

## Poly-L-lactic acid – hydroxyapatite (PLLA-HA) bioabsorbable interference screws for tibial graft fixation in anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction surgery: MR evaluation of osteointegration and degradation features

### *Viti ad interferenza bioriassorbibili PLLA-HA per la fissazione tibiale di innesti nella ricostruzione di LCA: valutazione RM degli aspetti legati alla osteointegrazione e ai prodotti di degradazione*

L. Macarini<sup>1</sup> • P. Milillo<sup>1</sup> • A. Mocchi<sup>2</sup> • R. Vinci<sup>1</sup> • G.C. Ettore<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Foggia, Radiodiagnostica Universitaria, Viale L. Pinto 1, 70100 Foggia, Italy

<sup>2</sup>Anthea Hospital, Via Camillo Rosalba 35, 70124 Bari, Italy

<sup>3</sup>Università degli Studi di Catania, Viale S. Sofia, 78, 95125 Catania, Italy

Correspondence to: P. Milillo, Via F. Chieffi 40, 70051 Barletta, Italy, Tel.: +39-339-2452701, Fax: +39-088-1733866, e-mail: paomi03@libero.it

Received: 6 August 2007 / Accepted: 25 February 2008 / Published online: 25 October 2008  
© Springer-Verlag 2008

#### Abstract

**Purpose.** We evaluated with magnetic resonance imaging (MRI) the degradation and osteointegration features of a new type of bioabsorbable interference (BioRCI) screw composed of poly-L-lactic acid and hydroxyapatite (PLLA-HA) used for tibial graft fixation in anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction.

**Materials and methods.** Thirty-one patients underwent arthroscopic surgery for ACL reconstruction using doubled gracilis and semitendinosus tendons fixed to the tibial tunnel with PLLA-HA (BioRCI-HA) screws. Two groups of patients were evaluated, one group 10–13 months after surgery and the other after 30–40 months. The standard knee ligament evaluation form of the International Knee Documentation Committee (IKDC) was used for clinical assessment and MRI for the radiological assessment.

**Results.** MRI after 10–13 months revealed findings referable to healing and integration of the bone-graft-screw system, findings that disappeared at later follow-up examinations. The BioRCI-HA screw remained constantly visible in all patients, although with changes in signal intensity over time.

**Conclusions.** BioRCI-HA screws allow adequate primary stability and superior osteoconduction and biocompatibility in comparison with plain PLLA screws. The absence of ferromagnetic artefacts allows accurate MRI follow-up and

#### Riassunto

**Obiettivo.** Valutare con imaging RM gli aspetti dei processi di degradazione ed osteointegrazione di una nuova classe di viti ad interferenza bioriassorbibili in acidi L-polilattici ed idrossiapatite (PLLA-HA), utilizzate per la fissazione di innesti tendinei nelle plastiche Pro-LCA.

**Materiali e metodi.** Trentuno pazienti sono stati sottoposti ad intervento chirurgico di ricostruzione di LCA con tendini di muscoli gracile e semitendinoso duplicati, fissati a livello del tunnel tibiale con viti PLLA-HA. Due gruppi di pazienti sono stati valutati dopo l'intervento chirurgico rispettivamente a distanza, uno di 10–13 mesi, l'altro di 30–40 mesi, utilizzando la scheda dell'International Knee Documentation Committee (IKDC) per la valutazione clinica; la valutazione radiologica è stata effettuata mediante RM.

**Risultati.** Dall'analisi dei risultati RM è emerso che nei controlli più ravvicinati erano presenti reperti legati ai processi di guarigione ed integrazione osso-innesto-vite, non più evidenti nel follow-up effettuato tardivamente. La vite BioRCI-HA è stata sempre visibile in tutti i controlli con modificazioni dell'intensità di segnale nel tempo.

**Conclusioni.** Le viti BioRCI-HA garantiscono una adeguata stabilità primaria, una superiore osteoconducibilità ed una maggiore biocompatibilità rispetto alle viti semplici di PLLA. L'assenza di artefatti

adequate evaluation of ligament synovialisation, screw degradation and graft osteointegration.

**Keywords** Bioabsorbable interference screws · Hydroxyapatite · Osteointegration · Magnetic resonance

*ferromagnetici delle viti ha consentito un'efficace valutazione con RM dei processi di sinovializzazione del neo-legamento, di quelli di degradazione delle viti biorassorbibili e di osteointegrazione dell'innesto.*

**Parole chiave** VIB · Idrossiapatite · Osteointegrazione · Risonanza magnetica

## Introduction

First described by Kurosaka et al. and Lambert, bioabsorbable interference (BioRCI) screws have become the gold standard in modern arthroscopic knee surgery [1, 2]. Primary fixation of the graft is fundamental during the initial period of knee stabilisation, and it is necessary that the screws preserve their structural integrity until osteointegration of the bone–screw–graft system has been achieved. In recent years, special attention has been paid to screws composed of poly-L-lactic acid polymers (PLLA), which ensure strong fixation of the new ligament – comparable with that of metallic implants – the possibility of surgical revision, poor inflammatory response, low incidence of adverse reactions and easy biological incorporation of the graft into the bone tunnel [3]. Such screws are not, however, free of limitations. These are related to surgical technique, excessive hydrolysis of the screw, decreased pH, biocompatibility problems and incomplete osteointegration with resulting loss of torsional strength and graft instability [4–6]. This has led to the introduction of screws composed of materials having biomechanical properties that are both more reliable and closer to those of metallic implants, that is, materials that are not only bioabsorbable and biocompatible but also osteoinductive: polymer-ceramic composite materials made up of PLLA and hydroxyapatite (HA) granules.

Knowledge of the structural and biological properties of HA (BioRCI-HA) and evaluation of their osteointegration processes are essential for understanding clinical outcome and radiological patterns. A peculiar feature of HA is that it forms crystal deposits arranged in a network of cells that are subsequently colonised by osteoblasts, and thus it provides the scaffold on which the new bone will grow [7].

The literature contains no magnetic resonance imaging (MRI) studies carried out in humans to investigate the precise significance of signal-intensity changes of PLLA-HA screws used for tibial fixation of ACL grafts or the degradation and osteointegration processes of such screws. The aim of this study was to evaluate the MRI features of the degradation of PLLA-HA bioabsorbable screws and of their biological behaviour and osteointegration processes.

## Introduzione

*Le viti ad interferenza biorassorbibili, descritte per la prima volta da Lambert e Kurosaka, rappresentato il gold standard nella moderna chirurgia artroscopica del ginocchio [1, 2]. La fissazione primaria dell'innesto è di fondamentale importanza nel periodo di stabilizzazione iniziale ed è necessario che le viti conservino la propria integrità strutturale fino alla integrazione del sistema osso-vite-innesto. Negli ultimi anni le applicazioni cliniche hanno rivolto particolare interesse a viti composte da polimeri di acidi polilattici (PLLA), che sono dotate di resistente fissazione del neo-legamento, paragonabile a quella dei mezzi di sintesi metallici, possibilità di revisione chirurgica, scarsa risposta infiammatoria, bassa incidenza a reazioni avverse, facilità di incorporazione biologica dell'innesto nel tunnel osseo [3]. Tali viti tuttavia non sono scevre da limiti che sono in parte legati alla tecnica operatoria, in parte dovuti alla eccessiva idrolisi che subisce la vite, alla diminuzione del pH e a problemi di biocompatibilità, e in parte dovuti alla non completa integrazione ossea con conseguente perdita della forza torsionale dell'innesto e conseguente instabilità [4–6]. Pertanto si è pensato all'introduzione di viti costituite da materiali dotati di caratteristiche biomeccaniche più affidabili e più vicine a quelle dei mezzi di sintesi metallici, ovvero a composti che oltre che dotati di caratteristiche di biorassorbibilità e biocompatibilità posseggono altresì la peculiarità di essere osteoinducenti; si tratta di composti polimerici-ceramici costituiti da acidi polilattici (PLLA) e granuli di idrossiapatite (HA).*

*La conoscenza delle proprietà strutturali e biologiche delle VIB-HA e la valutazione dei processi di osteointegrazione delle stesse sono fondamentali per la comprensione dei risultati clinici e di semeiotica radiologica. L'idrossiapatite possiede la peculiare caratteristica di creare depositi di cristalli che si dispongono creando un reticolo di "cellette" che saranno successivamente colonizzate da osteoblasti e costituiranno lo "scheletro" nel quale crescerà il futuro osso neofomato [7].*

*In letteratura non sono riportati studi con RM su uomo che stabiliscano con esattezza il significato delle alterazioni di segnale delle viti PLLA-HA utilizzate per la fissazione tibiale di innesti pro-LCA, nonché dei processi di degrada-*

## Materials and methods

Between December 2003 and June 2007, we evaluated 31 patients who had undergone arthroscopic surgery for ACL reconstruction in 2003 (18 on the right knee and 13 on the left knee) due to anterior laxity. Doubled gracilis and semitendinosus tendons were used as grafts. Graft fixation was achieved with the cross-pin system for the femoral tunnel and PLLA BioRCI-HA screw for the tibial tunnel. The tibial tunnel was drilled under arthroscopic guidance with the aid of an adequately sized drill guide placed at an angle of 55° in the sagittal plane and approximately 20° in the frontal plane. The screw was inserted by using a guidewire and a screwdriver until complete engagement and without thread tapping.

Of the 31 patients (20 men and 11 women; age range 17–49 years, mean age 26.7), 15 had sustained a sports trauma, nine a road accident and seven other types of accident. Twenty-nine patients were undergoing initial elective surgery, and two were undergoing surgical revision. Associated lesions were diagnosed with MRI and confirmed at surgery in 22 knees: 16 lesions of the medial meniscus, three of the lateral meniscus, four grade 1 or grade 2 chondropathies of the medial femoral condyle and one grade 2 chondropathy of the medial tibial plateau; there were no associated ligament lesions.

All patients underwent follow-up clinical assessment with the International Knee Documentation Committee (IKDC) form consisting of a subjective evaluation of symptoms and functional tests, as well as radiological assessment with MRI to evaluate osteointegration of the graft at the tibial level. Patients were divided into two groups according to the time elapsed between arthroscopic surgery and the follow-up assessments: one group, consisting of 15 patients, was evaluated after 10–13 months; the other group, consisting of 16 patients, was evaluated after 30–40 months.

MRI assessment was carried out with a 1.5-Tesla unit (Magnetom 63P, Siemens). The study protocol featured the use of a dedicated surface coil for the knee; scans in the axial, coronal and sagittal plane with a slice thickness of 3–4 mm; field of view (FOV) 160 mm; rectangular field of view (RFOV) 80%; matrix 192×256. Sequences included sagittal T1-weighted spin-echo (SE) images (TR/TE 600/15 ms), axial T2-weighted and proton-density-weighted SE images (TR/TE 2,000–2,300/20–80 ms), coronal T2-weighted inversion recovery (IR) fat saturated images (TR/TI/TE 1,800/110/40 ms) and axial and sagittal T2\*-weighted gradient echo (GE) images fast low-angle shot (FLASH) TR/FLIP/TE 680–700/35°/18 ms). Parameters considered on MRI were healing processes and degradation of the BioRCI-HA screws. In fact, the screws need to preserve their structural integrity until integration of the bone–screw–graft system is achieved during the initial

zione ed osteointegrazione delle stesse. Scopo del nostro lavoro è stato valutare gli aspetti RM dei processi di degradazione delle viti biorassorbibili PLLA-HA, del comportamento biologico e dei processi di osteointegrazione cui vanno incontro.

## Materiali e metodi

*Nel periodo tra dicembre 2003 e giugno 2007, sono stati valutati 31 pazienti sottoposti ad intervento chirurgico, nel 2003, per via artroscopica, di ricostruzione del legamento crociato anteriore del ginocchio (18 del ginocchio destro e 13 del ginocchio sinistro) per lassità anteriore. Come innesti sono stati utilizzati tendini di muscoli gracile e semitendinoso Duplicati. Per la fissazione degli innesti sono stati utilizzati il sistema Cross-pin per il tunnel femorale e le viti ad interferenza biorassorbibili composte da una miscela di PLLA-HA (vite BioRCI-HA) per il tunnel tibiale. La preparazione del tunnel tibiale, sotto guida artroscopica, è avvenuta con l'ausilio di una fresa di dimensioni adeguate all'innesto con angolo di 55° sul piano sagittale e 20° circa sul piano frontale. L'inserimento della vite è avvenuto con apposito filo-guida e cacciavite, fino al completo alloggiamento, senza maschiatura.*

*Dei 31 pazienti (20 maschi e 11 femmine), con età variabile tra 17 e 49 anni e con una media di 26,7 anni, 15 avevano subito un trauma sportivo, 9 un trauma stradale e 7 un trauma accidentale. In 29 pazienti si trattava del primo intervento di elezione, in 2 di intervento di revisione. In 22 ginocchia erano associate altre lesioni diagnosticate con studio RM e poi confermate chirurgicamente: 16 del menisco mediale, 3 del menisco laterale, 4 condropatie del condilo femorale mediale (CFM) di 1°/2°, ed 1 condropatia del piatto tibiale mediale (PTM) di 2°; nessuno riportava lesioni legamentose associate.*

*Tutti i pazienti sono stati sottoposti a controlli clinici, utilizzando la scheda International Knee Documentation Committee (IKDC) che prevede oltre che una valutazione soggettiva dei sintomi anche tests funzionali, e a controlli radiologici con valutazione RM dello stato ed avvenuta osteointegrazione dell'innesto a livello tibiale. I pazienti sono stati suddivisi in due gruppi a seconda della distanza di tempo dall'intervento chirurgico cui venivano effettuati i controlli: un gruppo, di 15 pazienti, valutato a breve distanza di tempo (dopo 10–13 mesi); un gruppo, di 16 pazienti, valutato a lunga distanza di tempo (dopo 30–40 mesi).*

*Per la valutazione radiologica i pazienti sono stati sottoposti ad esami RM con un'apparecchiatura da 1,5 tesla (Magnetom 63P, Siemens). Lo studio ha previsto l'utilizzo di una bobina di superficie dedicata allo studio del ginocchio, scansioni sui piani assiale, coronale e sagittale con spessore di strato di 3–4 mm, campo di vista (FOV) 160 mm, campo di ricostruzione (RFOV) 80%, matrice di 192×256. Sono*

stabilisation period, which varies according to the tendons used and is reported to be 8–12 weeks for the gracilis and semitendinosus tendons [8, 9].

MR images were assessed independently by three radiologists who considered the following:

1. Signal and morphological features of the screw (related to degradation and complete or partial visualisation): homogeneously hyperintense signal, heterogeneous signal, homogeneously hypointense signal
2. Arthrosynovitis: marked or mild depending on whether effusion and reactive synovitis extended to all or only some of the articular recesses
3. Appearance of the bone and tunnel: presence of oedema, effusion, granulation tissue and fibrous tissue
4. Maturation processes of the new ligament: assessed according to previously published criteria [8–14].

## Results

According to clinical evaluation with the IKDC form (Table 1), 22 patients were rated group A (mean subjective score of 90%, mild pain after strenuous physical activity, complete range of movement, negative Lachman test with 1- to 2-mm translation in 40% and 2.5- to 3.5-mm translation in 60%, and functional test scores of 90%–100%). Eight patients were classified as group B (mean subjective score of 80%, joint disturbances during moderate physical activity, complete range of movement, negative Lachman test with 2- to 3.5-mm translation, moderate femoropatellar crepitation and functional test scores of 76%–90%). Only one patient, who received revision surgery, was classified as group C. This patient had a negative subjective evaluation, pain during mild physical activity, complete range of motion, positive Lachman test and a functional test score of

**Table 1** Results of the International Knee Documentation Committee (IKDC) evaluation form

Group	N. of cases
Group A	22
Group B	8
Group C	1
Group D	0

**Tabella 1** Scheda valutazione IKDC

Gruppi	N. casi
Gruppo A	22
Gruppo B	8
Gruppo C	1
Gruppo D	0

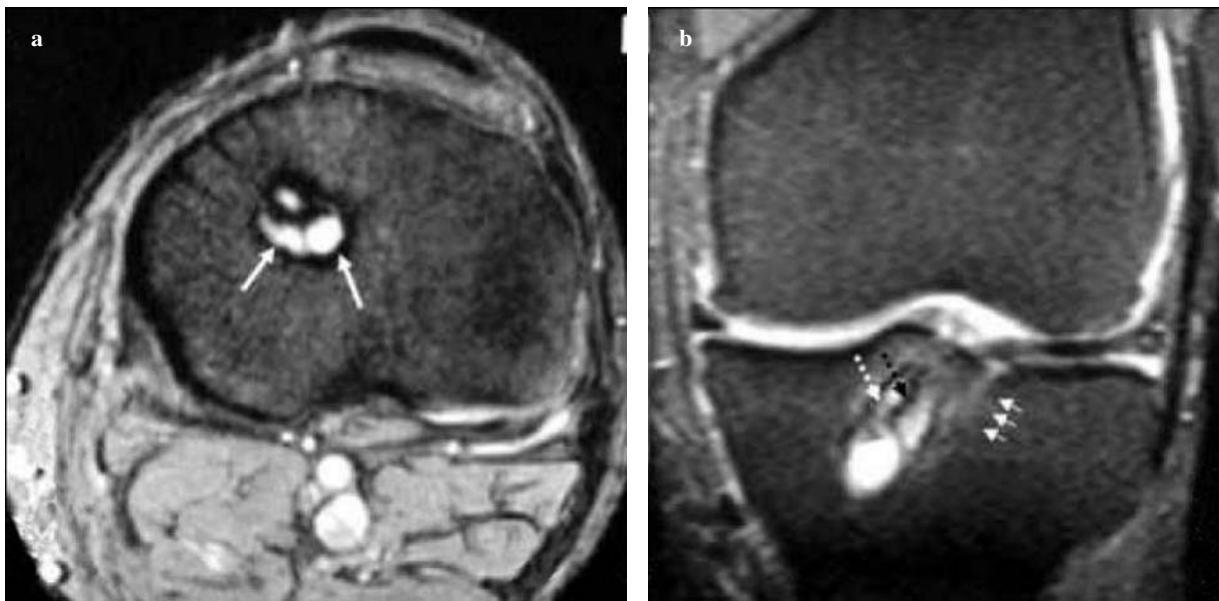
state effettuate sequenze spin-echo (SE) T1-weighted (W) (TR/TE 600/15 ms) sagittali, SE DP-T2W, (TR/TE 2000–2300/20–80 ms) assiali, IR-Fat Sat T2W coronali (TR/TI/TE 1800/110/40 ms) e gradient-echo (GE) T2\*W assiali e sagittali (FLASH TR/FLIP/TE 680–700/35°/18 ms). I parametri considerati per lo studio RM prendevano in considerazione oltre che i processi di guarigione anche quelli di degradazione delle viti BioRCI-HA. Infatti, è necessario che le viti conservino la propria integrità strutturale fino alla integrazione del sistema osso-vite-innesto durante il periodo di stabilizzazione iniziale, periodo che varia a seconda dei tendini utilizzati e che, nel nostro studio, in cui sono stati utilizzati tendini di muscoli gracile e semitendinoso, in accordo con i dati riportati in letteratura, era di 8–12 settimane [8, 9].

I reperti RM considerati, valutati da 3 radiologi esperti separatamente, sono stati i seguenti:

1. Le caratteristiche di segnale e morfologiche della vite (relative alla sua degradazione e alla visualizzazione completa e parziale): segnale omogeneamente iperintenso, segnale disomogeneo, segnale omogeneamente ipointenso.
2. L'artrosinovite: marcata e lieve a seconda che la presenza e l'entità del versamento e della sinovite reattiva fossero estese a tutti i recessi articolari o limitate solo ad alcuni.
3. Gli aspetti dell'osso e del tunnel: presenza di edema, versamento e tessuto di granulazione e fibrotico.
4. I processi di maturazione del neo-legamento: valutati secondo i parametri presenti in letteratura [8–14].

## Risultati

Nella valutazione clinica eseguita utilizzando la scheda IKDC (Tabella 1), 22 pazienti sono rientrati nel gruppo A con valutazione soggettiva media del 90%, con lieve dolore dopo strenua attività fisica, arco di movimento completo, Lachman negativo con il 40% con traslazione di 1–2 mm ed il 60% di 2,5–3,5 mm e test funzionale valutato al 90%–100%. 8 pazienti sono stati riportati nel gruppo B, con evidenza di una valutazione soggettiva media dell'80%, comparsa di disturbi articolari durante moderata attività fisica, arco di movimento completo e test di Lachman negativo con traslazione di 2–3,5 mm, moderati crepitii femoro-rotulei e test funzionale al 76%–90%. Un solo caso, sul quale è stato eseguito un intervento chirurgico di revisione è stato classificato nel gruppo C della scheda IKDC. In questo paziente sono stati riscontrati una valutazione soggettiva negativa, comparsa di dolore durante attività fisica leggera, arco di movimento completo e test di Lachman positivo con un test funzionale al 50%. In nessun caso sono state riscontrate reazioni avverse o complicanze intra e/o post-operatorie.



**Fig. 1a,b** Follow-up at 10 months. Axial T2\*-weighted gradient echo (GE) (**a**) and coronal T2-weighted inversion recovery (IR) (**b**) magnetic resonance (MR) images. A cyst-like formation with highly moisturised content and thin boundary (*arrows*) and effusion are visible inside the tibial tunnel. The bioabsorbable interference screw is hyperintense and surrounded by a thin hypointense wall (*broken arrows*). The IR sequence shows slight bone oedema around the tunnel (*small arrows*).

**Fig. 1a,b** Controllo a 10 mesi. RM assiale GE T2\*W (**a**) e RM coronale IR T2W (**b**). All'interno del tunnel osseo tibiale sono evidenti una formazione simil-cistica, a contenuto fortemente idratato e delimitata da una sottile parete (*frecche*), e del versamento. La VIB è iperintensa e delimitata da una sottile parete ipointensa (*frecche tratteggiate*). Nella sequenza IR (**b**) è evidente un tenue edema osseo peri-tunnel (*frecche piccole*).

50%. No patient had adverse reactions or intra- or postoperative complications. The lack of ferromagnetic artefacts allowed adequate study of the new ligament and evaluation of screw degradation in all cases.

At MRI, the screw-graft-bone tunnel system showed the following signal characteristics: at follow-up after 10–13 months, the screws showed homogeneously high signal intensity, probably due to intrinsic hydration, and were well discernible from the bone tunnel thanks to the low signal intensity of the screw thread that delineated the graft (Figs. 1, 2). At 30–40 months, the BioRCI-HA screws showed heterogeneous signal intensity, which became increasingly hypointense, a finding reflecting late degradation processes and presumably bone apposition (Figs. 3, 4). The screw was surrounded by a rim of hyperintense tissue, ascribable to hydration of the screw itself, and representing a slight effusion and/or fluid produced by early degradation processes; this tissue tended to become hypointense at later follow-up examinations as a result of tissue transformation. All cases showed a reduction in signal intensity at later follow-up examinations ascribable to the presence of fibrous tissue around the screw and likely calcification.

Arthrosynovitis was seen in 20 cases (19 mild and one marked). In two cases, at 10–13 months follow-up, there was slight bone oedema surrounding the tunnel; in 28 cases, there was a small fluid collection in the tunnel around the screw; in three cases, there was a cyst-like

L'assenza di artefatti ferromagnetici ha consentito in tutti i casi uno studio adeguato con RM del neo-legamento nonché una valutazione dei processi di degradazione delle viti.

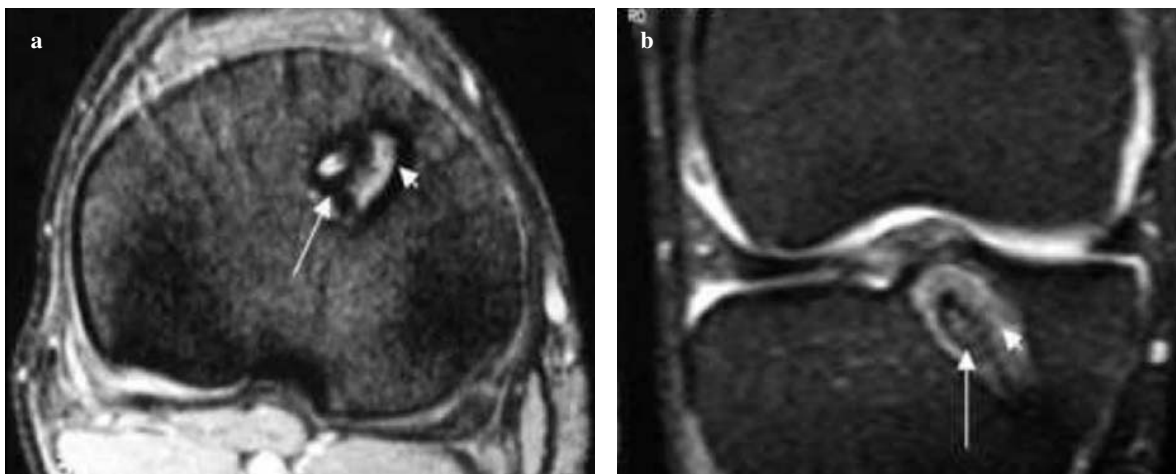
All'esame RM il sistema vite-innesto-tunnel osseo mostrava le seguenti caratteristiche di segnale nel tempo: nei controlli eseguiti dopo 10–13 mesi dall'innesto, la vite presentava segnale omogeneamente iperintenso dovuto probabilmente alla sua intrinseca idratazione, ed era ben distinguibile dal tunnel osseo grazie alla ipointensità evidente a livello della filettatura della vite stessa che generava come un "effetto bordo" del mezzo di sintesi (Figg. 1, 2). Nei controlli effettuati a 30–40 mesi, le viti BioRCI-HA mostravano un segnale disomogeneo, sempre più ipointenso, reperto riferibile ai processi tardivi di degradazione e alla presumibile neoapposizione ossea (Figg. 3, 4). La vite era circondata da un vallo di tessuto inizialmente con segnale iperintenso, attribuibile alla idratazione della vite stessa, rappresentato da sottile falda di versamento e/o da liquido prodotto dagli iniziali processi di degradazione della vite, che diveniva ipointenso nei controlli a distanza come per trasformazione tissutale. In tutti i casi, infatti, è stata anche rilevata una riduzione di segnale nei follow-up più tardivi da imputare alla presenza di tessuto simil-fibrotico intorno alla vite e alla probabile involuzione calcifica dello stesso.

L'artrosinovite è stata riscontrata in 20 casi, in 19 di grado lieve ed in 1 di grado marcato. In 2 casi, nei controlli a breve distanza di tempo dall'intervento chirurgico, era



**Fig. 2a-c** Follow-up at 13 months. Coronal T2-weighted inversion recovery (IR) magnetic resonance (MR) images. The graft fixation cross-pin system at the level of femoral tunnel (a) appears as a linear hypointense structure (arrowhead). The graft (a,b) is more hypointense and homogeneous due to the advanced maturation phase. The bioabsorbable interference screw is still visible (c), shows a more hypointense signal and is surrounded by a thin hyperintense halo interposed between the screw and the tunnel walls (arrows).

**Fig. 2a-c** Controllo a 13 mesi. RM coronale IR T2W. Il sistema cross-pin di fissazione del neo-legamento a livello del tunnel femorale (a) appare come una struttura lineare ipointesa (punta di freccia). Il neo-legamento LCA (a,b) è più ipointenso e omogeneo per una fase di maturazione più avanzata. La VIB è ancora evidente (c), presenta un segnale maggiormente ipointenso ed è circondata da un sottile alone iperintenso che si interpone alle pareti del tunnel (freccie).

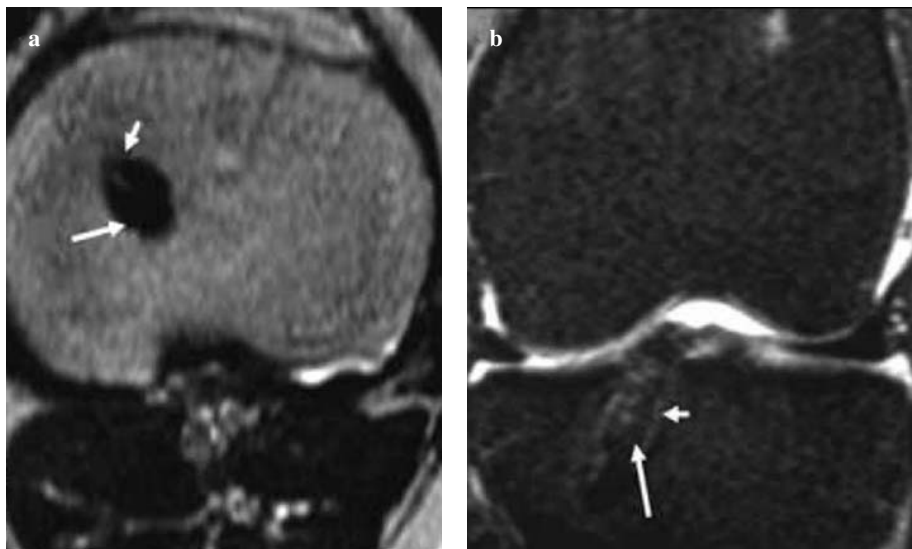


**Fig. 3a,b** Follow-up at 13 months. Axial T2\*weighted gradient echo (GE) (a) and coronal T2-weighted inversion recovery (IR) (b) magnetic resonance (MR) images. The bioabsorbable interference screw (arrows) and the cyst-like tissue (arrowheads) show a progressively more hypointense signal due to dehydration, fibrotic-like transformation and initial bone apposition.

**Fig. 3a,b** Controllo a 13 mesi. RM assiale GE T2\*W (a) e coronale IR T2W (b). La VIB (freccie) e il tessuto simil-cistico (punte di freccia) presentano un segnale progressivamente più ipointenso da disidratazione, trasformazione similfibrotica ed iniziale apposizione ossea.

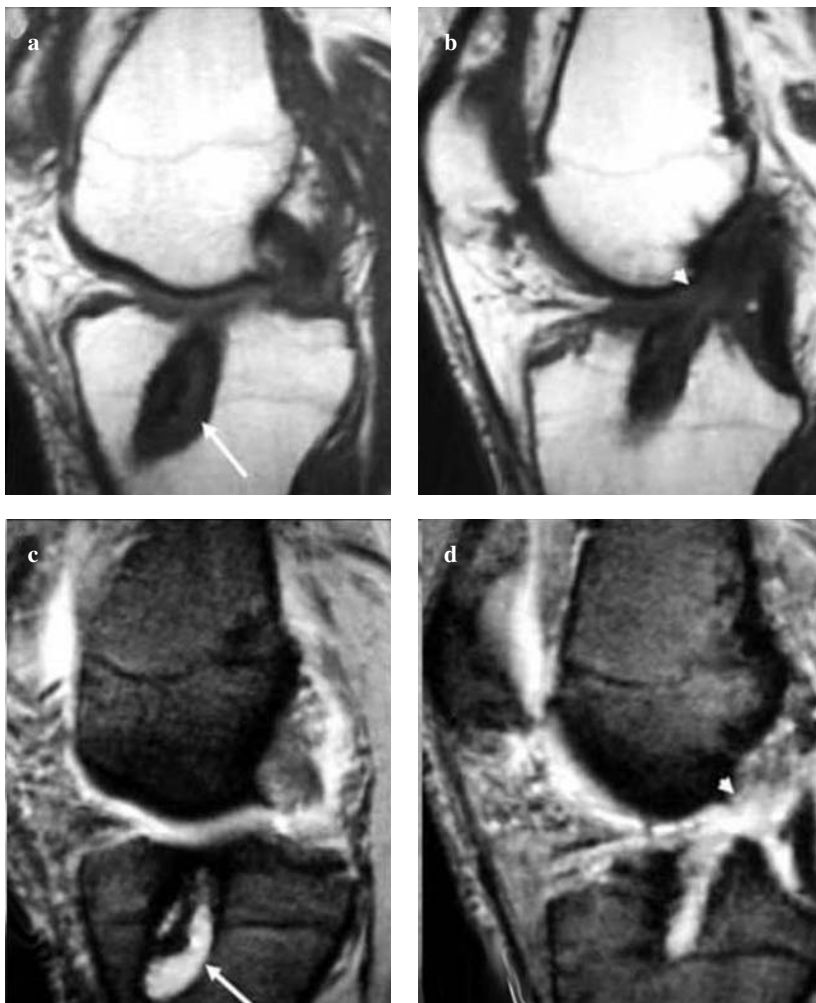
formation with frankly fluid signal intensity in two cases (Figs. 1, 5a-c) and with the appearance of granulation tissue at 10–13 months and of fibrous tissue at 30–40 months in one case. The tunnel walls were constantly thin and sclerotic, appearing as thin, low-intensity bands with regular margins. At 10–13 months, the new ligament showed correct alignment and intra-articular course but appeared widened and with inhomogeneous signal intensity – more evident on the T2-weighted images that revealed areas of diffuse hyperintensity representing oedema and revascular-

presente un tenue edema osseo peri-tunnel; in 28 casi all'interno del tunnel era presente una sottile falda liquida intorno alla vite; in 3 casi era presente una formazione simil-cistica di cui in 2 casi con contenuto di segnale francamente liquido (Fig. 1, 5a-c), e in 1 caso con aspetto di tessuto di granulazione nei controlli più recenti e simil-fibrotico nei controlli a distanza. Le pareti del tunnel sono apparse sempre sottili e sclerotiche, come sottili bande ipointense e a margini regolari. Il neolegamento, nei controlli a 10 mesi, mostrava allineamento e decorso intra-



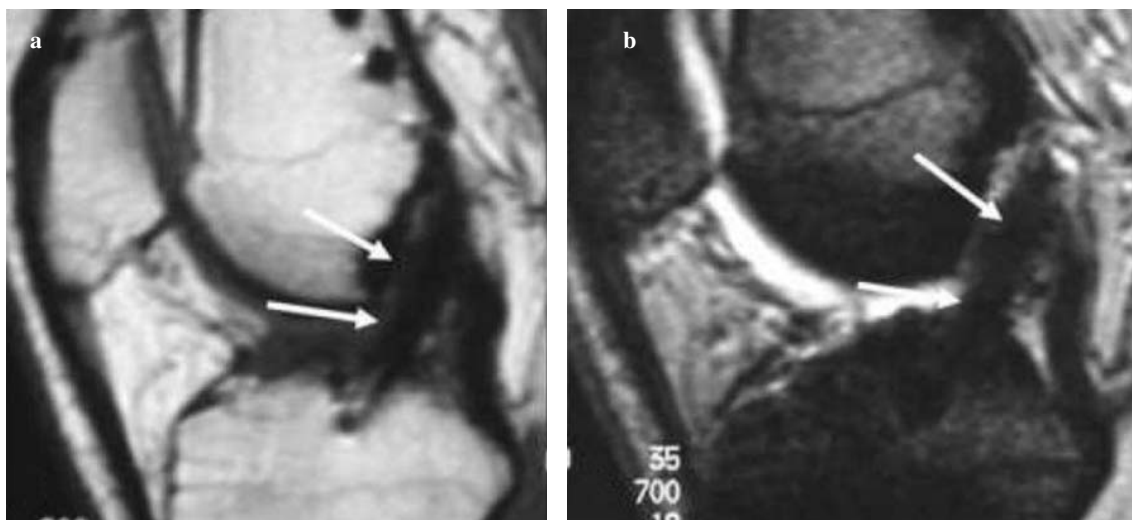
**Fig. 4a,b** Follow-up at 30 months. Axial T2-weighted spin echo (SE) (a) and coronal T2-weighted inversion recovery (IR) (b) magnetic resonance (MR) images. The bioabsorbable interference screw (a,b) is almost completely hypointense (arrows) and is surrounded by a thin isointense halo (b) (small arrows).

**Fig. 4a,b** Controllo a 30 mesi. RM assiale SE T2W (a). RM coronale IR T2W (b). La VIB (a,b) è quasi completamente ipointensa (freccie) ed è circondata da un sottile alone isointenso (b) (freccie piccole).



**Fig. 5a-d** Follow-up at 10 months. Sagittal T1-weighted spin echo (SE) (a,b) and T2\*-weighted gradient echo (GE) (c,d) magnetic resonance (MR) images. The sagittal scans of the same patient as in Fig. 1 confirm the presence of the cyst-like formation (arrows) and show a widened, inhomogeneous graft surrounded by synovial reaction during an early stage of the synovialisation process (arrowheads).

**Fig. 5a-d** Controllo a 10 mesi. RM sagittale SE T1W (a,b) e GE T2\*W (c,d). Le scansioni sul piano sagittale nello stesso paziente della Fig. 1 confermano la presenza della formazione simil-cistica (freccie) e dimostrano il neo-legamento LCA slargato, disomogeneo e inglobato da reazione sinoviale in una fase precoce del processo di sinovializzazione (punte di freccia).



**Fig. 6a,b** Follow-up at 30 months. Sagittal T1-weighted spin echo (SE) (a) and T2\*-weighted gradient echo (GE) (b) magnetic resonance (MR) images. The graft is hypointense, homogeneous and with regular morphology and intra-articular course due to completion of the “ligamentisation” process (arrows).

**Fig. 6a,b** Controllo a 30 mesi. RM Sagittale SE T1W (a) e GE T2\*W (b). Il neo-legamento LCA è ipointenso, omogeneo e di morfologia e decorso intra-articolare regolari per il completamento del processo di legamentizzazione (freccie).

isation (Fig. 5c,d). This process is related to progressive intrinsic revascularisation that starts at the periphery, with vascular branches originating from the synovial membrane and extending to the central portion of the new ligament [11–14]. At follow-up after 30–40 months, the new ligament showed homogeneously low signal intensity, reflecting completion of the synovial maturation processes (“ligamentisation”) (Fig. 6).

Analysis of MRI results revealed signal (Table 2) abnormalities at 10–13 months (Figs. 1, 5), which tended to become increasingly less evident over time and were likely related to physiological healing and bone–graft–screw integration processes. These included arthrosynovitis, bone oedema around the tunnel, bone-tunnel effusion and cyst-like tissue and, at later follow-up, fibrous tissue around the screw and a more hypointense signal of the screw as a result of continuing osteointegration processes (Figs. 2, 3). These findings were never observed at follow-up after 30–40 months (Figs. 4, 6). The BioRCI-HA screw was always identified in all patients, even after 30–40 months.

## Discussion

ACL injuries are very frequent in sports enthusiasts, with an estimated incidence of more than 100,000 /year among skiers in the USA and France [15–18]. Postoperative radiological assessment is a common request from orthopaedic surgeons, and radiologists are increasingly being asked to evaluate surgical outcome and assess graft integration [19–21].

articolare corretti, ma appariva slargato e con intensità di segnale disomogenea, meglio evidente nelle sequenze T2 dipendenti che mostrano al suo interno aree di diffusa iperintensità, riferibili a fenomeni di edema e rivascolarizzazione (Fig. 5c,d); Tale processo è infatti legato a una progressiva rivascolarizzazione intrinseca, che inizia alla periferia, con ramificazioni vascolari a partenza dalla membrana sinoviale, che interessano successivamente la porzione centrale del neo-legamento [11–14]. In quelli effettuati dopo 30/40 mesi dall'intervento chirurgico il neolegamento presentava bassa ed omogenea intensità di segnale come da completamento dei processi di maturazione sinoviale (legamentizzazione) (Fig. 6).

Dall'analisi dei risultati RM è emerso che nei controlli a 10–13 mesi (Figg. 1, 5) erano presenti alterazioni di intensità di segnale (Tabella 2), sempre meno evidenti con il passare del tempo, legati verosimilmente ai fisiologici processi di guarigione ed integrazione osso-innesto-vite: artrosinovite, edema osseo peritunnel, versamento nel tunnel e tessuto similcistico, mentre nei controlli a maggiore distanza di tempo tessuto simil-fibrotico intorno alla vite ed un segnale più ipointenso della vite in relazione al progredire di processi di osteointegrazione (Figg. 2, 3). Nei controlli effettuati dopo 30–40 mesi dall'intervento chirurgico tali reperti non furono riscontrati (Figg. 4, 6). In tutti i pazienti è stata sempre identificata la vite BioRCI-HA, anche nelle valutazioni più tardive.

## Discussione

Le lesioni del legamento crociato anteriore (LCA) sono



**Table 2** Magnetic resonance imaging results

Findings	
Mild arthrosynovitis	19
Severe arthrosynovitis	1
Slight bone oedema around the tunnel	7
Tunnel effusion	28
Tunnel cyst	3
Screw visualisation	31
Fibrous-like tissue around the screw	31

**Tabella 2** Risultati RM

Aspetti	
Artrosinovite lieve	19
Artrosinovite severa	1
Tenue edema osseo peri-tunnel	7
Versamento nel tunnel	28
Cisti nel tunnel	3
Visualizzazione vite	31
Tessuto simil-fibrotico peri-vite	31

MRI is, in fact, the only method able to document, albeit through indirect criteria, the healing of new ligaments [10, 18, 22–25]. However, the presence of metallic screws heavily limited the MRI study because of ferromagnetic artefacts [26, 27]. The use of bioabsorbable devices in orthopaedic implants has considerably increased over the past 10 years. The advantages include gradual resorption and replacement with new bone leading to graft osteointegration, a replacement that does not seem to occur with plain BioRCI screws [28].

In vivo investigations in animal models demonstrated that the screws persisted for years after their surgical role had ended, a finding confirmed by long-term histopathological studies. The first reaction of tissue to the presence of the screw is the sequestration of the implant within new bone during the initial 3 months (stage I). After a period of nonreactivity (stage II), a second tissue reaction is associated with early signs of PLLA degradation at 1 year (stage III). Subsequently, the polymer mass is replaced by avascular fibrous tissue containing macrophages and varying numbers of multinucleated giant cells on the implant surface (stage IV). After 3 years, much of the polymer is still present, although in isolated fragments [29]. One study performed with CT and standard radiography on patients who had undergone ACL reconstruction with patellar tendon and PLLA bioabsorbable screws reported no evidence of screw remnants 7 years after surgery [28].

The mechanism for absorption of the PLLA screw is essentially that of a 360° degradation of the implant edges,

*molto frequenti negli sportivi con stime che attestano oltre 100000 lesioni/anno solo nella pratica dello sci in USA e in Francia [15–18]. La valutazione radiologica post-operatoria sta divenendo sempre più una richiesta importante da parte del chirurgo ortopedico. Infatti al radiologo viene sempre più richiesta una valutazione del risultato chirurgico e una attenta valutazione dell'attecchimento e integrazione del trapianto [19–21].*

*Al momento infatti non esistono altre metodiche se non la RM in grado di fornire dei criteri sia pure indiretti sulla guarigione del neo-legamento [10, 18, 22–25]. Tuttavia fino a quando venivano utilizzati mezzi di sintesi metallici le valutazioni erano molto limitate dagli artefatti ferromagnetici [26, 27]. L'uso di dispositivi biorassorbibili negli impianti ortopedici ha subito un notevole incremento nell'ultima decade. La loro utilità va ricercata nel riassorbimento graduale e nella loro sostituzione con osso neofornato determinando la cosiddetta osteointegrazione dell'innesto, sostituzione ossea che non sembra verificarsi con le semplici vite ad interferenza biorassorbibili [28].*

*In vivo gli studi sulle vite sono stati possibili su modelli animali in cui è stato possibile verificare la persistenza per anni delle stesse, dopo che la propria funzione chirurgica sia conclusa; questo è confermato da studi istopatologici a lungo termine effettuati su animale. La prima reazione dei tessuti alla presenza della vite è il sequestro dell'impianto all'interno del nuovo osso durante gli iniziali 3 mesi (stadio I). Segue un periodo di non reattività (stadio II) e successivamente una seconda reazione tissutale associata agli iniziali segni di degradazione del PLLA ad un anno (stadio III). Successivamente, il tessuto polimerico è sostituito da tessuto fibroso avascolare contenente macrofagi e un numero variabile di cellule giganti multinucleate sulla superficie dell'impianto (stadio IV). Dopo 3 anni la maggior parte del polimero è ancora presente, sebbene sottoforma di frammenti isolati [29]. Uno studio effettuato, con valutazioni con TC e radiografie standard, su pazienti sottoposti a ricostruzione di LCA con tendine rotuleo e vite biorassorbibili di PLLA, ha riportato che dopo 7 anni dall'intervento chirurgico non sono più evidenti segni di materiale residuo della vite biorassorbibile [28].*

*Il meccanismo d'assorbimento della vite biorassorbibile di PLLA è essenzialmente quello di una degradazione periferica a 360°; in sostanza la vite si riduce perifericamente nel tempo sostituita da tessuto cicatriziale fibrotico; questo aspetto potrebbe però non favorire nel tempo l'osteointegrazione nella spongiosa. Nelle vite con rinforzo di HA, mentre l'elemento in polilattico è metabolizzato, la parte in HA costituisce uno scheletro che continua nel tempo a mantenere la sua integrità strutturale e quindi a sostenere la compressione dell'innesto. La porosità è utilizzata dagli osteoblasti per la colonizzazione delle vite completando dunque il processo di osteointegrazione [7]. L'introduzione di tali materiali composti da miscele di acidi polimerici cristallini, PLLA ed idrossiapatite, hanno*

which shrink over time and are replaced by fibrous scar tissue; this aspect may, however, hinder osteointegration in the cancellous bone. In screws reinforced with HA, the polylactic component is metabolised, whereas the HA portion constitutes a scaffold that retains its structural integrity and continues to support compression of the graft. Porosity favours screw colonisation by osteoblasts and thus the osteointegration process [7]. The introduction of composite materials consisting of crystalline polymeric acids, PLLA and HA, has increased the reliability of bioabsorbable materials.

Principal MRI findings in evaluation of the integration and degradation of the BioRCI-HA screws were:

- Signal intensity and morphological features of the screw (relating to degradation and complete or partial visualisation)
- Articular inflammatory reaction processes (arthrosynovitis), bone and tunnel aspects: presence of oedema, effusion, cysts and granulation and fibrous tissue
- Maturation processes of the new ligament.

Arthrosynovitis and joint effusion were more frequent at follow-up after 10–13 months. They may be related to the first three stages of screw degradation [29] and as such are normal findings, reflecting the physiological response to surgery and the introduction of a foreign body. Cancellous bone oedema around the tunnel is a reaction to a surgical insult, such as thermal necrosis, rather than a specific reaction to the bioabsorbable screw [30]. The absence of cancellous bone oedema at 30–40 months may be explained by the rapid healing of the bone–tendon/new ligament interface. MRI is highly sensitive for demonstrating bone marrow oedema, and the healing is confirmed by the absence of high signal intensity in the cancellous bone around the tunnel on high-contrast images [10].

With regard to the presence of cyst-like formations in the tunnel, seen in only three cases in our series, we can state that they were the result of pressure and gravity forces causing the effusion to be arranged into more-or-less circumscribed fluid collections. Previous studies have reported the appearance of tibial cysts 8 months after surgery with BioRCI screws, but such cysts were also observed with the use of metallic osteosynthesis devices [31, 32]. In our study, these cyst-like masses had sharp margins at 10–13 months and hazy margins at later follow-up studies, and they initially contained hyperintense, “hydrated” tissue on T2-weighted images, accounted for by the product of screw hydrolysis; at 30–40 months, the tissue had fibrous-like signal intensity probably due to dehydration. We hypothesise that screw degradation is responsible for effusion due to leakage of biodegradable material that subsequently becomes organised into cyst-like formations in which there is calcium precipitation and subsequent bone remodelling. The literature also reports cases of cystic

*reso i sistemi biorassorbibili più affidabili.*

*Gli elementi semeiologici RM di maggiore rilievo nella valutazione dei processi di integrazione e degradazione delle viti BioRCI-HA da noi considerati sono stati:*

- *le caratteristiche di segnale e morfologiche della vite (relative alla sua degradazione e alla visualizzazione completa e parziale);*
- *i processi flogistico-reattivi articolari (artrosinovite) gli aspetti dell'osso e del tunnel: presenza di edema, versamento, cisti e tessuto di granulazione e fibrotico;*
- *i processi di maturazione del neolegamento.*

*L'artrosinovite e il versamento articolare sono stati maggiori nei casi con follow-up più ravvicinato e potrebbero essere legati ai primi tre stadi di degradazione delle viti [29] risultando quindi normali reperti dovuti alla fisiologica risposta dell'organismo all'intervento chirurgico e all'introduzione della vite quale corpo estraneo. L'edema osseo intra-spongioso peri-tunnel è riconducibile ad una reazione all'insulto chirurgico come necrosi termica oltre che ad una eventuale associata reazione specifica alla vite biorassorbibile [30]. L'assenza dello stesso, nei controlli effettuati a maggiore distanza di tempo, ha come possibile spiegazione una rapida guarigione dell'interfaccia osso-tendine/neo-legamento e la RM è altamente sensibile nella dimostrazione dell'edema midollare, confermata dalla assenza di iperintensità del segnale nelle immagini ad alto contrasto che consentono di dimostrare l'assenza di iperintensità del segnale della spongiosa adiacente al tunnel [10].*

*In merito alla presenza di formazioni “simil-cistiche” all'interno del tunnel, da noi riscontrate in soli 3 casi, possiamo dire che le prime non sono altro che il risultato di forze di pressione e di gravità che rendono conto della disposizione del versamento in raccolte più o meno circoscritte. In letteratura è stata descritta la comparsa di una cisti tibiale dopo 8 mesi dall'intervento chirurgico con VIB ma tali fenomeni sono stati osservati anche quando erano utilizzati mezzi di sintesi metallica [31, 32]. Nel nostro studio tali formazioni avevano margini netti nei controlli effettuati a breve distanza di tempo, mentre erano più sfumati nei controlli a maggiore distanza di tempo, e contenevano all'inizio un tessuto iperintenso nelle immagini T2W, “idratato”, riferibile al prodotto d'idrolisi della vite; nei controlli a lunga distanza tale tessuto mostrava segnale simil-fibrotico probabilmente per un processo di disidratazione. Noi avanziamo l'ipotesi di una degradazione della vite che è responsabile della presenza del versamento per stravasamento del materiale biodegradabile che successivamente si organizza in formazioni cistiche nelle quali si ha precipitazione di calcio e successivo rimodellamento osseo. In letteratura sono state riportate anche formazioni cistiche peri-tunnel, la cui natura è stata ricondotta a gangli intraossei, da considerare reperti occasionali, probabilmente preesistenti, e di nessun significato clinico [30, 33].*

*In tutti i pazienti è stata sempre identificata la vite BioRCI-HA, anche nel follow-up più tardivo, con segnale*

formations around the tunnel, which are thought to represent intraosseous ganglia, and probably preexisting incidental findings of no clinical significance [30, 33].

The BioRCI-HA screw was always identified in all patients, even at later follow-up examinations, with a signal that became more hypointense the longer the time between surgery and MRI follow-up. This hypointensity could be ascribed to bone apposition promoted by HA and progressive calcification of the fibrous tissue formed around the screw during the initial degradation stage.

With regard to implant appearance, we found, in agreement with Amiel et al. and Howell et al. [23, 24], that the new ligament had different MRI signal characteristics at the different stages of synovial maturation. Synovial maturation, which results from activation of synovial fibroblasts, transforms the tendon tissue by altering the structure of collagen fibres and producing neoangiogenesis, until the implant matrix shows similar histological and biochemical characteristics to the fibrous tissue of the healthy cruciate ligament. On MRI, this is reflected in a progressive change of signal intensity over time, with three main phases: (1) periligamentous proliferation phase, where T1-weighted SE images reveal a central portion of hypointensity and a concentric peripheral portion of fibroblastic proliferation with marked signal hyperintensity; (2) intraligament proliferation phase, where T1-weighted SE images show the synovial maturation phenomena to extend the central portion of the graft, which has stronger signal intensity and a more inhomogeneous appearance; (3) final maturation, in which the mature implant displays low signal intensity similar to the healthy ligament [10].

The new ACL in our study appeared irregular and inhomogeneous at 10 months and showed regular course and homogeneous signal at 30–40 months, probably as a result of complete synovialisation of the gracilis and semitendinosus tendons.

## Conclusions

BioRCI screws composed of PLLA blended with HA represent a valuable alternative to metallic interference screws. Effusion within the tunnel and cyst-like and fibrous-like tissue should not be considered adverse reactions to the bioabsorbable screw but normal findings during the initial period of integration of the screw–bone–graft system and screw degradation, which explains why none of these findings are detected at later MRI follow-up examinations (30–40 months).

In addition to greater primary stability and superior osteoconduction due to the presence of HA, which promotes new bone apposition [34, 35], another advantage of the use BioRCI-HA screws is related to the basic pH of HA and its

*che diveniva sempre più ipointenso con l'aumentare del tempo che intercorreva tra intervento chirurgico e follow-up radiologico con RM. Tale ipointensità potrebbe essere riferita alla neoapposizione ossea favorita dall'idrossiapatite e dalla progressiva calcificazione del tessuto fibrotico costituitosi intorno alla vite nell'iniziale periodo di degradazione della stessa.*

*Per quanto concerne l'aspetto del trapianto, nella nostra esperienza, come anche riportato da Amiel e Howell [23, 24], il neolegamento ha mutato nel tempo le caratteristiche del segnale RM in accordo con il procedere dei processi di maturazione sinoviale. Tale fenomeno dovuto all'attivazione dei fibroblasti sinoviali trasforma il tessuto tendineo modificando la struttura delle fibrille collagene, producendo una neo-angiogenesi, sino a che la matrice del trapianto assume caratteristiche strutturali istologiche e biochimiche molto simili al tessuto fibroso del legamento crociato sano. Alla RM si assiste ad una progressiva modifica dell'intensità del segnale nel tempo con tre fasi principali che sono state suddivise in: 1) fase della proliferazione peri-legamentosa, in cui il trapianto nelle immagini SE T1 pesate mostra una porzione centrale a bassa intensità di segnale e una porzione periferica concentrica di proliferazione fibroblastica con marcata iperintensità del segnale, 2) fase della proliferazione intra-legamentosa in cui, sempre nelle immagini SE T1 pesate, i fenomeni di maturazione sinoviale si estendono anche alla porzione centrale del trapianto che assume così alla RM maggiore intensità del segnale e aspetto più disomogeneo, 3) fase della maturazione definitiva in cui il trapianto maturo recupera bassa intensità del segnale simile a quella del legamento sano [10].*

*Il neo-LCA nel nostro studio appariva infatti, irregolare e disomogeneo nei controlli più ravvicinati (a 10 mesi); nei controlli effettuati a 30–40 mesi dall'intervento chirurgico mostrava regolare decorso e segnale omogeneo verosimilmente per il completamento del processo di sinovializzazione dei tendini gracile e semitendinoso.*

## Conclusioni

*Le viti ad interferenza biorassorbibili composte da acidi polilattici in configurazione levogira (PLLA) in miscela con idrossiapatite (HA) costituiscono una valida alternativa ai mezzi di sintesi metallici. Il versamento nel tunnel, il tessuto simil-cistico e quello simil-fibrotico non devono essere considerati una reazione avversa alla vite biorassorbibile ma normali reperti durante il periodo iniziale di integrazione del sistema vite-osso-innesto e di degradazione delle viti motivo per cui nessuno di tali reperti è più visualizzabile nei controlli RM a maggiore distanza di tempo (30–40 mesi).*

*Oltre ad una maggiore stabilità primaria ed una superiore osteoconduttività dovuta alla presenza di HA che ne garantirebbe una reale neoapposizione ossea [34, 35]. Un ulteriore vantaggio nell'utilizzo delle viti BiorCi-HA sarebbe legato al pH basico della HA stessa e quindi alla*

ability to neutralise the acidic pH of the synovial fluid, thereby decreasing its aggressiveness and the risk of complications. BioRCI-HA screws do not give rise to ferromagnetic artefacts and are thus suitable for follow-up with MRI.

MRI findings of the absence of oedema or possible hypertrophic synovial reactions around the tendons, and the morphology, thickness and signal intensity of the new ligament, will reassure both the surgeon and the patient, as they reflect normal progression that is free of complications [10].

*sua capacità di svolgere un'azione di neutralizzazione del pH acido del liquido sinoviale riducendone la sua aggressività e la possibilità del verificarsi di complicanze. Prive di artefatti di suscettività ferromagnetica, le viti BioRCI-HA consentono, inoltre, un adeguato follow-up con RM.*

*L'assenza di edema e di eventuali reazioni sinoviali ipertrofiche peri-tendinee a distanza di tempo, morfologia, spessore e segnale del neolegamento, sono infatti dati ottenibili solo dallo studio RM che tranquillizzano sia l'operatore che l'operato, testimoniando una progressione normale e scevra da complicanze [10].*

**Conflict of interest statement** The authors declare that they have no conflict of interest to the publication of this article.

## References/Bibliografia

- Kurosaka M, Yoshiya S, Andrich JT (1987) A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 15:225–229
- Lambert KL (1994) Vascularized patellar tendon graft with rigid internal fixation for anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop* 172:85–90
- Ambrose CG, Clanton TO (2004) Bioabsorbable implants: review of clinical experience in orthopedic surgery. *Ann Biomed Eng* 32:171–177
- Kousa P, Järvinen TLN, Pohjonen T et al (1995) Fixation strength of a biodegradable screw in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Br* 77:901–905
- Lajtai G, Humer K, Aitzetmüller G et al (1999) Results of reconstruction of anterior cruciate ligament ruptures: use of resorbable interference screws minimum follow-up of 2.5 years. *Unfallchirurg* 102:35–42
- Johnson LL, VanDick GE (1996) Metal and biodegradable interference screws: comparison of failure strength. *Arthroscopy* 12:452–456
- Weiler A, Hoffmann RF, Stähelin AC, Helling HJ, Südkamp NP (2000) Biodegradable implants in sports medicine: the biological base. *Arthroscopy* 16:305–321
- Cooper DE, Wilson TW (1996) Clinical failure of tibial interference screw fixation after anterior cruciate ligament reconstruction. A report of two cases. *Am J Sports Med* 24:693–697
- Brand J, Weiler A, Caborn DN et al (2000) Graft fixation in cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 28:761–773
- Bellelli A, Ariani E, Pederzini L et al (2002) Valutazione con RM delle ricostruzioni del legamento crociato anteriore con tendine quadricipitale. Esperienza preliminare. *Radiol Med* 103:242–252
- Cassar-Pullicino VN, Mc Call IW, Strover AE et al (1994) MRI of the knee following prosthetic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Radiol* 49:89–99
- Cheung Y, Magee TH, Rosenberg ZS et al (1992) MRI of anterior cruciate ligament reconstruction. *J Comput Assist Tomogr* 16:134–137
- Yamato M, Yamagishi T (1992) MRI of patellar tendon anterior cruciate ligament autografts. *J Comput Assist Tomogr* 16:604–607
- Ginolfi F, Mecca ML, Gatta G et al (2001) La RM nel follow-up degli interventi di sostituzione del LCA di ginocchio: analisi retrospettiva di 54 pazienti. *Radiol Med* 102:205–210
- Maffulli N, Binfield PM, King JB et al (1993) Acute haemarthrosis of the knee in athletes: a prospective study of 106 cases. *J Bone Joint Surg* 75B:945–949
- Mink JH, Reicher MA, Crues JV et al (1993) MRI of the knee. Raven Press, New York
- Zarins B, Adams M (1988) Knee injuries in sports. *New Eng J Med* 318:950–961
- Stoller DW (1997) Magnetic resonance imaging in orthopaedics and sports medicine. Lippincott-Raven, Philadelphia
- Sanchis AV, Martínez-Sanjuan V, Gastaldi-Orquin E (1993) The value of MRI in the evaluation of the ACL deficient knee and in the post-operative evaluation after ACL reconstruction. *Eur J Radiol* 16:126–130
- Galla M, Agneskirchner JD, Lobenhoffer P (2006) Imaging of the postoperative knee. *Imaging Decisions* 1:31–40
- Tuite MJ, De Smet AA (1996) MR of the postoperative knee. *Top Magn Reson Imaging* 8:2–14
- Bellelli A, Adriani E, Margheritini M et al (1999) La maturazione sinoviale dei legamenti crociati ricostruiti. Esperienza personale a confronto negli interventi isolati e nelle ricostruzioni combinate. *Radiol Med* 98:454–461
- Amiel D, Kleiner JB, Roux RD et al (1986) The phenomenon of “ligamentization”: anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon. *J Orthop Res* 4:162–172
- Howell SM, Clark JA, Farley TE (1995) Revascularization of human anterior cruciate ligament graft during the first two years of implantation. *Am J Sports Med* 23:42–49
- De Paulis F, Puddu G (1996) Ginocchio. Diagnostica per immagini e inquadramento clinico. Idelson Gnocchi Ed, Napoli
- Bach FD, Carlier RY, Elis JB et al (2002) Anterior cruciate ligament reconstruction with bioabsorbable polyglycolic acid interference screws: MR imaging followup. *Radiologo* 225:541–550

27. Macarini L, Murrone M, Marini S et al (2004) La RM negli interventi di ricostruzione del LCA con viti ad interferenza biorassorbibili in PDLLA: valutazione dei processi di degradazione ed osteointegrazione delle viti biorassorbibili. *Radiol Med* 107:47–57
28. Barber FA, Dockery WD (2006) Long-term absorption of poly-L-lactic acid interference screws. *Arthroscopy* 22:820–826
29. Walton M, Cotton NJ (2007) Long-term in vivo degradation of poly-L-lactide (PLLA) in bone. *J Biomat App* 21:395–411
30. Warden WH, Friedman R, Teresi LM et al (1999) Magnetic resonance imaging of bioabsorbable polylactic acid interference screws during the first 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 15:474–480
31. Martinek V, Friederich NF (1999) Tibial and pretibial cyst formation after anterior cruciate ligament reconstruction with bioabsorbable interference screws fixation. *Arthroscopy* 15:317–320
32. Simonian PT, Wickiewicz TL, O'Brien SJ et al (1998) Pretibial cyst formation after anterior cruciate ligament surgery with soft tissue autografts. *Arthroscopy* 14:215–220
33. McLaren DB, Buckwalter KA, Vahey TN (1992) The prevalence and significance of cyst-like changes at the cruciate ligament attachments in the knee. *Skeletal Radio* 16:267–274
34. Robinson J, Huber C, Colombet P et al (2006) Reduced bone tunnel enlargement post hamstring ACL reconstruction with poly-L-lactic acid/hydroxyapatite bioabsorbable screws. *Knee* 13:127–131
35. Cotton N, Berube N (1994) Enhancement of biocompatibility and degradation properties in a poly-L-lactide/hydroxyapatite blend. In: Elliot JC (ed) *Structure and chemistry of the apatites and other calcium organophosphates, studies in organic chemistry*. Elsevier, Oxford