

## Study of breast implant rupture: MRI versus surgical findings

### *Studio sulle rotture degli impianti protesici mammari: aspetti RM versus reperti chirurgici*

A. Vestito<sup>1</sup> · F.F. Mangieri<sup>1</sup> · A. Ancona<sup>1</sup> · C. Minervini<sup>2</sup> · V. Perchinunno<sup>2</sup> · S. Rinaldi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>U.O.S. di Senologia, U.O.C. di Radiologia, Presidio Ospedaliero San Paolo, Contrada Caposcardicchio, 70123 Bari, Italy

<sup>2</sup>U.O.C. di Chirurgia, Presidio Ospedaliero San Paolo, Contrada Caposcardicchio, 70123 Bari, Italy

Correspondence to: A. Vestito, Tel.: +39-080-5843389, Fax: +39-080-5843500, e-mail: angela\_vestito@libero.it; senologia.sanpaolo@asl.bari.it

Received: 13 April 2011 / Accepted: 3 July 2011 / Published online: 19 March 2012

© Springer-Verlag 2012

#### Abstract

**Purpose.** This study evaluated the role of breast magnetic resonance (MR) imaging in the selective study breast implant integrity.

**Materials and methods.** We retrospectively analysed the signs of breast implant rupture observed at breast MR examinations of 157 implants and determined the sensitivity and specificity of the technique in diagnosing implant rupture by comparing MR data with findings at surgical explantation.

**Results.** The linguine and the salad-oil signs were statistically the most significant signs for diagnosing intracapsular rupture; the presence of siliconomas/seromas outside the capsule and/or in the axillary lymph nodes calls for immediate explantation.

**Conclusions.** In agreement with previous reports, we found a close correlation between imaging signs and findings at explantation. Breast MR imaging can be considered the gold standard in the study of breast implants.

**Keywords** Breast implants · Implant rupture · Silicones · Magnetic resonance imaging

#### Riassunto

**Obiettivo.** Scopo del nostro lavoro è stato quello di valutare il ruolo della risonanza magnetica (RM) mammaria nello studio selettivo dell'integrità degli impianti protesici.

**Materiali e metodi.** È stata eseguita una valutazione retrospettiva dei segni di rottura documentati all'esame RM effettuati su 157 protesi mammarie, al fine di stabilire la sensibilità e specificità nella diagnosi di rottura protesica, confrontando tali dati RM con i reperti riscontrati in sala operatoria dopo la rimozione della protesi stessa.

**Risultati.** Il linguine sign e il salad-oil sign sono risultati i segni statisticamente più significativi nella diagnosi di rottura protesica intracapsulare; la presenza di siliconomi/ sieromi extracapsulari e/o nei linfonodi ascellari impone l'immediato intervento chirurgico di rimozione della protesi rotta.

**Conclusioni.** I dati ottenuti dimostrano, in accordo con la letteratura, una corrispondenza tra i segni dell'imaging e i reperti chirurgici, confermando il ruolo di gold standard della RM nello studio delle protesi mammarie.

**Parole chiave** Impianti protesici · Rottura dell'impianto · Siliconi · Risonanza magnetica

#### Introduction

Breast implants can be used for cosmetic or reconstructive purposes. The first group includes bilateral breast augmentation in the absence of organic defects as well as uni- or

#### Introduzione

Il ricorso al posizionamento di impianti protesici mammari può dipendere da motivi estetici o ricostruttivi. Al primo gruppo appartengono interventi di mastoplastica additiva

bilateral implants for breast hypoplasia or asymmetry. The second group includes all breast reconstruction procedures following quadrantectomy or mastectomy due to cancer. Breast implants are used for cosmetic purposes in 70–80% of cases and for reconstructive purposes in 20–30% [1]. To accommodate the different needs of cosmetic or reconstructive procedures, plastic surgeons can now choose from >240 models of implants that differ in shape (anatomical, rounded, horn-shaped), size, structure (number of lumina), surface of the elastomer silicone shell (smooth or textured) and filler material (silicone fluid or gel, saline solution, vegetable oils) [1]. Breast implants may be subject to wear and tear, displacement or even rupture, which represents the main indication for surgical removal or replacement. In most cases, implant rupture is asymptomatic, with the free silicone remaining within the fibrous capsule surrounding the implant; in this case, the rupture is discovered as an incidental finding at routine breast examination. Very often, clinical changes in the affected breast will raise suspicion of implant coarctation or rupture, and sometimes, even in the absence of clear imaging signs of rupture, patients are referred for surgery. To verify a mammographic, sonographic or clinical (generally self-reported by the patient) suspicion of implant rupture or to assess the state of breast implants that have been in place for at least 10 years, a targeted study of the implants can be provided by magnetic resonance (MR) imaging, a modality considered far superior to mammography and ultrasound owing to its high diagnostic sensitivity and specificity in this setting [2–4]. However, very often, the MR study fails to provide unequivocal signs of rupture, allowing for suspicion only.

The purpose of our study was to assess the prevalence and significance of the different signs of implant rupture identified at MR imaging (diagnostic accuracy of the modality) by verifying in co-operation with the plastic surgeons the state of explanted prostheses after capsule enucleation and opening.

## Materials and methods

We retrospectively reviewed 253 cases of women who had undergone MR examination of breast implants over a 6-year period (1 January 2004 to 31 December 2010) out of a total of 2,243 breast MR scans. All patients had undergone previous clinical and imaging investigations according to age-based protocols. Subsequently, all patients with suspected implant rupture on the basis of clinical assessment or a level-one imaging examination (mammography and/or ultrasound) were referred for breast MR imaging, as were those with implants in place for  $\geq 10$  years. Patient age ranged between 24 and 72 years, with a mean of 46 years. All patients with positive MR imaging associated with suspected

*bilaterale in assenza di difetti organici, così come interventi di protesizzazione mono- o bilaterale a causa di ipoplasia mammaria o di asimmetria volumetrica tra i due lati. Al secondo gruppo appartengono tutti gli interventi di ricostruzione di mammelle sottoposte a quadrantectomia o mastectomia demolitiva a causa di patologie oncologiche. Attualmente si ricorre al posizionamento di protesi mammarie per ragioni estetiche nel 70%–80% dei casi; nel 20%–30% dei casi, invece, l'intervento chirurgico è di tipo ricostruttivo dopo trattamento terapeutico [1]. Per rispondere alle diverse esigenze estetiche o ricostruttive, ad oggi sono a disposizione del chirurgo plastico oltre 240 modelli diversi di protesi mammarie sulla base della forma (anatomica, rotonda, a cornetto), delle dimensioni, della struttura (ovvero al numero delle camere che le costituiscono), della superficie dell'elastomero di silicone (liscia o testurizzata) e dei materiali interni (silicone fluido o gel, soluzione salina, oli vegetali) [1]. Talora le protesi possono andare incontro ad usura, a spostamenti o a vere e proprie rotture che rappresentano la principale indicazione alla loro rimozione chirurgica definitiva o alla loro sostituzione. Il più delle volte le rotture protesiche possono rimanere asintomatiche, in quanto il silicone libero rimane all'interno della capsula fibrosa che circonda la protesi; in tal caso vengono diagnosticate occasionalmente nel corso di esami senologici di routine. Oggi molto spesso è la variazione clinica della mammella protesizzata che dà il sospetto di coarctazione o rottura della protesi e a volte, anche in assenza di chiari segni strumentali di rottura protesica, la paziente viene avviata all'intervento. In caso di sospetto mammo-ecografico di rottura o qualora esista un sospetto clinico rilevato generalmente in maniera autonoma dalla paziente o, infine, nella valutazione dello stato di protesi mammarie impiantate da almeno 10 anni, è fondamentale ricorrere alla RM per lo studio mirato delle protesi, metodica ritenuta di gran lunga superiore alla mammografia (MX) ed ecografia (US) in ragione dell'alta sensibilità e specificità diagnostica in questo campo [2–4]. Molto spesso, però, in corso di esame RM non si hanno segni certi di rottura, bensì di sospetto.*

*Lo scopo e la novità di questo studio, pertanto, è stato quello di valutare la prevalenza e significatività dei vari segni di rottura protesica rilevabili con la RM (pertanto l'accuratezza diagnostica di tale metodica), verificando, in collaborazione con i chirurghi plastici, lo stato delle protesi espianate, dopo enucleazione con capsula ed apertura della stessa.*

## Materiali e metodi

*Sono stati rivalutati in maniera retrospettiva 253 casi di donne sottoposte a studio RM per protesi mammaria*

or positive clinical and/or sonographic diagnosis of rupture were referred for surgery. Data concerning the removed implants were provided by the Department of Plastic Surgery where the patients underwent the procedure. Surgery was performed within 3 months of diagnosis. Clinical, imaging and MR findings of implant rupture for patients treated at another hospital were not taken into consideration. All patients provided informed consent to undergo MR imaging and surgery and to be included in the study.

Breast MR imaging was performed using two 1.5-T devices: (a) Siemens MR imager (Magnetom Symphony Maestro Class, Siemens, Forchheim, Germany), with a dedicated coil for prone breast imaging; (b) Philips MR unit (Aurora Imaging Technology, Paramed Medical System, Philips Healthcare, The Netherlands) specially designed for breast imaging. Breast imaging with the Siemens units involved acquisition of the following sequences:

1. T2 short-tau inversion recovery (STIR) overview (five slices; slice thickness 7 mm; matrix 256×256; field of view (FOV) 320×320 mm<sup>2</sup>; time to repetition (TR) 1,540 ms; time to echo (TE) 68 ms; number of excitations (NEX) 1; time 22 s);
2. axial T2 STIR (24 slices; slice thickness 4; matrix 256×256; FOV 320×320 mm<sup>2</sup>; TR 7,500 ms; TE 70 ms; NEX 1; time 3 min 9 s)
  - a. with selective suppression of the water signal (resonance frequency = 0);
  - b. with selective suppression of the silicone signal (resonance frequency slightly lower than used for fat suppression).

Sequences acquired with the Philips scanner were as follows:

1. T1 gradient echo (GE) (80) Axial Hires (A-P): 64 slices; matrix 285×296; FOV 280×280×140 mm<sup>3</sup> (small), 320×320×150 mm<sup>3</sup> (medium), 360×360×180 mm<sup>3</sup> (large); TR 12.9 ms; TE 5.3 ms; time 4 min 4 s;
2. T1 rotating delivery of excitation off-resonance (RODEO) Axial Hires Silicone Suppressed: 128 slices; matrix 300×280×96; FOV 280×280×140 mm<sup>3</sup> (small), 320×320×150 mm<sup>3</sup> (medium), 360×360×180 mm<sup>3</sup> (large); TR 11.0 ms; TE 4.8 ms; time, 5 min;
3. T1 RODEO Axial Hires Saline Spoiled: 128 slices; matrix 300×280×96; FOV 280×280×40 mm<sup>3</sup> (small), 320×320×150 mm<sup>3</sup> (medium), 360×360×180 mm<sup>3</sup> (large); TR 11.0 ms; TE 4.8 ms; time 5 min.

On the basis of the breast MR findings, three groups were identified (Table 1):

1. Patients with normal implants;
2. Patients with implant wear and tear with no clear signs of rupture, or implants with signs of isolated fibrosis or coarctation with intact walls;
3. Patients with implants with clear signs of rupture, which were further subdivided into:

*eseguite nell'arco di tempo di 6 anni, compreso tra il 01/01/2004 e il 31/12/2010, su un totale di 2243 RM mammarie. Tutte le pazienti sono state preventivamente sottoposte ad indagini clinico-strumentali come da protocollo in ragione dell'età. Successivamente, sono state inviate allo studio con RM mammaria tutte quelle pazienti che erano risultate sospette per rottura di protesi all'indagine clinica o ad un'indagine strumentale di primo livello (MX e/o US) e tutte coloro che avevano impiantato le protesi da oltre 10 anni. L'età delle pazienti era compresa tra 24 anni e i 72 anni, con una media tra tutte le pazienti di 46 anni. Sono state inviate all'intervento tutte le pazienti con RM positiva associata ad almeno un dato di sospetto o positività di rottura clinico e/o ecografico. I dati relativi alle protesi espianate sono stati forniti dalla sezione di chirurgia plastica dell'ospedale, dove le pazienti sono state inviate per l'atto chirurgico. L'intervento è stato effettuato entro 3 mesi dalla diagnosi. Non sono stati presi in considerazione gli esami clinico-strumentali ed RM risultati positivi per rottura protesica, per i quali le pazienti hanno eseguito l'intervento di espianato presso un altro ospedale. Tutte le pazienti hanno firmato il consenso informato sia per l'esame RM che per l'atto chirurgico, nonché il consenso informato all'uso dei propri dati per l'inclusione nello studio.*

*Gli esami di RM mammaria sono stati eseguiti con 2 apparecchiature diverse, entrambe da 1,5 T: a) RM SIEMENS (Magnetom Symphony Maestro Class, Siemens, Forchheim, Germania) con utilizzo di bobina dedicata per la mammella con paziente in posizione prona; b) RM AURORA (Aurora Imaging Technology, Paramed Medical System, Philips Healthcare, Olanda), apparecchiatura progettata e dedicata per lo studio della mammella. Per quanto riguarda la Siemens, le sequenze utilizzate prevedevano:*

1. T2 short tau inversion recovery (STIR) overview [strati 5; spessore di strato 7 mm; matrice 256×256; capo di vista (FOV) 320×320 mm<sup>2</sup>; tempo di ripetizione (TR) 1540 ms; tempo di eco (TE) 68 ms; numero di eccitazioni (NEX) 1; tempo 0 min 22 s];
2. assiale T2 STIR (strati 24; spessore di strato 4; matrice 256×256; FOV 320×320 mm<sup>2</sup>; TR 7500 ms; TE 70 ms; NEX 1; tempo 3 min 09 s):
  - a. con soppressione selettiva del segnale dell'acqua (frequenza di risonanza=0);
  - b. con soppressione selettiva del segnale del silicone (frequenza di risonanza di poco inferiore a quella del grasso).

*Per l'AURORA, invece, si sono usate le seguenti sequenze:*

1. T1 gradiente echo (GE) (80) Axial Hires (A-P): strati 64; matrice 285×296; FOV 280×280×140 mm<sup>3</sup> (piccolo), 320×320×150 mm<sup>3</sup> (medio), 360×360×180 mm<sup>3</sup> (grande); TR 12,9 ms; TE 5,3 ms; tempo 4 min 04 s;

**Table 1** Magnetic resonance imaging findings

Group	MR imaging findings (157 implants)	n
Group 1	Negative	33
Group 2	Isolated fibrosis	9
	Isolated coarctation	1
Group 3	Intracapsular rupture	96
	Isolated extracapsular rupture	3
	Intra-/extracapsular rupture	15
Extracapsular rupture (n=18)	Siliconomas	11
	Seromas	7

MR, magnetic resonance; *Group 1*, normal implants; *Group 2*, implants with alterations caused by wear and tear without clear signs of rupture; *Group 3*, implants with obvious intracapsular and/or extracapsular rupture; *Extracapsular rupture*, siliconomas or seromas

**Tabella 1** Reperti riscontrati all'esame RM

Gruppo	Risultato RM (157 protesi)	n
Gruppo 1	Negativo	33
Gruppo 2	Fibrosi isolata	9
	Coartazione isolata	1
Gruppo 3	Rottura intracapsulare	96
	Rottura extracapsulare isolata	3
	Rottura intra-/extracapsulare	15
Rottura extracapsulare (n=18)	Siliconomi	11
	Sieromi	7

RM, risonanza magnetica; *Gruppo 1*, impianti normali; *Gruppo 2*, impianti con alterazioni da usura senza chiari segni di rottura; *Gruppo 3*, impianti protesici con chiari segni di rottura intracapsulare e/o extracapsulare. È indicato il numero di siliconomi o sieromi individuati nei casi di rottura protesica extracapsulare (totale 18)

- intracapsular ruptures, if the silicone was contained within the fibrous capsule;
- extracapsular ruptures, if the silicone had leaked outside the capsule.

The signs of intracapsular rupture considered at MR imaging were: the linguine sign (including subcapsular lines), the droplet sign, the teardrop and noose (or keyhole) sign, and the salad-oil sign. Patients with clear MR imaging signs of intra- or extracapsular rupture were referred for surgery, as were those with implants in place for  $\geq 10$  years and signs of implant wear and tear. On the basis of the postoperative analysis performed by the plastic surgeons after explanation and opening of the fibrous capsule, the following groups were identified:

- Patients with intact implants;
- Patients with intra- and extracapsular implant rupture.

#### Statistical analysis

MR imaging and postoperative data were analysed using the Fisher exact test and the chi-square test ( $\chi^2$ ) with the Yates correction in order to determine the significance of each MR finding in the diagnosis of implant rupture [0.05 confidence

- T1 RODEO Axial Hires Silicone Suppressed*: strati 128; matrice 300×280×96; FOV 280×280×140 mm<sup>3</sup> (piccolo), 320×320×150 mm<sup>3</sup> (medio), 360×360×180 mm<sup>3</sup> (grande); TR 11,0 ms; TE 4,8 ms; tempo 5 min;
- T1 RODEO Axial Hires Saline Spoiled*: strati 128; matrice 300×280×96; FOV 280×280×140 mm<sup>3</sup> (piccolo), 320×320×150 mm<sup>3</sup> (medio), 360×360×180 mm<sup>3</sup> (grande); TR 11,0 ms; TE 4,8 ms; tempo 5 min.

Dall'analisi delle RM mammarie eseguite, sono stati individuati tre gruppi (Tabella 1):

- impianti normali;
- impianti con alterazioni da usura senza chiari segni di rottura, ovvero impianti con segni di fibrosi isolata o coartazione a pareti integre;
- impianti protesici con chiari segni di rottura, a loro volta distinte in:
  - rotture intracapsulari, se il silicone era contenuto all'interno della capsula fibrosa;
  - rotture extracapsulari, se il silicone era fuoriuscito dalla capsula.

I segni di rottura protesica intracapsulare, in corso di esame RM, presi in considerazione sono i seguenti: linguine sign (incluse le linee subcapsulari), droplet sign,

interval (CI) was considered]. The sensitivity, specificity and diagnostic accuracy of MR in the diagnosis of implant rupture were determined. Statistical analysis was carried out with Statplus 2009 Professional 5.8.4 for Windows.

## Results

Over a 6-year period, from January 2004 to December 2010, we studied 253 women who underwent MR imaging of breast implants. Of these, 167 (66%) had negative results and 86 (34%) had results that were either positive or suggestive for implant rupture, leading to an indication for surgery. The 86 patients with positive or suggestive findings for uni- or bilateral rupture had in 82.6% of cases (n=71) a bilateral implant, and in 17.4% (n=15) a unilateral implant; therefore, the total number of studied and explanted prostheses was 157. It should be noted that in patients with bilateral implants, bilateral explantation and replacement was always performed on aesthetic grounds, even if only one implant was suspected of rupture.

MR findings are reported in Table 1. In particular, of 157 implants, 33 were completely negative at MR (but were explanted because of contralateral rupture), nine showed signs of massive pericapsular fibrosis (Fig. 1), one showed signs of coarctation with no other abnormality of the wall or lumen, 18 showed signs of extracapsular rupture (Figs. 2 and 3) (three isolated and 15 associated with intracapsular abnormalities) and 96 showed signs of isolated intracapsular rupture. Of the 18 cases of extracapsular rupture, seven had pericapsular fluid collections (seromas) and 11 had periprosthetic and/or axillary collections (siliconomas). The signs of intracapsular rupture seen either in isolation or in combination were the linguine sign (including subcapsular lines) (Figs. 2 and 4), the droplet sign (Figs. 1b and 5), the teardrop sign, the noose or keyhole sign (Figs. 1a and 5) and the salad-oil sign (Fig. 6) (Table 2).

Surgical findings (Table 3) showed that 108/157 explanted prostheses were ruptured (104 of which were positive at MR and four negative or showing pericapsular fibrosis), and 49/157 were intact (11 of which were positive and 38 negative at MR imaging). MR study yielded 96% sensitivity, 77% specificity, 90% positive predictive value (PPV), 90% negative predictive value (NPV) and 90% diagnostic accuracy. Among the single signs of intracapsular rupture the linguine sign was the most frequent, seen in 87 of all ruptured implants either in isolation (n = 40) or in combination with some other sign (Fig. 4). The Fisher exact test showed the linguine sign to be one of the statistically significant signs of intracapsular rupture ( $p=0$ , with a 0.05 confidence level). Similarly, the salad-oil sign (Fig. 6), seen either in isolation or combined with the linguine and/or noose signs in 20 cases, proved to be statistically significant in the diagnosis of in-

*teardrop e noose sign (detto anche key-hole sign) e infine salad-oil sign. Sulla base dei reperti RM sono state inviate al chirurgo plastico quelle pazienti cui erano stati rilevati segni franchi di rottura intra- o extracapsulare, ma anche molte di quelle pazienti cui fossero stati presenti segni di usura legati al posizionamento dell'impianto protesico più di 10 anni prima. Dall'analisi post-chirurgica, effettuata dai plastici, dopo l'espianto e relativa apertura della capsula fibrosa, si individuavano i seguenti gruppi:*

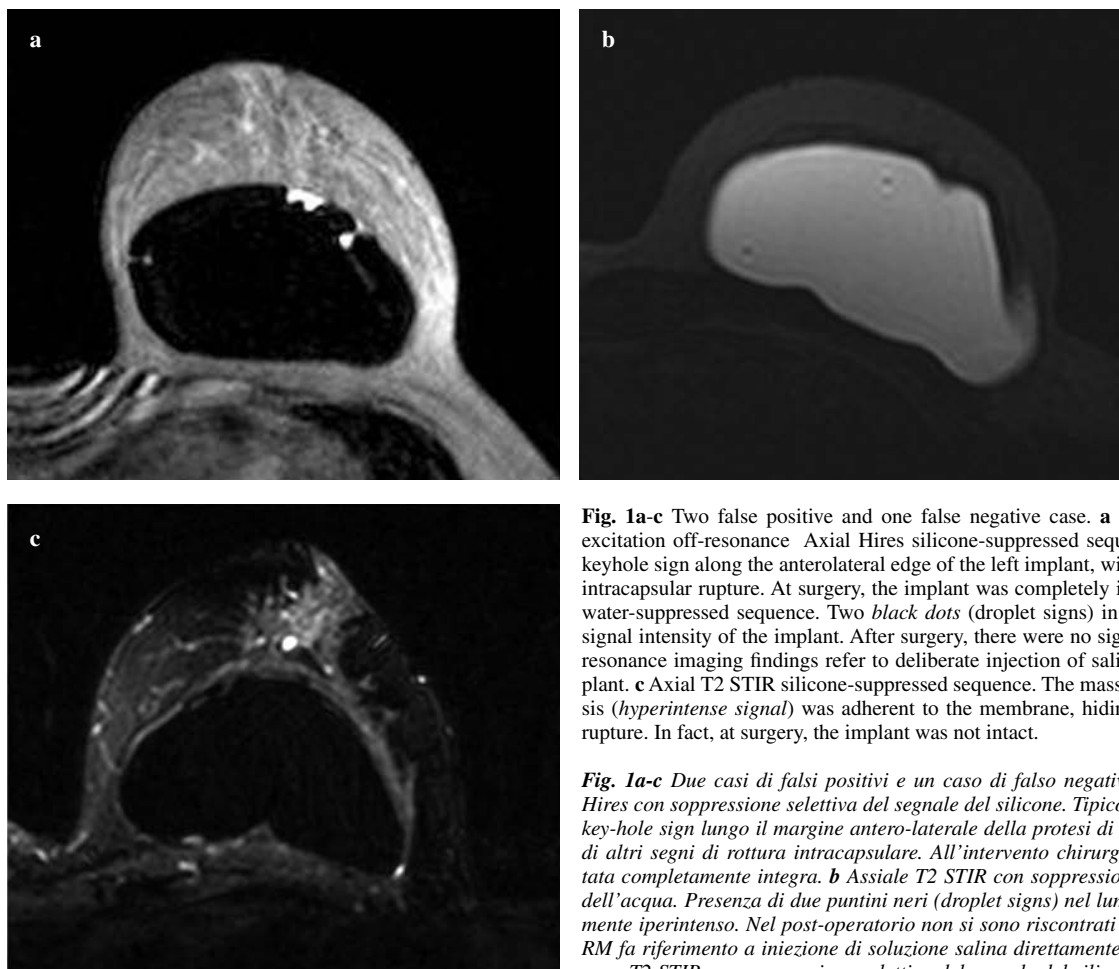
1. *impianti integri;*
2. *rotture protesiche sia intra- che extracapsulari.*

## Analisi statistica

*I dati raccolti, relativi ai reperti RM e quelli riguardanti l'analisi delle protesi, a seguito dell'intervento chirurgico, sono stati sottoposti ad analisi statistica con il test esatto di Fisher e il test del chi-quadro ( $\chi^2$ ) corretto di Yates al fine di determinare la significatività di ciascun aspetto RM nella diagnosi di rottura protesica (è stato considerato un livello di intervallo di confidenza pari a 0,05). Sono state infine determinate le percentuali di sensibilità, specificità e accuratezza diagnostica della RM nella diagnosi di rottura protesica. Per l'analisi statistica è stato utilizzato il software Statplus 2009 Professional 5.8.4 per Windows.*

## Risultati

*In un periodo di 6 anni, compreso tra gennaio 2004 e dicembre 2010, sono abbiamo studiato 253 donne con RM per studio selettivo di protesi, di cui 167 donne (66%) con esami risultati negativi e 86 donne (34%) con esami refertati come positivi o sospetti per rottura protesica con indicazione alle pazienti di intervento chirurgico. Le 86 pazienti con protesi risultate positive o sospette di rottura mono o bilaterale, presentavano nell'82,6% (n=71) un impianto protesico bilaterale e nel 17,4% (n=15) un impianto monolaterale; ne deriva un numero totale di protesi studiate ed espianate pari a 157. Va chiarito che nei casi di protesi bilaterale, anche se il sospetto di rottura era monolaterale, per motivi estetici l'espianto e la sostituzione è stata sempre bilaterale. I reperti RM sono stati classificati nella Tabella 1. In particolare, su 157 protesi 33 risultano completamente negative alla RM (ma espianate poiché era presente una rottura controlaterale), 9 presentano segni di fibrosi massiva pericapsulare (Fig. 1), 1 aspetti di coartazione in assenza di ulteriori alterazioni in corrispondenza della parete o della camera protesica, 18 segni di rottura extracapsulare (Figg. 2 e 3) (di cui 3 isolate e 15 caratterizzate dalla contemporanea presenza di alterazioni intracapsulari) e 96 di rottura intracapsulare isolata.*



**Fig. 1a-c** Two false positive and one false negative case. **a** T1 rotating delivery of excitation off-resonance Axial Hires silicone-suppressed sequence. Typical noose or keyhole sign along the anterolateral edge of the left implant, without any other signs of intracapsular rupture. At surgery, the implant was completely intact. **b** Axial T2 STIR water-suppressed sequence. Two *black dots* (droplet signs) in the homogeneous high signal intensity of the implant. After surgery, there were no signs of rupture; magnetic resonance imaging findings refer to deliberate injection of saline into the silicone implant. **c** Axial T2 STIR silicone-suppressed sequence. The massive periprosthetic fibrosis (*hyperintense signal*) was adherent to the membrane, hiding any signs of implant rupture. In fact, at surgery, the implant was not intact.

**Fig. 1a-c** Due casi di falsi positivi e un caso di falso negativo. **a** T1 RODEO Axial Hires con soppressione selettiva del segnale del silicone. Tipico aspetto RM di noose o key-hole sign lungo il margine antero-laterale della protesi di sinistra, senza evidenza di altri segni di rottura intracapsulare. All'intervento chirurgico tale protesi è risultata completamente integra. **b** Assiale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale dell'acqua. Presenza di due puntini neri (droplet signs) nel lume protesico omogeneamente iperintenso. Nel post-operatorio non si sono riscontrati segni di rottura; il dato RM fa riferimento a iniezione di soluzione salina direttamente nella camera di silicone. **c** T2 STIR con soppressione selettiva del segnale del silicone. L'importante fibrosi peripotesica (iperintensità di segnale) appariva strettamente adesa alla membrana, impedendo la visibilità di eventuali segni di rottura protesica. Infatti all'intervento chirurgico tale protesi non era integra.

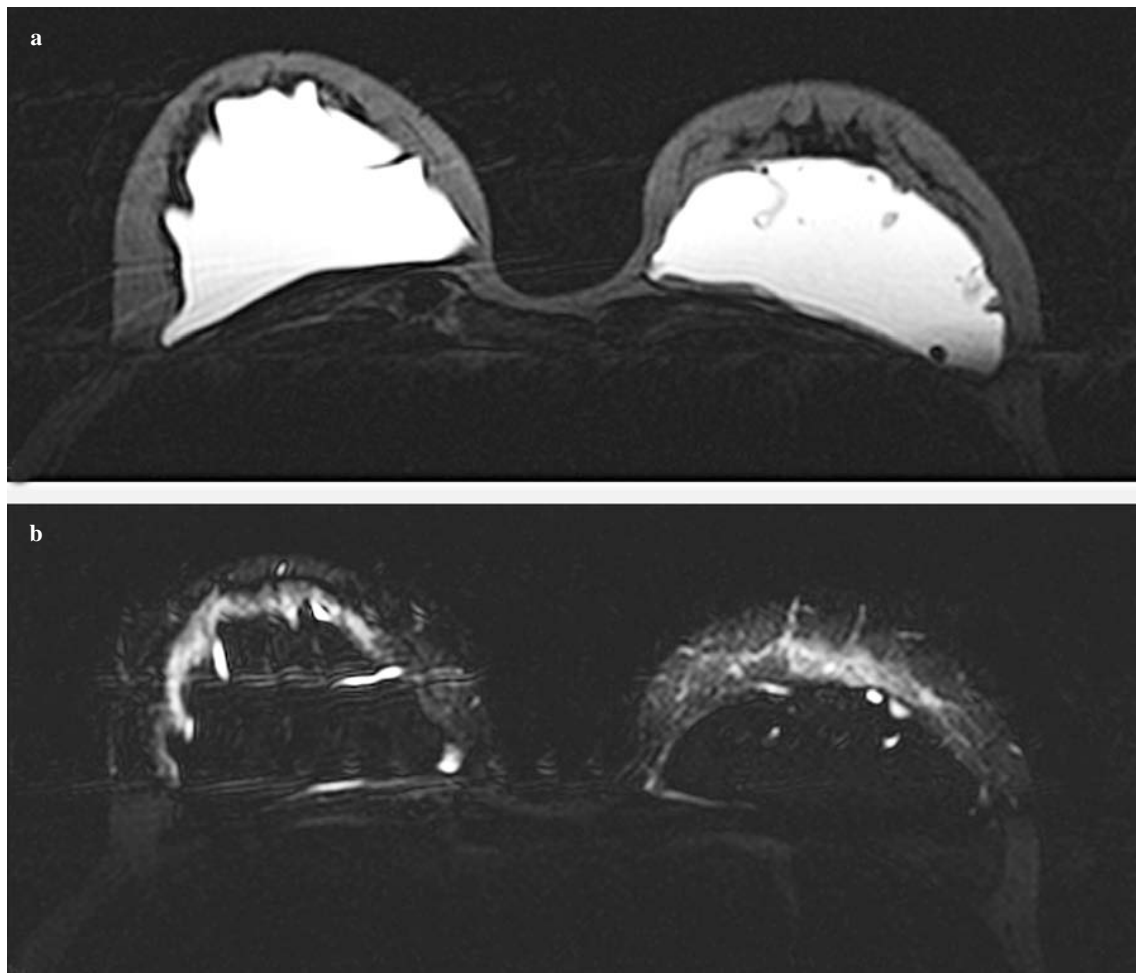
tracapsular implant rupture ( $p=0.0002$ ). Conversely, neither the droplet sign, seen in 13 cases, nor the noose sign, seen in 35 cases, was statistically significant ( $p=0.4411$  and  $p=1$ , respectively) (Figs. 1a,b). As the noose sign was combined with other highly significant signs of rupture in 28/35 cases, the chi-square test with Yates' correction was applied to assess the actual importance of this sign in the diagnosis. The test showed that, in relation to the total number of noose signs detected, the combination of noose sign with other signs is statistically significant ( $\chi^2=16.90$ , with  $p=0$  at 0.05 confidence interval), whereas the level of significance decreases ( $\chi^2=0.45$ , with  $p=0.50$ ) for the noose sign seen in isolation.

## Discussion

The use of MR in the study of suspected implant rupture was introduced at the beginning of the 1990s as a complement to clinical, mammographic and sonographic assessment. Among all the possible complications of breast implants,

Tra i 18 casi di rottura extracapsulare, 7 mostravano raccolte fluide pericapsulari (sieromi) e 11 raccolte in regione peripotesica e/o ascellare (siliconomi). I segni di rottura intracapsulare individuati in maniera isolata o associati tra loro, come riportati nella Tabella 2, sono stati il *linguine sign* (include le linee subcapsulari) (Figg. 2 e 4), *droplet sign* (Figg. 1b e 5), *teardrop* e *noose sign* (detto anche *key-hole sign*) (Figg. 1a e 5) e infine *salad-oil sign* (Figg. 6) (Tabella 2).

Dal riscontro chirurgico (Tabella 3) si evince che, delle 157 protesi espantate, 108 risultavano rotte (di cui 104 positive alla RM e 4 negative o con fibrosi pericapsulare) e 49 integre (di cui 11 RM-positive per rottura e 38 RM-negative). I risultati ottenuti dallo studio degli impianti protesici con RM sono i seguenti: sensibilità pari al 96%, specificità pari al 77% e valore predittivo positivo (VPP), valore predittivo negativo (VPN) e accuratezza diagnostica pari al 90% ciascuna. Dall'analisi dei singoli segni di rottura protesica intracapsulare deriva che il segno delle *linguine* sia quello maggiormente osservato, in particolare

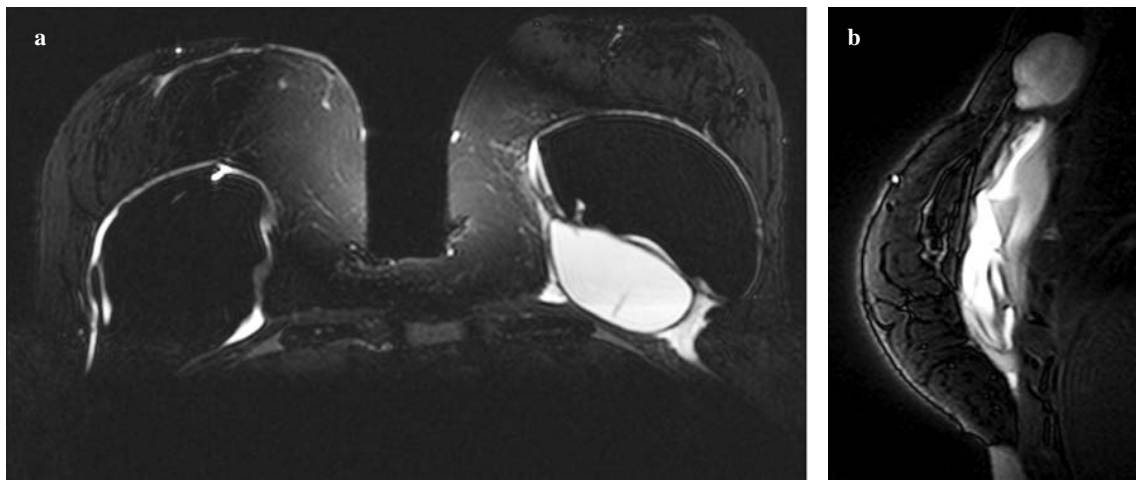


**Fig. 2a,b** Axial T2 short-tau inversion recovery water-suppressed (a) and silicone-suppressed (b) sequences. The typical teardrop sign (variation of the noose sign) is shown along the front edge of the left implant. The droplet sign in the implant lumen, together with the previous teardrop sign, increases the accuracy of magnetic resonance imaging in detecting intracapsular implant rupture.

**Fig. 2a,b** Assiale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale dell'acqua (a) e del silicone (b). Lungo il margine anteriore della protesi sinistra si osserva il tipico segno del tear-drop (variante del noose sign). Nel lume della stessa protesi concomita il droplet sign che, associato al precedente reperto, aumenta la significatività dell'esame RM nella diagnosi di rottura protesica intracapsulare.

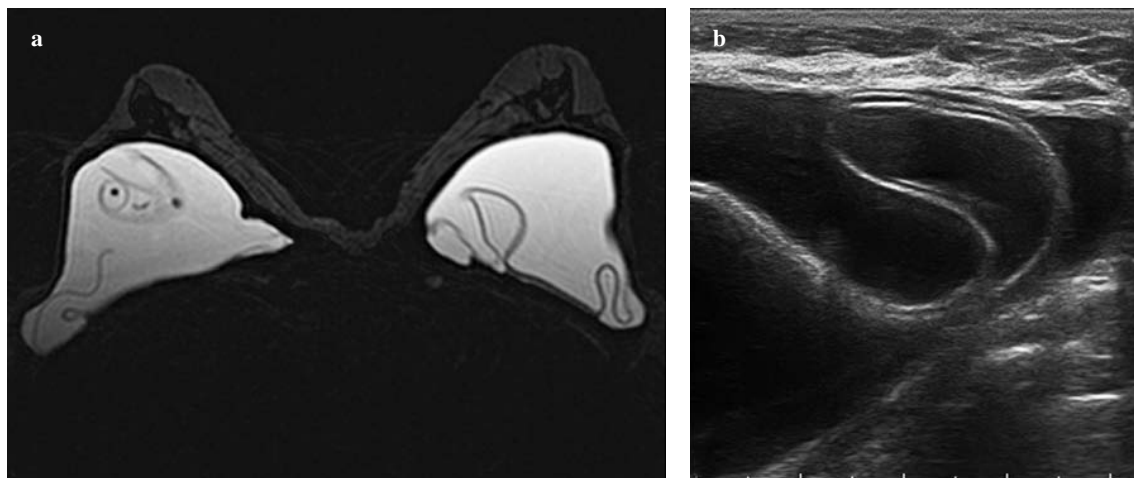
those that occur most frequently are microleakage, leakage and rupture. These are linked to the relative permeability and wear and tear of the implant and may cause changes in breast volume or shape. This may lead to pain, erythema and other possible abnormalities reported by the patient [1]. Establishing a preoperative diagnosis of implant rupture on a clinical basis alone is often very difficult, because the signs and symptoms may be nonspecific, especially when the rupture is confined within the fibrous capsule [5–7]. In this context, it is worth recalling the distinction between prosthetic membrane and fibrous capsule: the former refers to the solid silicone shell that contains silicone gel or saline solution or other material; the latter refers to the histopathological and immune response to a foreign body and appears on all MR sequences as a hypointense line barely discernible from the shell, even though a virtual space exists between them. When there is loss of continuity of the prosthetic membrane

in 87 di tutte le protesi rotte, sia in maniera isolata ( $n=40$ ) sia associato a ad altri segni (Fig. 4). Il segno delle linguine, sulla base del test esatto di Fisher, appare uno dei segni statisticamente significativi di rottura protesica intracapsulare ( $p=0$  con livello di intervallo di confidenza pari a 0,05). Allo stesso modo, il salad-oil sign (Fig. 6), presente in 20 casi, anch'esso in forma isolata o associato a linguine e/o noose sign, risulta essere statisticamente significativo nella diagnosi di rottura protesica intracapsulare ( $p=0,0002$ ). Di contro, il droplet sign evidente in 13 casi, non è risultato significativo ( $p=0,4411$ ), così come il segno del nodo scorsoio presente in 35 casi ( $p=1$ ) (Fig. 1a,b). Poiché il segno del nodo scorsoio in 28/35 casi era associato ad altri segni di rottura protesica altamente significativi, è stato applicato anche il test del Chi-quadro con correzione di Yates per valutare la reale importanza di tale segno nella diagnosi. Da tale valutazione emerge



**Fig. 3a** Axial T2 short-tau inversion recovery silicone-suppressed sequence. Hyperintense capsulated lump beyond the back edge of the left implant (capsulated seroma), without any clear signs of interruption in the membrane and/or capsule. **Sagittal T2 STIR water-suppressed sequence (b).** Signs of intra- and extracapsular rupture causing seroma in the ipsilateral axilla.

**Fig. 3a** Assiale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale del silicone. Raccolta capsulata iperintensa lungo il margine posteriore della protesi sinistra (sieroma capsulato), senza evidenza di chiari segni di interruzione lungo il decorso della membrana e/o capsula. **b** Sagittale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale dell'acqua. Segni di rottura intra- ed extracapsulare con conseguente presenza di sieroma nel prolungamento ascellare omolaterale.



**Fig. 4a** Axial T2 short-tau inversion recovery water-suppressed sequence. The right implant shows a linguine sign as well as a droplet and noose sign. In the left implant, the only sign of intracapsular rupture is the linguine sign, which is clearly stepladder-shaped **(b)** at ultrasound performed prior to magnetic resonance imaging.

**Fig. 4a** Assiale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale dell'acqua. La protesi di destra mostra contemporaneamente linguine, droplet e noose sign; nella protesi di sinistra l'unico segno di rottura intracapsulare è il linguine sign, ben evidente sottoforma di segno dello stepladder all'esame ecografico **(b)** effettuato ancor prima dell'esame RM.

in a single-lumen implant or in one or both membranes of a double-lumen implant, with leakage of silicone gel within the periprosthetic fibrous capsule, the diagnosis is intracapsular rupture. An extracapsular rupture, conversely, is characterised as interruption of the fibrous capsule with consequent migration of silicone and/or saline solution into the surrounding tissues.

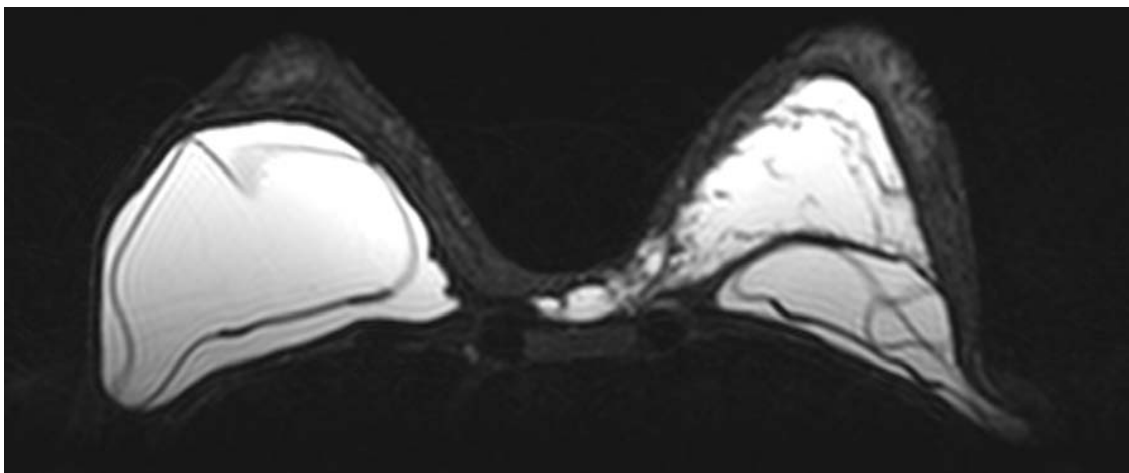
Mammography, ultrasound and MR imaging are all capable of evaluating implant integrity. Each technique has some advantages and limitations, which must be adapted to the

che, in riferimento al numero totale di noose sign presenti, tale aspetto è statisticamente significativo ( $\chi^2=16,90$  con  $p=0$  al livello di intervallo di confidenza di 0,05), mentre in caso di noose sign in assenza di altre alterazioni, la significatività viene meno ( $\chi^2=0,45$  con  $p=0,50$ ).

## Discussione

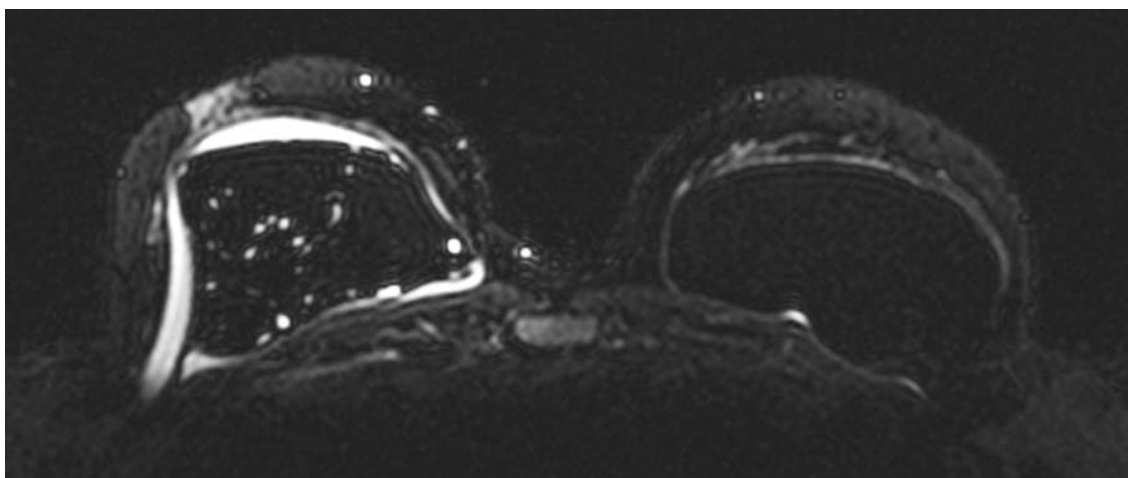
*L'impiego della RM nello studio degli impianti protesici*





**Fig. 5** Axial T2 short-tau inversion recovery water-suppressed sequence. *Left* Intra- and extracapsular implant rupture evident as multiple and multidirectional hypointense folded wavy lines (linguine sign) together with hyperintense siliconomas along the front and medial (retrosternal) edge of the implant. *Right* gel-gel double-lumen silicone breast implant mimicking a linguine sign owing to the presence of a hypointense continuous line running parallel to the fibrous capsule.

**Fig. 5** Assiale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale dell'acqua. A sinistra, rottura protesica intra- ed extracapsulare caratterizzata da multiple linee ipointense ondulate e multidirezionali (linguine signs) associate a raccolta di materiale iperintenso (siliconoma) lungo il margine anteriore e mediale (retrosternale) della protesi stessa. A destra, protesi doppio-lume di gel di silicone che simula il linguine sign per la presenza di una linea ipointensa continua a decorso parallelo alla capsula fibrosa.



**Fig. 6** Axial T2 short-tau inversion recovery silicone-suppressed sequence. Salad-oil sign: typical appearance characterised by multiple hyperintense dots within the hypointense silicone signal, consistent with water or serum mixed in the silicone in the presence of intracapsular rupture.

**Fig. 6** Assiale T2 STIR con soppressione selettiva del segnale del silicone. Salad-oil sign: tipico è l'aspetto caratterizzato da multipli puntini iperintensi nel contesto del segnale ipointenso (soppresso) del silicone, espressione di commistione tra i materiali riempitivi della protesi stessa in caso di rottura intracapsulare.

patient's needs. In patients with breast reconstruction, the diagnostic advantage of conventional imaging is limited in terms of assessing implant complications and detecting possible peri- and/or retroprosthetic disease. Mammography is, in fact, able to depict extracapsular ruptures, but the signs are nonspecific, and the reported sensitivity and specificity values are relatively low (68% and 81%, respectively) [2]. The main limitations of ultrasound are its complex interpretation and consequent reliance on the radiologist's experience; ultrasound has a reported sensitivity of 77%, which is

con sospetta rottura è stato introdotto agli inizi degli anni '90, come completamento dell'iter diagnostico clinico, MX ed US. Tra tutte le possibili complicanze, legate al posizionamento di protesi mammarie, un grosso capitolo per motivi di incidenza è rappresentato da filtrazioni, stravasii e rotture, legati alla permeabilità relativa e all'usura meccanica della protesi stessa, che possono causare modificazione di volume o di forma del seno. Tali situazioni possono essere accompagnate da dolore, eritema e altre possibili anomalie segnalate in primo luogo dalla paziente

**Table 2** Number of cases for each magnetic resonance (MR) sign of intracapsular rupture

Sign of intracapsular rupture	Cases, n
<b>Linguine sign</b>	
Isolated	40 (4) <sup>a</sup>
With droplet	7 (2) <sup>a</sup>
With noose	26
With salad-oil	11
With droplet + noose	1
With noose + salad-oil	1
With coarctation	3
Total	87
<b>Droplet sign</b>	
Isolated	4 (3) <sup>a</sup>
With linguine	7 (2) <sup>a</sup>
With noose	1
With linguine + noose	1
Total	13
<b>Noose sign</b>	
Isolated	7 (1) <sup>a</sup>
With linguine	24
With droplet	1
With salad-oil	1
With linguine + droplet	1
With linguine + salad-oil	1
Total	35
<b>Salad-oil sign</b>	
Isolated	8
With linguine	10
With noose	1
With linguine + noose	1
Total	13
<b>Coarctation</b>	
Isolated	1
With linguine	3
Total	4

<sup>a</sup>Number of false positive cases at surgery

halfway between mammography and MR imaging, but its specificity is the lowest of the three modalities (69%) [2].

MR imaging has higher diagnostic accuracy in assessing implant integrity, with the major advantage that specific sequences can be used to distinguish silicone from the surrounding breast tissue. MR imaging, with its 72–94% sensitivity and 85–100% specificity, is generally considered the modality of choice for this purpose [2–4]. Our retrospective review confirmed the important role of breast MR imaging, which achieved values of 96% sensitivity, 77% specificity and 90% diagnostic accuracy. We observed 11 false positive cases (Table 3), that is, cases of implants found to be intact after surgery but characterised by equivocal findings (n=1) or clear intracapsular rupture (n=10) at MR imaging. The single equivocal case was coarctation of an implant, which did not show any loss of capsular continuity at surgery but only reduction in volume, accounting for changes and irregularities in contour mimicking a possible rupture at MR imaging. This implant contained saline solution only, as do

[1]. Molto spesso è difficile fare diagnosi preoperatoria di rottura protesica con il solo esame clinico, poiché può accadere che segni e sintomi siano aspecifici, specialmente quando la rottura è confinata all'interno della capsula fibrosa [5–7]. Va ricordata a tal proposito la distinzione tra membrana protesica e capsula fibrosa. La prima è rappresentata da un involucro costituito da silicone allo stato solido, che contiene al suo interno gel di silicone o soluzione salina o altri costituenti della camera protesica. La seconda è espressione della reazione istopatologica ed immunitaria dell'organismo ospite all'impianto di un corpo estraneo e in RM appare come una linea ipointensa in tutte le sequenze, non distinguibile dall'involucro protesico, anche se tra loro esiste uno spazio virtuale. Quando c'è perdita di continuità della membrana protesica nella protesi monocamera o di una o entrambe nella bicamera, con successivo stravasamento di gel di silicone non oltre la capsula fibrosa periprotetica, viene denominata rottura intracapsulare. Al contrario, nelle rotture extracapsulari si verifica anche l'interruzione della capsula fibrosa con associata migrazione del silicone e/o soluzione salina nei tessuti limitrofi.

MX, US e RM sono tutte tecniche in grado di valutare l'integrità protesica. Ognuno di questi esami strumentali ha vantaggi e limiti che, di volta in volta, devono essere adattati alle necessità della singola paziente. Nelle pazienti con ricostruzione mammaria, il vantaggio diagnostico delle tecniche convenzionali è limitato, sia in riferimento alla valutazione delle complicanze protesiche, sia alla diagnosi di eventuale patologia in sede peri- e/o retro-protesica. Infatti la MX può visualizzare la rottura extra-capsulare, ma i segni mammografici sono aspecifici. In letteratura infatti si riportano, per la MX, valori di sensibilità e specificità non molto elevati, rispettivamente del 68% e 81% [2]. L'US trova il suo limite in una semeiotica spesso complessa e quindi nell'esperienza del radiologo e presenta in letteratura una sensibilità pari al 77%, valore intermedio tra MX e RM, ma la più bassa specificità tra le 3 tecniche diagnostiche, ovvero del 69% [2].

Lo studio RM possiede, invece, una maggiore accuratezza diagnostica nella valutazione dell'integrità degli impianti protesici, con il grande vantaggio di poter utilizzare sequenze specifiche per la differenziazione del silicone dal circostante tessuto ghiandolare. Dai dati riportati in letteratura, infatti, la RM viene generalmente considerata la tecnica di scelta per la valutazione dell'integrità delle protesi mammarie, avendo una sensibilità del 72%–94% e specificità dell'85%–100% [2–4]. Nel nostro studio retrospettivo è stato confermato il ruolo importante della RM mammaria con valori di sensibilità pari al 96%, specificità del 77% e accuratezza diagnostica del 90%. Sempre riferendoci al nostro lavoro, abbiamo osservato 11 casi di

**Tabella 2** Numero di casi per ciascun segno RM di rottura protesica intracapsulare: *linguine sign*; *droplet sign*; *noose sign*; *salad-oil sign*; *coartazione*

Segno di rottura protesica	Casi, n
<i>Linguine sign</i>	
Isolato	40 (4) <sup>a</sup>
Con <i>droplet</i>	7 (2) <sup>a</sup>
Con <i>noose</i>	26
Con <i>salad-oil</i>	11
Con <i>droplet+noose</i>	1
Con <i>noose+salad-oil</i>	1
Con <i>coartazione</i>	3
Totale	87
<i>Droplet sign</i>	
Isolato	4 (3) <sup>a</sup>
Con <i>linguine</i>	7 (2) <sup>a</sup>
Con <i>noose</i>	1
Con <i>linguine+noose</i>	1
Totale	13
<i>Noose sign</i>	
Isolato	7 (1) <sup>a</sup>
Con <i>linguine</i>	24
Con <i>droplet</i>	1
Con <i>salad-oil</i>	1
Con <i>linguine+droplet</i>	1
Con <i>linguine+salad-oil</i>	1
Totale	35
<i>Salad-oil sign</i>	
Isolato	8
Con <i>linguine</i>	10
Con <i>noose</i>	1
Con <i>linguine+noose</i>	1
Totale	13
<i>Coartazione</i>	
Isolato	1
Con <i>linguine</i>	3
Totale	4

<sup>a</sup>numero di casi risultati falsi positivi al riscontro post-operatorio

the inflatable expanders used in the initial phases of breast reconstruction after radical mastectomy. The remaining false positive cases (n=10) showed isolated linguine sign (n=4), isolated noose/teardrop sign (n=1), isolated droplet sign (n=3) and droplet + linguine signs (n=2). Single signs of implant rupture and the possible reasons for diagnostic error are now described:

The linguine sign and its early variant, known as subcapsular lines [8–11] are defined as hypointense wavy lines within the silicone gel, folded over themselves and often lying more or less parallel to the fibrous capsule [12]. Unlike what is seen in an intact implant, where the membrane and capsule are paired and seen as a single linear image [8], linguine appear as hypointense lines and are due to the silicone shell floating within the fibrous capsule (Figs. 2 and 4). Even though the linguine sign was statistically significant in our study, consistent with data reported in the literature [2], Gorczyca et al. [13] reported 76% sensitivity and 97%

falsi positivi (Tabella 3), ovvero casi di protesi dichiarate integre dopo intervento chirurgico e caratterizzate, invece, alla RM da reperti di dubbio significato (n=1) o di evidente rottura protesica intracapsulare (n=10). L'unico caso refertato come dubbio era quello della coartazione protesica, che al momento dell'espianto non presentava difetti di continuità della capsula, ma semplicemente riduzione del volume del contenuto interno che ha determinato modifiche e irregolarità dei profili protesici all'esame RM, simulando una possibile rottura. In realtà tale protesi presentava soluzione salina come unica componente interna, come si osserva negli espansori gonfiabili utilizzati nelle fasi iniziali di ricostruzione mammaria dopo un intervento di mastectomia demolitiva. I restanti casi falsi positivi (n=10) alla RM mostravano: linguine sign isolato (n=4), noose/teardrop sign isolato (n=1), droplet sign isolato (n=3), droplet+linguine signs (n=2). Di seguito verranno descritti i singoli segni di rottura protesica ed il possibile motivo dell'errore diagnostico.

Il segno delle linguine e la sua variante precoce rappresentata dalle linee subcapsulari [8–11] sono definite come linee ipointense ondulate all'interno del gel di silicone, ripiegate su se stesse e spesso disposte in maniera più o meno parallela alla capsula fibrosa [12]. Contrariamente a quanto si apprezza in una protesi integra, dove membrana e capsula sono appaiate e visibili come unica immagine lineare [8], le linguine appaiono come linee ipointense dovute a membrana di silicone fluttuante all'interno della capsula fibrosa (Figg. 2 e 4). Nonostante il segno delle linguine risulti, nel nostro studio, statisticamente significativo, in accordo con quanto riportato in letteratura [2], Gorczyca et al. [13] hanno descritto una sensibilità del 76% e specificità del 97% per tale segno [14]. Nei 4 casi falsi positivi alla RM in cui abbiamo descritto il linguine sign, questo era dato dalla presenza di pliche radiali complesse o atipiche che mimavano la rottura dell'elastomero di silicone, così come accaduto in altri studi riportati in letteratura [2, 5]. Le pliche radiali sono linee ipointense continue, caratterizzate da un doppio strato, e si estendono dalla superficie dell'impianto verso l'interno con andamento piuttosto perpendicolare, terminando a fondo cieco nel lume e rappresentano un reperto di comune riscontro nelle protesi integre [12]. Le pliche radiali complesse si differenziano dalle precedenti per la loro maggiore lunghezza e per l'andamento spesso multidirezionale e rappresentano un reperto di normalità ma non escludono la possibilità di rottura protesica precoce, specie se associate ad altri segni [12]. Per ridurre errori di interpretazione è utile l'uso di piani ortogonali con uno spessore di strato ridotto o acquisizioni volumetriche con possibilità di ricostruzione multiplanare [5]. Inoltre va specificato che in alcuni casi gli artefatti sulla codifica di fase dovuti a movimenti della paziente possono produr-

**Table 3** Comparison between magnetic resonance (MR) imaging data and findings at explantation

MR imaging data	Findings at explantation (n)		Total (n)
	Rupture	No rupture	
MR positive	104 (TP)	11 (FP)	115
MR negative (or fibrosis)	4 (FN)	38 (TN)	42
Total	108	49	157

TP, true positive; FP, false positive; FN, false negative; TN, true negative

**Tabella 3** Confronto tra dati dell'imaging in risonanza magnetica (RM) e reperti riscontrati in sala operatoria dopo la rimozione protesica

Reperti RM	Reperti chirurgici (n)		Totale (n)
	Rottura	Non rottura	
Positivi	104 (VP)	11 (FP)	115
Negativi (o fibrosi)	4 (FN)	38 (VN)	42
Totale	108	49	157

VP, veri positivi; FP, falsi positivi; FN, falsi negativi; VN, veri negativi

specificity for this sign [14]. In the four MR false positive cases in our study in which the linguine sign was detected, the sign was produced by the presence of complex or atypical radial folds mimicking rupture of the elastomer silicone shell, as reported in previous studies [2, 5]. Radial folds are uninterrupted hypointense lines characterised by a double layer, which extend almost perpendicularly inwards from the implant surface and end blindly inside the lumen. These folds are a common finding in intact implants [12]. Complex radial folds differ from the above in that they are longer and often have a multidirectional course. They represent a normal finding, although the possibility of early implant rupture cannot be excluded, especially when associated with other signs [12]. To limit interpretation errors, the use of orthogonal planes with reduced slice thickness or volumetric acquisitions with multiplanar reconstruction may be helpful [5]. It should be recalled that artefacts due to patient motion may in some cases produce curvilinear hypointense lines within the implant, mimicking the subcapsular lines seen in implant rupture [11]. Among the false positive results, there was one case (n=1) characterised by the presence of a teardrop sign and a noose (or keyhole) sign. These two very similar signs are indicative of possible intracapsular rupture and represent a focal area of shell invagination towards the centre of the implant, with escaped gel being trapped on the outer surface of the implant between the two shell sheets, which may remain separate (noose or keyhole sign) or adhere proximally to the capsule (like a droplet) [9, 11–13, 15]. This finding was statistically significant only when associated with other clear signs of rupture (n=28) (Figs. 5a,b). It was not significant in all cases in which it was the only appreciable sign,

re linee ipointense ricurve all'interno dell'impianto che possono essere confuse con le linee subcapsulari tipiche di rottura protesica [11]. Tra i falsi positivi del nostro studio abbiamo individuato un caso (n=1) caratterizzato dalla presenza di teardrop sign e noose sign (quest'ultimo denominato anche key-hole sign). Questi due segni molto simili sono indicativi di una possibile rottura intracapsulare e rappresentano un'area focale di invaginazione della membrana verso il centro dell'impianto e il gel fuoriuscito rimane intrappolato all'esterno tra i due foglietti della membrana che possono rimanere staccati (nodo scorsoio o buco della serratura) o essere accollati prossimalmente alla capsula (goccia) [9, 11–13, 15]. Tale aspetto è risultato statisticamente significativo nel nostro studio solo quando associato ad altri segni rottura protesica certa (n=28) (Fig. 5), ma non in tutti i casi in cui è stato il solo segno evidente, avendo confermato la possibilità di ottenere dei falsi positivi, come nell'unico caso su 7 da noi studiati (Fig. 1a).

Il droplet sign, caratterizzato da alcune ipointensità puntiformi all'interno del segnale omogeneo del silicone, è espressione di goccioline di acqua/siero mescolate al gel di silicone [12]. Nel nostro studio tale segno non è risultato statisticamente significativo, causando 3/10 falsi positivi per rottura intracapsulare, qualora non associato ad altri segni (Fig. 1b). L'assenza di significatività è stata dimostrata anche da Di Benedetto et al. [2], per cui il droplet sign come reperto isolato non è indicativo di rottura; tuttavia è importante conoscere questo segno come campanello d'allarme nella ricerca di segni sottili di rottura intracapsulare, spesso rappresentati dal segno delle

and it confirmed the risk of leading to false positive results, as in the 1/7 cases we studied (Fig. 1a).

The droplet sign, characterised by dotted hypointensity within the homogeneous signal produced by silicone, reflects the presence of water/serum droplets within the silicone gel [12]. In our experience, this sign was not statistically significant when it was not associated with other signs (Fig. 1b), accounting for 3/10 false positive findings of intracapsular rupture. This lack of significance was also reported by Di Benedetto et al. [2], indicating that the droplet sign alone cannot be considered indicative of rupture. It may, however, act as a warning sign when looking for subtle evidence of intracapsular rupture, often represented by the linguine sign [2, 16, 17]. The droplet sign may be interpreted as microleakage, through shell defects, of serum/water droplets, which do not mix with silicone [12, 14]. Furthermore, it is also seen when saline solution, steroids or antibiotics are injected directly into the silicone chamber during the perioperative period [12] or as treatment for capsular contracture [2]. Therefore, this finding needs to be interpreted in light of the patient's entire clinical history [14]. The last two false positive results at MR showed the droplet sign combined with the linguine sign, and in these cases, a double error was made in the interpretation of these signs.

The salad-oil sign is similar to the droplet sign, although more prominent and easier to read as clear evidence of intracapsular rupture (Fig. 6). It was therefore found to be statistically significant in our study, in agreement with Di Benedetto et al. [2].

Table 3 shows four false negative results at MR imaging. In fact, preoperative imaging of these four implants demonstrated abundant periprosthetic fibrosis, with a homogeneous silicone signal within the membrane. The negative MR results are explained by the fact that the ruptured surface elastomer adhered to the fibrous capsule without giving rise to the linguine sign and maintaining a homogeneous high signal intensity within the (ruptured) implant [2, 5]. The term “rupture without collapse” was used for the first time by Berg et al. [18].

The importance of imaging implant ruptures prior to surgery is not limited to the detection of intracapsular abnormalities. In fact, it is also essential to search for possible signs of extracapsular rupture, such as siliconomas and seromas. Silicone, which more than 30 years ago was thought to be biologically inert [19], is a nonbiodegradable material composed of dimethylsiloxane polymers, which elicits small local inflammatory reactions in most individuals owing to its limited ability to elicit immune reactions [19–23]. As described in the literature, silicone has been associated with several complications, including local and systemic granulomatous inflammatory reactions affecting breast tissue, lymph nodes, joint capsules, heart, liver and kidneys. Furthermore, it may be associated with adult respiratory distress syndrome and

*linguine* [2, 16, 17]. *Il droplet sign può essere interpretato come microfiltrazione, attraverso difetti della membrana, di goccioline di siero/acqua, che non si mescolano con il silicone* [12, 14]; *si osserva inoltre qualora vengano iniettati, direttamente nella camera di silicone, soluzione salina, steroidi o antibiotici in fase perioperatoria* [12] *o come terapia della contrattura capsulare* [2]. *Nell'interpretazione di questo segno è importante, quindi, conoscere bene la storia clinica della paziente* [14]. *Gli ultimi 2 esami falsi positivi alla RM mostrano droplet sign associato a linguine sign e in questi casi è stato fatto un doppio errore di interpretazione dei segni suddetti.*

*Il salad-oil sign è simile al droplet sign, ma molto più grossolano e pertanto più facile da interpretare come segno certo di rottura protesica intracapsulare* (Fig. 2), *risultando statisticamente significativo nel nostro studio, così come dimostrato in letteratura da Di Benedetto et al.* [2].

*Nella Tabella 3 sono stati segnalati 4 casi di falsi negativi alla RM. Lo studio prechirurgico di queste 4 protesi, in realtà, ha evidenziato un'importante fibrosi periprotetica, con segnale del silicone omogeneo all'interno della membrana. La negatività dell'esame RM si spiega poiché la rottura dell'elastomero di superficie, aderiva alla capsula fibrosa senza creare il linguine sign e mantenendo omogenea l'iperintensità di segnale all'interno della protesi (rotta)* [2, 5]. *Il termine rottura senza collasso è stato usato per la prima volta da Berg et al.* [18].

*L'importanza della diagnostica per immagini delle rotture protesiche in fase preoperatoria non si ferma al riscontro di alterazioni intracapsulari. Fondamentale è, infatti, la ricerca di eventuali segni di rottura extracapsulare, come i sieromi ma soprattutto i siliconomi. Il silicone, che oltre 30 anni fa è stato considerato come una sostanza biologicamente inerte* [19], *è invece un materiale protesico non biodegradabile, costituito da polimeri di dimetilxilossano, che determina l'insorgenza di piccole infiammazioni locali nella maggior parte delle persone a causa della sua bassa capacità di attivare reazioni immunologiche tissutali* [19–23]. *Al contrario, come descritto in letteratura, esistono complicanze associate alla presenza di silicone e che includono reazioni infiammatorie locali e sistemiche di tipo granulomatoso che coinvolgono la ghiandola mammaria, i linfonodi, le capsule articolari, il cuore, il fegato e i reni; si può osservare inoltre insorgenza di sindrome da distress respiratorio acuto (ARDS), malattie autoimmuni e del tessuto connettivo in base a meccanismi ancora incerti* [19, 21, 24, 25]. *Infine, nonostante non sia stata ancora accertata la reale cancerogenicità del silicone, si è osservato uno sviluppo di lesioni maligne in soggetti portatori di protesi, quali il linfoma, il cancro della mammella e del polmone* [19].

*Nel nostro studio, tutti i 18 casi di risonanza magne-*

autoimmune and connective tissue diseases as a result of mechanisms still to be clarified [19, 21, 24, 25]. Finally, although there is as yet no proof of its carcinogenicity, malignant lesions such as lymphoma and breast and lung cancer have been reported in individuals with silicone implants [19].

In our study, all 18 cases of positive MR findings for extracapsular implant rupture were confirmed at surgery owing to the presence of fluid collections (n=7) and silicone (n=11) around the implant (Figs. 2 and 3a) and/or in the axillary lymph nodes (Fig. 3b; Table 1). However, in three of these cases (16.6% of extracapsular ruptures), the removed implants had completely intact walls. This phenomenon, defined as gel bleed or leakage, has been widely described in the literature as the leakage of microscopic quantities of silicone through an intact surface [5, 19–21, 23, 24, 26].

The limitation of our study is its retrospective nature, which did not allow for retrieval of all anamnestic data concerning the type of implant (for older prostheses) and the possible intraprosthesis injection of cortisone or water, which may have caused the false positive results at MR imaging.

## Conclusions

Consistent with published data, the evaluation of implant integrity starts with a clinical and imaging assessment that includes breast examination, ultrasound and mammography according to patient age, for all symptomatic and asymptomatic patients. In the presence of clinical and/or imaging signs suggestive of implant rupture, the diagnostic workup will include breast MR imaging. Women with breast implants in place for  $\geq 10$  years should always undergo MR imaging, even when no clinical and/or imaging signs of rupture are present.

Breast MR imaging is the most sensitive technique for studying breast implant rupture, not only because of the statistical significance of some of the signs of intracapsular rupture but also because it permits investigation of equivocal abnormalities seen at mammography and ultrasound, thus representing the gold standard in diagnostic imaging.

**Conflict of interest** None

## References/Bibliografia

1. Belli P, Romani M, Magistrelli A et al (2002) Diagnostic imaging of breast implants role of MRI. *Rays* 27:259–277
2. Di Benedetto G, Cecchini S, Grassetti L et al (2008) Comparative study of breast implant rupture using mammography, sonography, and magnetic resonance imaging: correlation with surgical findings. *Breast J* 14:532–537
3. Ikeda DM, Borofsky HB, Herfkens RJ et al (1999) Silicone breast implant rupture: pitfalls of magnetic resonance imaging and relative efficacy of magnetic resonance, mammography and ultrasound. *Plast Reconstr Surg* 104:2054–2062
4. O'Toole M, Caskey CI (2000) Imaging spectrum of breast implants complications: mammography, ultrasound, and magnetic resonance imaging. *Semin Ultrasound CT MR* 21:351–361

*tica positiva per rottura protesica extracapsulare sono stati confermati dalla chirurgia a causa della presenza di raccolte fluide (n=7) e di silicone (n=11) in sede periprotesica (Fig. 2 e 3a) e/o a livello dei linfonodi ascellari (Fig. 3b; Tabella 1). Tuttavia in 3 di questi casi (ovvero nel 16,6% dei casi di rottura protesica extracapsulare) le protesi espianate presentavano pareti completamente integre. Tale fenomeno, definito gel-bleed o leakage è stato descritto ampiamente in letteratura come trasudazione ovvero diffusione di microscopiche quantità di silicone all'esterno della protesi attraverso una superficie intatta [5, 19–21, 23, 24, 26].*

*Limite del nostro studio è stata la natura retrospettiva dello stesso, che non ha consentito il recupero di tutti i dati anamnestici relativi al tipo di impianto protesico (per quelle più vecchie) e all'eventuale iniezione di cortisone o acqua intraprotesica che possono essere stati la causa di falsi positivi all'esame RM.*

## Conclusioni

*In accordo con i dati presenti in letteratura, per la valutazione dell'integrità degli impianti protesici si procederà ad una prima valutazione clinico - strumentale di routine con visita senologica, US e MX in base all'età, a cui saranno sottoposte tutte le pazienti sintomatiche e asintomatiche. In presenza di segni sospetti di rottura protesica (clinici e/o strumentali) l'iter diagnostico si concluderà con il ricorso alla RM mammaria. Nelle donne portatrici di protesi mammarie impiantate da oltre 10 anni, è consigliabile comunque il ricorso alla RM anche in assenza di segni clinici e/o strumentali sospetti di rottura.*

*La RM mammaria ad oggi risulta essere la tecnica più sensibile per lo studio delle rotture protesiche, specialmente per la significatività statistica di alcuni segni di rottura intracapsulare, ma anche per l'approfondimento di alterazioni dubbie alle indagini strumentali mammoecografiche, rappresentando quindi il gold standard della diagnostica strumentale.*

5. Scaranelo AM, Marques AF, Smialowski EB, Lederman HM (2004) Evaluation of the rupture of silicone breast implants by mammography, ultrasonography and magnetic resonance imaging in asymptomatic patients: correlation with surgical findings. *Sao Paulo Med J* 22:41–47
6. Theophelis LG, Stevenson TR (1986) Radiographic evidence of breast implant rupture. *Plast Reconstr Surg* 78:673–675
7. Weizer G, Malone RS, Netscher DT, Walker LE, Thornby J (1995) Utility of magnetic resonance imaging and ultrasonography in diagnosing breast implant rupture. *Ann Plast Surg* 34:352–361
8. Hölmich LR, Kjølner K, Vejborg I et al (2001) Prevalence of silicone breast implant rupture among Danish women. *Plast Reconstr Surg* 108:848–858
9. Everson LI, Parantainen H, Detlie T et al (1994) Diagnosis of breast implant rupture: imaging findings and relative efficacies of imaging techniques. *AJR Am J Roentgenol* 163:57–60
10. Gorczyca DP, DeBruhl ND, Mund DF, Bassett LW (1994) Linguine sign at MR imaging: does it represent the collapsed silicone implant shell? *Radiology* 191:576–577
11. Soo MS, Kornguth PJ, Walsh R et al (1996) Complex radial folds versus subtle signs of intracapsular rupture of breast implants: MR findings with surgical correlation. *AJR Am J Roentgenol* 66:1421–1427
12. Hölmich LR, Vejborg I, Conrad C et al (2005) The diagnosis of breast implant rupture: MRI findings compared with findings at explantation. *Eur J Radiol* 53:213–225
13. Gorczyca DP, Sinha S, Ahn CY et al (1992) Silicone breast implants in vivo: MR imaging. *Radiology* 185:407–410
14. Berg WA, Caskey CI, Hamper UM et al (1993) Diagnosing breast implant rupture with MR imaging, US, and mammography. *Radiographics* 13:1323–1336
15. Berg WA, Anderson ND, Zerhouni EA et al (1994) MR imaging of the breast in patients with silicone breast implants: normal postoperative variants and diagnostic pitfalls. *AJR Am J Roentgenol* 163:575–578
16. Ahn CY, Shaw WW, Narayanan K et al (1993) Definitive diagnosis of breast implant rupture using magnetic resonance imaging. *Plast Reconstr Surg* 92:681–691
17. Gorczyca DP (1994) MR imaging of breast implants. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2:659–672
18. Berg WA, Caskey CI, Hamper UM et al (1995) Single- and double lumen silicone breast implant integrity: prospective evaluation of MR and US criteria. *Radiology* 197:45–52
19. Adams ST, Cox J, Rao GS (2009) Axillary silicone lymphadenopathy presenting with a lump and altered sensation in the breast: a case report. *J Med Case Reports* 3:6442
20. Kao CC, Rand RP, Holt CA et al (1997) Internal mammary silicone lymphadenopathy mimicking recurrent breast cancer. *Plast Reconstr Surg* 99:225–229
21. Cook PD, Osborne BM, Connor RL, Strauss JF (1995) Follicular lymphoma adjacent to foreign body granulomatous inflammation and fibrosis surrounding silicone breast prosthesis. *Am J Surg Pathol* 19:712–717
22. Rivero MA, Schwartz DS, Mies C (1994) Silicone lymphadenopathy involving intramammary lymph nodes: a new complication of silicone mammoplasty. *AJR Am J Roentgenol* 162:1089–1090
23. Santos-Briz Jr A, Lopez-Rios F, Santos-Briz A, De Agustin PP (1999) Granulomatous reaction to silicone in axillary lymph nodes - a case report with cytologic findings. *Acta Cytol* 43:1163–1165
24. Lin RP, Di Leonardo M, Jacoby RA (1993) Silicone lymphadenopathy - a case report and review of the literature. *Am J Dermatopath* 15:82–84
25. Sanchez-Guerrero J, Colditz GA, Karlson EW et al (1995) Silicone breast implants and the risk of connective tissue diseases and symptoms. *N Engl J Med* 332:1666–1670
26. Tabatowski K, Elson CE, Johnston WW (1990) Silicone lymphadenopathy in a patient with mammary prosthesis. Fine needle aspiration cytology, histology and analytical electron microscopy. *Acta Cytol* 34:10–14