); **e** gradient-echo (GE) pesata in T2; **f** dual echo steady-state (DESS); **g** multi echo data image combination (MEDIC); **h** volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE). Si osservi come il tendine rotuleo sia riconoscibile solo in **a, b, c e d** (freccia piena) mentre l'artefatto metallico maschera completamente l'immagine caudalmente all'apice rotuleo. In **b, c e d** la sottile linea arcuata artefattuale non compromette la riconoscibilità del tendine rotuleo (freccia vuota).

higher sensitivity of the GE sequences to magnetic susceptibility artefacts when compared with SE sequences [18, 19, 22]. SE sequences, either conventional or turbo, enabled us to evaluate the central pivot as well as the anterior and lateral compartments, as demonstrated by the absence of significant differences among the first four sequences when compared with all GE sequences (Fig. 4). Moreover, T1-weighted GE sequences obtained a visibility index (36%) that was slightly higher, though not significant ($p=0.453$), than that of T2*-weighted GE sequences (31%) due to the effect of T2* weighting, which emphasises image artefacts [18, 19]. However, neither of these sequences appeared to be diagnostic.

In our study, the spatial relationship between the coronal scans and the course of the patellar tendon limited its evaluation. Sagittal or axial scans allowed a better evaluation of

due sequenze GE T1- e T2*-pesate è risultata non significativa ($p=0,453$, test dei segni). I punteggi ottenuti dalle diverse sequenze sono rappresentati in ordine decrescente in Fig. 4.

Discussione

I risultati del presente studio indicano in primo luogo che l'indagine RM del ginocchio a 1,5 T in presenza di PMCM non comporta l'insorgenza di eventi avversi durante o dopo l'esecuzione della stessa. Tale risultato era atteso in ragione della generale definizione delle protesi ortopediche non come controindicazioni ma come condizioni potenzialmente limitanti l'indagine, ovvero fonte potenziale di artefatti nell'ambito della regione studiata [22].

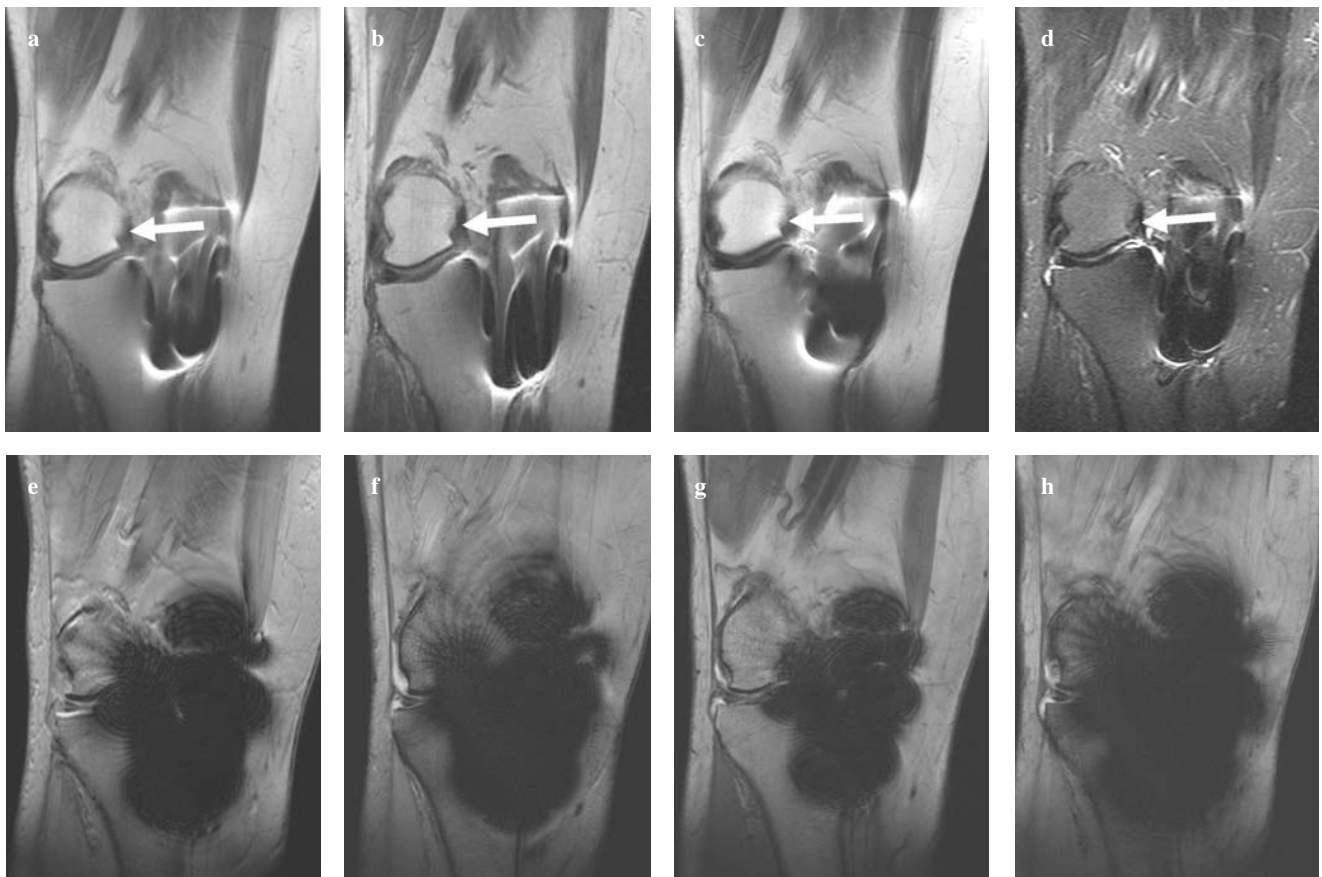


Fig. 2a-h Comparison among magnetic resonance (MR) sequences used at 1.5 T for studying the knee after unicompartamental arthroplasty (coronal plane, central pivot): **a** T1-weighted turbo spin-echo (TSE); **b** proton-density-weighted TSE; **c** T2-weighted TSE; **d** short-tau inversion recovery (STIR); **e** gradient-echo (GE) T2*-weighted; **f** dual-echo steady state (DESS); **g** multi-echo data image combination (MEDIC); **h** volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE). Note that the anterior cruciate ligament is visualised only in **a, b, c** and **d** (arrow), whereas in the remaining images, the artefact masks entirely the central pivot and partially the lateral condyle, allowing limited visibility of the lateral meniscus. The external femorotibial joint space in **e, f, g** and, in particular, **h** is masked by an artefact larger than that present in **a, b, c** and **d**, where the joint space is fully visible.

Fig. 2a-h Comparazione tra sequenze RM (1,5 T) per lo studio del ginocchio con protesi monocompartimentale mediale (piano coronale per il pivot centrale): **a** turbo spin-echo (TSE) pesata in T1; **b** TSE pesata in densità protonica; **c** TSE pesata in T2; **d** short tau inversion-recovery (STIR); **e** gradient-echo (GE) pesata in T1; **f** GE pesata in T2*; **g** dual echo steady-state (DESS); **h** multi echo data image combination (MEDIC). Si osservi come il legamento crociato anteriore sia riconoscibile solo in **a, b, c** e **d** (freccia) mentre nelle restanti immagini l'artefatto maschera interamente il pivot centrale e parzialmente il condilo laterale consentendo una limitata riconoscibilità del menisco laterale. La rima articolare femoro-tibiale esterna in **e, f, g** ed in particolare in **h** è mascherata da un artefatto di dimensioni superiori rispetto ad **a, b, c** e **d**, ove la rima è completamente riconoscibile.

the patellar tendon. Notwithstanding these limitations, whereas GE sequences (standard, VIBE, DESS or MEDIC) were affected by image artefacts entirely masking the patellar tendon and the Hoffa fat pad, SE and TSE sequences enabled visualisation of the anterior compartment without artefacts (Fig. 2).

The STIR sequence, even though limited by an overall visibility index (58%) significantly lower than those of the first four SE and TSE sequences, must be regarded as a useful approach due to its high sensitivity for fluid collections and soft tissue and spongy bone oedema. Moreover, the STIR sequence is also strongly diagnostic for meniscal or chondral tears and subchondral spongy bone oedema [23]. The structure of the STIR sequence used by us is that of an inversion pulse (TI=130 ms) lowering the fat signal,

In secondo luogo, il confronto tra sequenze ha confermato la maggiore sensibilità agli artefatti da suscettività magnetica delle sequenze GE rispetto a quelle SE [18, 19, 22]. Le sequenze SE si sono rivelate utili alla valutazione dei compartimenti anteriore e laterale come pure del pivot centrale sia nella variante classica che in quella turbo, come dimostrato dall'assenza di differenze significative tra le prime quattro sequenze e dalla presenza di differenze significative nei confronti di tutte le sequenze GE (Fig. 4). Da questo punto di vista, è interessante notare come le sequenze GE pesate in T1 presentino un indice di riconoscibilità delle strutture anatomiche (36%) lievemente superiore rispetto a quello delle sequenze GE pesate in T2* (31%), sebbene tale differenza non risulti significativa ($p=0,453$) ed entrambe quindi appaiano non utilizzabili a

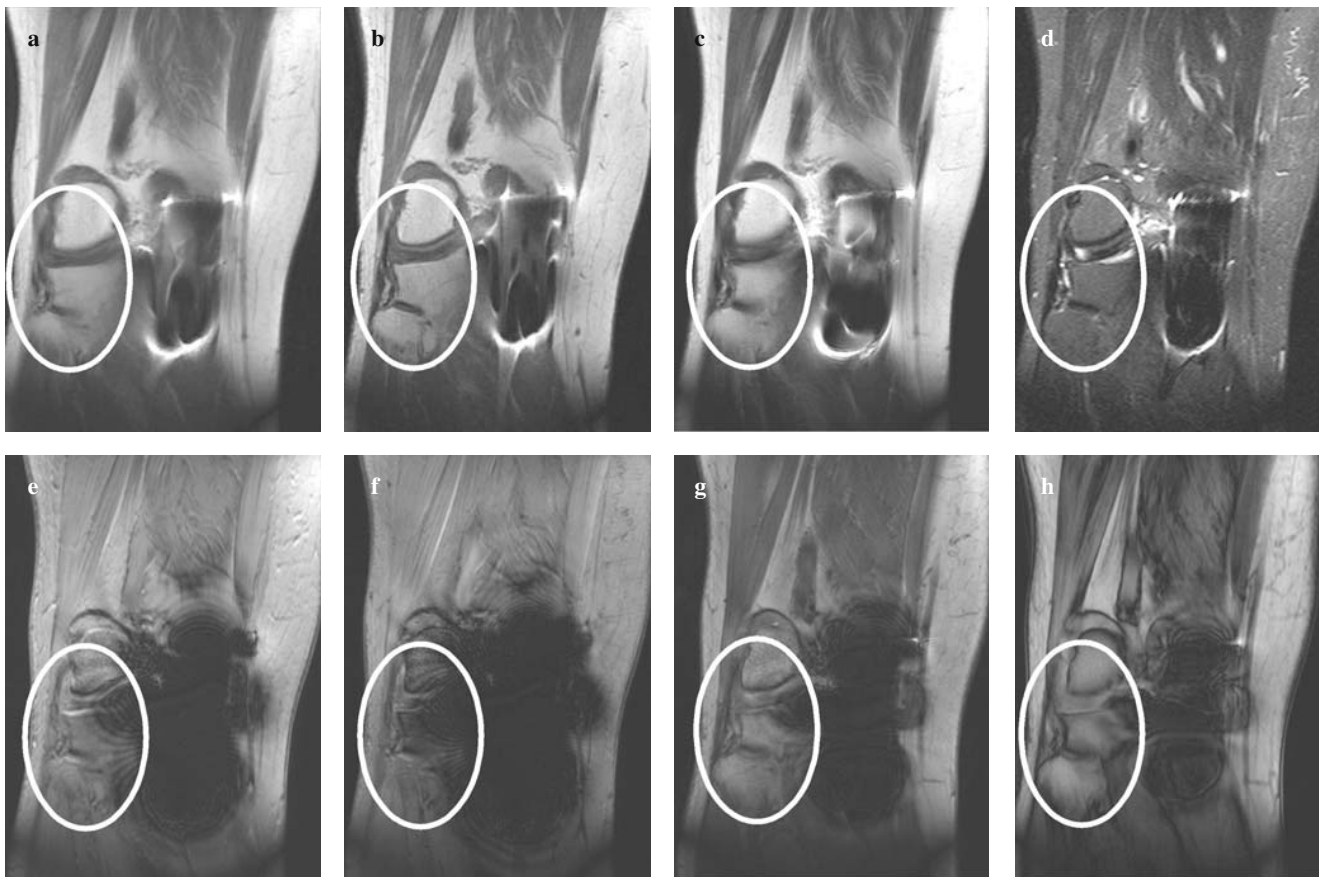


Fig. 3a-h Comparison among magnetic resonance (MR) sequences used at 1.5 T for studying the knee after unicompartmental arthroplasty (coronal plane, lateral compartment): **a** T1-weighted turbo spin-echo (TSE); **b** proton-density-weighted TSE; **c** T2-weighted TSE; **d** short-tau inversion recovery (STIR); **e** gradient-echo (GE) T2* weighted; **f** dual-echo steady state (DESS); **g** multi-echo data image combination (MEDIC); **h** volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE). In the area indicated by the oval in **a**, **b**, **c** and **d**, all anatomical structures can be recognised, in particular, the lateral portion of the capsule, lateral collateral ligament, external femorotibial joint space and lateral meniscus. In **e** and **f**, an artefact masks the joint space and partially the meniscus. In **h** is seen a small artefact, but the sequence does not allow real visualisation of the meniscus.

Fig. 3a-h Comparazione tra sequenze RM (1,5 T) per lo studio del ginocchio con protesi monocompartimentale mediale (piano coronale per il compartimento laterale): **a** turbo spin-echo (TSE) pesata in T1; **b** TSE pesata in densità protonica; **c** TSE pesata in T2; **d** short tau inversion-recovery (STIR); **e** gradient-echo (GE) pesata in T1; **f** GE pesata in T2*; **g** dual echo steady-state (DESS); **h** volumetric interpolated breath-hold examination (VIBE). Nell'area compresa dall'ovale in **a**, **b**, **c** e **d** si riconoscono tutte le strutture, in particolare il compartimento capsulare laterale, il legamento collaterale laterale, la rima articolare femoro-tibiale esterna e il menisco esterno. In **e** ed **f** l'artefatto maschera la rima articolare ed in parte il menisco. In **h** l'artefatto è meno esteso ma la sequenza non consente una reale riconoscibilità della fibrocartilagine.

followed by a T2-weighted TSE sequence (TE=54 ms). We did not perform sequences with spectral fat saturation due to their high sensitivity to the magnetic field distortion determined by the presence of ferromagnetic material [24, 25] and to avoid a longer total examination time. On the basis of these results, an MR imaging protocol including sagittal T1-weighted SE, coronal PD-weighted TSE, axial T2-weighted TSE and sagittal and coronal STIR sequences could be used to study the knee with unicompartmental arthroplasty.

Our experience confirms the absence of contraindications to MR imaging for patients with joint replacement. In particular, for unicompartmental knee arthroplasty, MR imaging could be a diagnostic tool for evaluating the progression of arthritis of the lateral compartment and associated cartilage and meniscal changes and assessing the

fini diagnostici: la pesatura in T2* enfatizza gli artefatti [18, 19].

Nelle sequenze coronali da noi utilizzate l'angolazione del piano di scansione rispetto al decorso del tendine rotuleo ne ha limitato la valutazione diagnostica che avrebbe potuto essere ottimizzata da piani di scansione sagittali o assiali. Nonostante questo limite, mentre le sequenze GE, sia classiche che nelle varianti VIBE, DESS e MEDIC, risultano gravate da artefatti che mascherano quasi interamente il tendine rotuleo e il corpo di Hoffa, le sequenze SE e TSE consentono di visualizzare le componenti del compartimento anteriore, sostanzialmente privo di artefatti (Fig. 2).

La sequenza STIR, anche se caratterizzata da una performance complessiva (58%) minore di quella delle

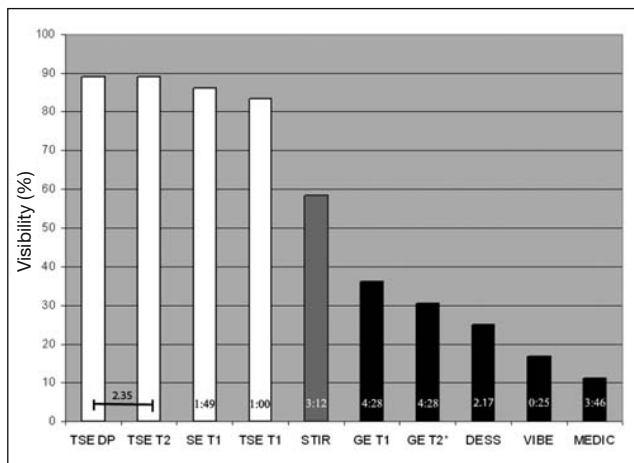


Fig. 4 Visibility index of the anatomical structures of the central pivot, anterior compartment, and lateral compartment of ten magnetic resonance (MR) sequences (1.5 T) used to study the knee after medial unicompartmental arthroplasty. Numbers at the bottom of the bar are acquisition times (min:s). For sequence acronyms, see the legend of Fig. 3.

Fig. 4 Grafico a barre dell'indice di riconoscibilità delle strutture anatomiche del pivot centrale, del compartimento anteriore del compartimento laterale per dieci diverse sequenze utilizzate per lo studio RM del ginocchio con protesi monocompartmentale a 1,5 T. I numeri alla base delle barre indicano i tempi di acquisizione (min:s). Per gli acronimi delle sequenze si veda la didascalia di Fig. 3.

femoropatellar joint and its chondral surfaces, which cannot be investigated with alternative techniques. The diagnostic value and clinical efficacy of this information require investigation with a specifically designed prospective study.

Conflict of interest statement Dr. Pietro Randelli is consultant for Biomet Europe BV. The remaining authors declare that they have non conflict of interest to the publication of this article.

References/Bibliografia

1. Laurencin CT, Zelicof SB, Scott RD, Ewald FC (1991) Unicompartmental versus total knee arthroplasty in the same patient. A comparative study. *Clinic Orthop Relat Res* 273:151–156
2. Price AJ, Webb J, Topf H et al (2001) Rapid recovery after Oxford unicompartmental knee arthroplasty through a short incision. *J Arthroplasty* 16:970–976
3. Robertsson O, Knutson K, Lewold S, Lidgren (2001) The routine of surgical management reduces failure after unicompartmental knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br* 83:45–49
4. Robertsson O (2007) Knee arthroplasty registers. *J Bone Joint Surg Br* 89:1–4
5. Murray DW (2007) Mobile bearing unicompartmental knee replacement. *Orthopedics* 30:768–769
6. Murray DW, Goodfellow JW, O'Connor JJ (1998) The Oxford medial unicompartmental arthroplasty: a ten-year survival study. *J Bone Joint Surg Br* 80:983–989
7. Price AJ, Waite JC, Svard U (2005) Long-term clinical results of the medial Oxford unicompartmental knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 435:171–180
8. Walton MJ, Weale AE, Newman JH (2006) The progression of arthritis following lateral unicompartmental knee replacement. *Knee* 13:374–377
9. Weale AE, Murray DW, Crawford R et al (1999) Does arthritis progress in the retained compartments after 'Oxford' medial unicompartmental arthroplasty? A clinical and radiological study with a minimum ten-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 81:783–789
10. Tibrewal SB, Grant KA, Goodfellow JW (1984) The radiolucent line beneath the tibial components of the Oxford meniscal knee. *J Bone Joint Surg Br* 66:523–528
11. Keyes GW, Carr AJ, Miller RK, Goodfellow JW (1992) The radiographic classification of medial gonarthrosis. Correlation with operative methods in 200 knees. *Acta Orthop Scand* 63:497–501

prime quattro sequenze (SE e TSE), rappresenta un approccio utile in virtù dell'elevata sensibilità alle raccolte liquide e all'edema sia dei tessuti molli che, in particolare, dell'osso spongioso. Altro vantaggio a favore della sequenza STIR è la sua elevata potenzialità diagnostica per i danni meniscali o condrali e per la sofferenza spongiosa subcondrale [23]. La struttura delle sequenze STIR da noi utilizzata è, del resto, quella di una sequenza TSE T2-pesata ($TE=54$ ms) preceduta da un impulso di inversione ($TI=130$ ms) che abbatte il segnale del grasso. Si è deciso di non eseguire sequenze con saturazione spettrale del grasso in quanto marcatamente sensibili alla distorsione del campo magnetico determinata dalla presenza di materiale ferromagnetico [24, 25] e per non prolungare la durata dell'esame. Si delinea, quindi, un protocollo che potrebbe utilizzare sequenze SE o TSE T1-pesate secondo piani sagittali, TSE DP-pesate secondo piani coronali, TSE T2-pesate secondo piani assiali e STIR secondo piani sagittali e coronali.

La presente esperienza pilota conferma quanto già noto in letteratura in relazione all'assenza di controindicazioni agli studi RM nei pazienti portatori di protesi articolari. In particolare, per le PMCM di ginocchio, indica nella RM una tecnica diagnostica che potrebbe fornire informazioni circa la progressione dell'artrosi del compartimento laterale e delle associate degenerazioni cartilaginee e meniscali, nonché sull'articolazione femoro-rotulea e delle sue superfici cartilaginee, non valutabili con tecniche di imaging alternative. Valore diagnostico ed utilità clinica di tali informazioni andranno verificati mediante studio prospettico appositamente disegnato.

12. Lee J, Robinson G, Finlay K et al (2006) Evaluation of the quadriceps tendon, patellar tendon, and collateral ligaments after total knee arthroplasty: appearances in the early postoperative period. *Can Assoc Radiol J* 57:291–298
13. Caumo F, Russo A, Faccioli N et al (2007) Autologous chondrocyte implantation: prospective MRI evaluation with clinical correlation. *Radiol Med* 112:722–731
14. Genovese E, Angeretti MG, Ronga M et al (2007) Follow-up of collagen meniscus implants by MRI. *Radiol Med* 112:1036–1048
15. Sofka CM, Potter HG, Figgie M, Laskin R (2003) Magnetic resonance imaging of total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 406:129–135
16. Naraghi AM, White LM (2006) Magnetic resonance imaging of joint replacements. *Semin Musculoskelet Radiol* 10:98–106
17. Olsen RV, Munk PL, Lee MJ et al (2000) Metal artifact reduction sequence: early clinical application. *Radiographics* 20:699–712
18. Viano AM, Gronemeyer SA, Haliloglu M, Hoffer FA (2000) Improved MR imaging for patients with metallic implants. *Magn Reson Imaging* 18:287–295
19. Guermazi A, Miaux Y, Zaim S et al (2003) Metallic artefacts in MR imaging: effects of main field orientation and strength. *Clin Radiol* 58:322–328
20. Lee MJ, Kim S, Lee SA et al (2007) Overcoming artifacts from metallic orthopedic implants at high-field-strength MR imaging and multi-detector CT. *Radiographics* 27:791–803
21. Tarhan NC, Chung CB, Mohana-Borges AV et al (2004) Meniscal tears: role of axial MRI alone and in combination with other imaging planes. *AJR Am J Roentgenol* 183:9–15
22. Cittadini G, Cittadini G jr, Sardanelli F (2008) La risonanza magnetica. In: *Diagnostica per immagini e Radioterapia*. Ecig, Genova, p 137
23. Vanhoenacker FM, Snoeckx A, Vandaele L et al (2005) Bone marrow changes in sports injuries. *JBR-BTR* 88:332–335
24. Genson CC, Blane CE, Helvie MA et al (2007) Effects on breast MRI of artifacts caused by metallic tissue marker clips. *AJR Am J Roentgenol* 188:372–376
25. Herold T, Caro WC, Heers G et al (2004) Influence of sequence type on the extent of the susceptibility artifact in MRI—a shoulder specimen study after suture anchor repair. *Rofo* 176:1296–1301