

## Dynamic sonography of the forefoot in Morton's syndrome: correlation with magnetic resonance and surgery

### *Valutazione ecotomografica dinamica dell'avampiede nella sindrome di Morton: correlazione con i risultati chirurgici e di risonanza magnetica*

L. Perini<sup>1</sup> • M. Del Borrello<sup>1</sup> • R. Cipriano<sup>1</sup> • A. Cavallo<sup>2</sup> • A. Volpe<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Diagnostica per immagini di Euganea Medica, Via Colombo 13, I-35020 Albignasego (PD), Italy

<sup>2</sup>Servizio di Radiologia, Ospedale Civile, Monselice (PD), Italy

<sup>3</sup>Unità Operativa di Chirurgia del Piede e della Caviglia, Casa di Cura Abano Terme (PD), Italy

Correspondence to: L. Perini, Tel.: +39-049-8044881, Fax: +39-049-8801599, e-mail: lucipe@libero.it

Received: 23 June 2005 / Accepted: 15 May 2006 / Published online: 11 October 2006

#### Abstract

**Purpose.** The aim of this paper is to demonstrate the efficacy of the dynamic study of the forefoot during lateral compression of the metatarsal heads (Mulder's manoeuvre) in the visualisation of Morton's neuroma. The data were compared with clinical signs, conventional ultrasound (US), magnetic resonance (MR) and surgical findings.

**Materials and methods.** Forty forefeet in 38 patients were investigated with conventional and dynamic US using a 10-MHz linear probe (Esaote Technos). MR was performed in 26 forefeet with a 0.2-T scanner (Esaote Artoscan). Twenty intermetatarsal spaces in 18 forefeet were explored surgically.

**Results.** Thirty-seven intermetatarsal masses were identified through dynamic US in the 40 forefeet investigated (two double localisations). This method was clearly more effective than conventional US, which could only locate 25. In those forefeet investigated with MR, it was possible to confirm dynamic US findings in 16 out of 22. In one of the six cases unconfirmed by MR, a neuroma was removed following surgery. Twenty masses (19 neuromas and one synovial ganglion) were found in the 18 forefeet treated by surgery.

**Conclusions.** Clinical evaluation, which is fundamental for accurate diagnosis, can make use of dynamic US in the first instance in order to confirm clinical signs and identify the correct site and number of masses. In our opinion, MR maintains a primary role in differential diagnosis with other diseases (mainly stress fractures, bursitis, ganglion cysts or tendon tumour sheaths).

**Key words** Foot ultrasound • Magnetic resonance, neuroma • Morton's neuroma

#### Riassunto

**Obiettivo.** Scopo del nostro lavoro è di dimostrare l'efficacia della ecografia dinamica dell'avampiede, durante compressione laterale delle teste metatarsali (manovra di Mulder), nella identificazione del neuroma di Morton, comparandola con i dati clinici, l'ecografia statica, la RM ed i rilievi chirurgici.

**Materiali e metodi.** Sono stati esaminati 40 avampiedi in 38 pazienti con ecografia statica e dinamica, utilizzando apparecchio Esaote Technos e sonda da 10 MHz. In 26 avampiedi si è eseguita una RM con apparecchio dedicato a basso campo (Esaote Artoscan). Diciotto avampiedi sono stati operati con l'esplorazione complessivamente di 20 spazi intermetatarsali.

**Risultati.** Nei 40 avampiedi esaminati l'ecografia dinamica ha permesso di riconoscere 37 formazioni espansive intermetatarsali (2 doppie localizzazioni), dimostrandosi maggiormente efficace rispetto alla sola valutazione statica che ne ha dimostrate solo 25. Negli avampiedi studiati con RM si è avuta la conferma del sospetto ecografico di formazione espansiva in 16 su 22 rilievi ecografici con valutazione dinamica; uno dei 6 casi non confermati alla RM è stato successivamente operato ottenendo il riscontro chirurgico del neuroma. Nei 18 avampiedi operati sono state trovate complessivamente 20 formazioni espansive (19 neuromi ed 1 ganglio sinoviale).

**Conclusioni.** La valutazione clinica, fondamentale ai fini della diagnosi, può giovare dell'ecografia dinamica come metodica strumentale di primo impiego per la verifica del sospetto clinico, l'identificazione della sede e del numero di localizzazioni; la RM a nostro parere mantiene un ruolo determinante nella diagnosi differenziale con altre patologie (principalmente fratture da stress, borsiti, ganglio sinoviale o tumore gigantomucinoso delle guaine tendinee).

**Parole chiave** Piede, ecografia • Piede, risonanza magnetica • Neuroma di Morton

## Introduction

Morton's syndrome is a neuralgic metatarsalgia caused by the common digital nerve becoming trapped in the metatarsal canal; the continued trauma brings about a perineural inflammatory process that in turn provokes endoperineural connective proliferation and hyaline degeneration of the endoneurium [1]. This pathological entity is more commonly known as Morton's neuroma. Its diagnosis is predominantly done through clinical signs and symptoms, and Mulder's manoeuvre has proved to be particularly important in clinical diagnosis. Diagnostic imaging is used to confirm clinical suspicion, site and number of localisations and in differential diagnosis with other conditions [2–4]. The aim of our study was to compare clinical, surgical and magnetic resonance (MR) findings with results obtained from examination of the intermetatarsal spaces with both static and dynamic ultrasound (US). The latter is performed using US to assess effects of lateral compression of the metatarsal heads in patients with clinical suspicion of Morton's neuroma.

## Materials and methods

A total of 40 forefeet were studied in 38 patients (29 women and nine men, age range 25–74 years), all with a clinical picture of interdigital neuritis (Table 1). An Esaote Technos US unit with a 10-MHz linear-array probe was used to study distal intermetatarsal spaces through a plantar approach with the patient supine and the probe positioned transversely with a slight caudocranial inclination (Fig. 1). Static imaging was combined with dynamic assessment with manual lateral compression of the metatarsals (Mulder's manoeuvre) and simultaneous recording of US video sequences.

Following US assessment, MR was performed on 26/40 forefeet using dedicated low-field equipment (Esaote Artoscan) to obtain spin echo (SE) T1 sequences (TR/TE 400/20 ms), SE T2 sequences (TR/TE 2,600/90 ms) and short-tau inversion recovery (STIR) sequences (TR/TE/TI 1,580/22/65 ms), with a slice thickness of 4 mm in the sagittal, coronal and axial planes.

A total of 20 intermetatarsal spaces were surgically explored in 18 forefeet (two spaces were examined simultaneously in two cases). Surgical treatment consisted of neurec-

## Introduzione

*La sindrome di Morton è una metatarsalgia neuralgica causata dall'intrappolamento del nervo digitale comune nel canale metatarsale; il traumatismo continuo determina un processo flogistico perineurale che a sua volta induce proliferazione connettivale endo-perineurale e degenerazione ialina dell'endonevrio [1]. Tale entità anatomico patologica è comunemente conosciuta come neuroma di Morton. La sua diagnosi è principalmente basata sulla clinica con sintomi e segni caratteristici; particolare importanza nella valutazione clinica riveste la manovra di Mulder. La diagnostica per immagini viene impiegata per confermare il sospetto clinico, la sede ed il numero di localizzazioni e nella diagnosi differenziale con altre patologie [2–4]. Scopo del nostro lavoro è stato quello di comparare i dati clinici, i rilievi chirurgici ed i riscontri RM con i risultati ottenuti dall'esame degli spazi intermetatarsali con ecografia sia statica che dinamica, quest'ultima ottenuta valutando ecograficamente gli effetti della compressione laterale delle teste metatarsali, in pazienti con sospetto clinico di neuroma di Morton.*

## Materiali e metodi

*Sono stati studiati con ecografia in tutto 40 avampiedi in 38 pazienti (29 femmine e 9 maschi, di età compresa tra i 25 ed i 74 anni), con quadro clinico riferibile a neurite intermetatarsale (Tabella 1). È stato utilizzato un apparecchio Esaote Technos, con sonda lineare da 10 MHz; mirando l'indagine allo studio degli spazi intermetatarsali distali, con approccio plantare a paziente supino e sonda orientata trasversalmente con lieve inclinazione caudo-craniale (Fig. 1). Alla valutazione statica si è associata l'analisi dinamica ottenuta con la compressione laterale delle teste dei metatarsi eseguita manualmente come nella manovra di Mulder; simultaneamente si è registrato il quadro ecografico in sequenze di video-clip.*

*Alla valutazione ecografica è seguita una RM di 26/40 avampiedi, utilizzando un apparecchio dedicato a basso campo (Esaote Artoscan), ottenendo acquisizioni SE T1 (TR/TE 400/20 ms), SE T2 (TR/TE 2600/90 ms) e STIR (TR/TE/TI 1580/22/65 ms) secondo i piani sagittale, coronale e assiale, con spessore di strato di 4 mm.*

**Table 1** Summary of all cases

	Clinical evaluation	Static and dynamic sonography	MR	Surgery
Forefeet, n	40	40	26	18

**Tabella 1** Sintesi della casistica in esame

	Valutazione clinica	Ecografia statica e dinamica	RM	Chirurgia
Avampiedi, n	40	40	26	18



**Fig. 1** Dynamic sonography technique. The plantar aspect is explored with the patient lying supine by using a slight caudocranial inclination of the probe while the investigator applies Mulder's manoeuvre with the free hand.

**Fig. 1** Tecnica d'esame per ecografia con test dinamico. A paziente supino si esplora il versante plantare con lieve inclinazione caudo-craniale della sonda; la mano libera dell'esaminatore esegue la manovra di compressione dei metatarsi.

tomy through the intermetatarsal dorsal approach, with excision of the nerve at least 1 cm above the proximal margin of the deep transverse metatarsal ligament and repositioning of the nerve stump in the oblique adductor muscle.

## Results

All patients had symptoms of intermetatarsal neuritis characterised by episodic pain in the distal metatarsal region,

*Sono stati esplorati chirurgicamente complessivamente 20 spazi intermetatarsali in 18 avampiedi (in 2 si è eseguita simultanea esplorazione di 2 spazi); l'intervento è consistito in una neurectomia per via dorsale intermetatarsale, con sezione del nervo almeno 1 cm a monte del margine prossimale del legamento trasverso metatarsale profondo e rilocazione del moncone nel muscolo adduttore obliquo.*

## Risultati

*Tutti i pazienti di questo studio presentavano sintomatologia riferibile a neurite intermetatarsale, caratterizzata da dolore episodico ad accessi alla regione metatarsale distale, prevalentemente plantare ed irradiato alle dita; tale sintomo veniva scatenato dalla marcia, si accentuava con l'uso di calzature strette e si attenuava con la rimozione della calzatura e con il massaggio. Frequentemente il paziente riferiva la sensazione di tumefazione intermetatarsale. Nella nostra casistica era apprezzabile con la manovra di Mulder una sensazione di scatto (click di Mulder) in 30/40 degli avampiedi esaminati. L'esplorazione chirurgica dei 20 spazi intermetatarsali ha rilevato in 19 la presenza di un neuroma di Morton; in un caso si è riscontrato un ganglio sinoviale in continuità con la guaina del tendine flessore del 4° dito.*

*Complessivamente sono state identificate con ecografia nei 40 avampiedi esaminati (Tabella 2) 37 formazioni espansive di cui 36 formazioni nodulari solide ed 1 a contenuto fluido (in 4 pazienti erano presenti 2 localizzazioni: in 2 pazienti nello stesso avampiede mentre negli altri due erano localizzate una per ciascun avampiede). La sede del riscontro è stata in 32 casi al 3° spazio intermetatarsale, in 4 casi al 2° spazio ed in 1 al 4° spazio; in tutti vi era correlazione tra la sede del riscontro ecografico e la sede del rilievo clinico (la pressione in corrispondenza evocava infatti la sensazione dolorosa).*

Correlazione ecografia statica, ecografia dinamica, RM

*Nei 40 avampiedi esplorati erano riconoscibili con ecografia statica (ES) 25/37 (67,6%) delle formazioni espansive ri-*

**Table 2** Correlation of data between static sonography, dynamic sonography and magnetic resonance (MR) in all cases investigated

	Static sonography	Dynamic sonography	MR
Lesions/forefeet, n	25 <sup>a</sup> /40	37 <sup>b</sup> /40	16 <sup>a</sup> /26

<sup>a</sup>One forefoot with double localisation

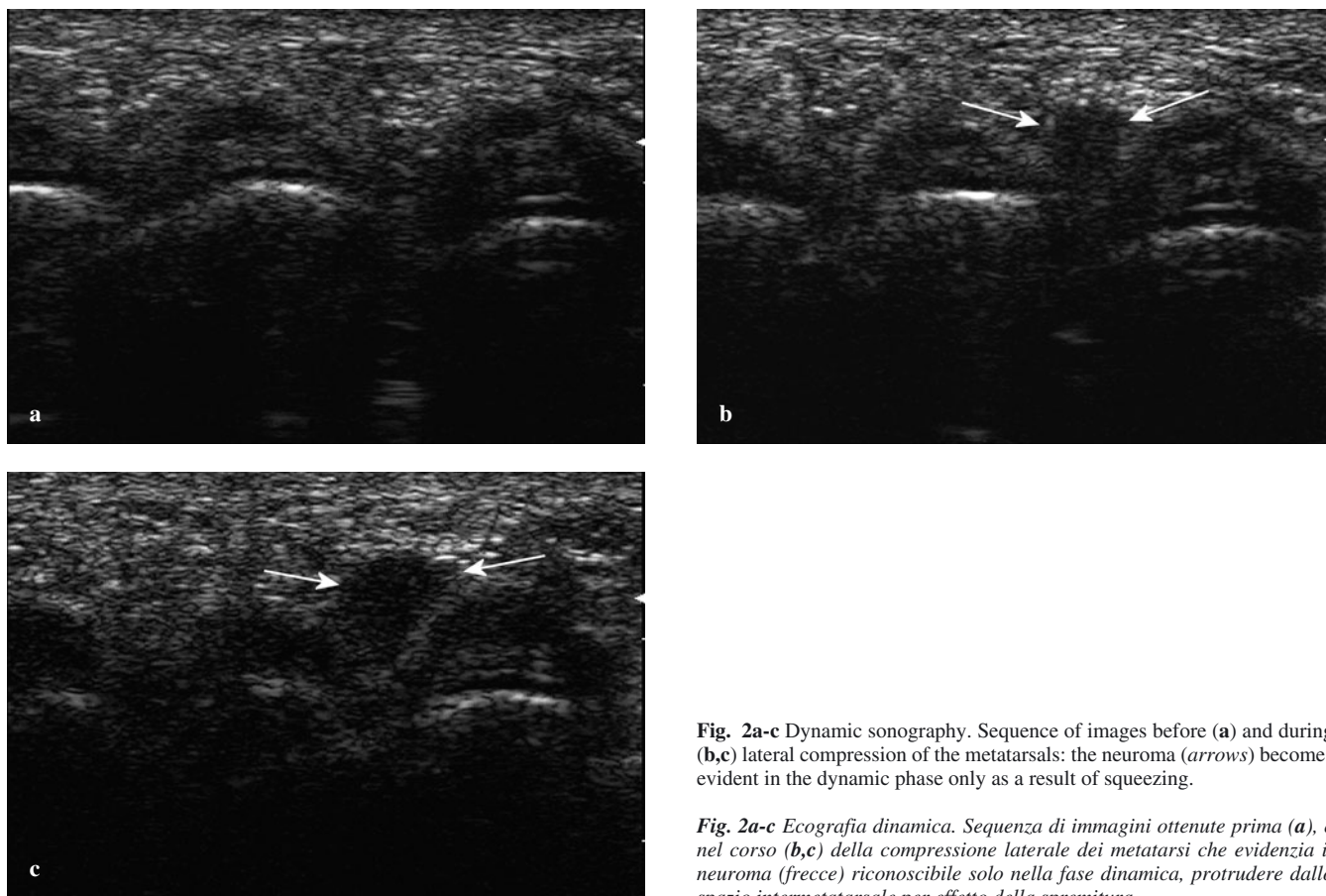
<sup>b</sup>Two forefeet with double localisation

**Tabella 2** Confronto tra i dati relativi alla ecografia statica, ecografia dinamica e RM nel riscontro di formazioni espansive intermetatarsali in tutti i pazienti considerati nello studio

	Ecografia statica	Ecografia dinamica	RM
Lesioni/avampiedi, n	25 <sup>a</sup> /40	37 <sup>b</sup> /40	16 <sup>a</sup> /26

<sup>a</sup>Un avampiede con duplice localizzazione

<sup>b</sup>Due avampiedi con duplice localizzazione



**Fig. 2a-c** Dynamic sonography. Sequence of images before (a) and during (b,c) lateral compression of the metatarsals: the neuroma (arrows) becomes evident in the dynamic phase only as a result of squeezing.

**Fig. 2a-c** Ecografia dinamica. Sequenza di immagini ottenute prima (a), e nel corso (b,c) della compressione laterale dei metatarsi che evidenzia il neuroma (freccie) riconoscibile solo nella fase dinamica, protrudere dallo spazio intermetatarsale per effetto della spremitura.

prevalently plantar and radiating towards the toes. The symptom was triggered by walking and exacerbated by the use of tight-fitting footwear and was relieved by removal of the footwear and massage. Frequently, the patient would report a sensation of intermetatarsal swelling. Mulder's click was present in 30/40 forefeet examined. Surgical exploration of 20 intermetatarsal spaces revealed the presence of Morton's neuroma in 19. In one case, a synovial ganglion was found in continuity with the flexor tendon sheath of the fourth toe.

US identified 37 masses in the 40 forefeet examined (Table 2). Thirty-six were solid nodular formations, and one had a fluid content (two localisations were present in four patients: two on the same forefoot in two patients, and one on each forefoot in the other two). The mass was located in the third intermetatarsal space in 32 cases, the second space in four and the fourth space in one. In all cases, there was correlation between the site of the US finding and clinical examination (pain on compression of the site).

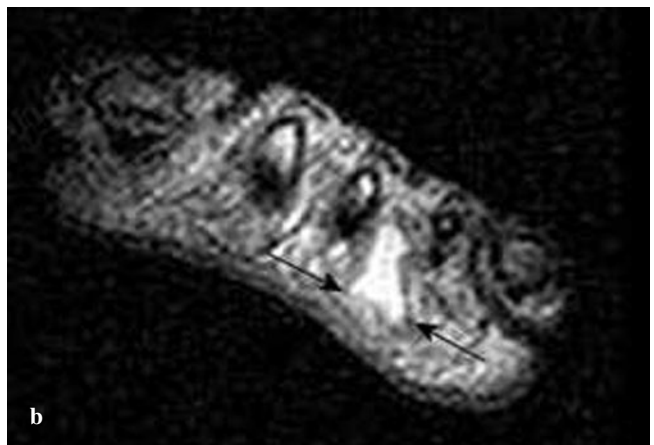
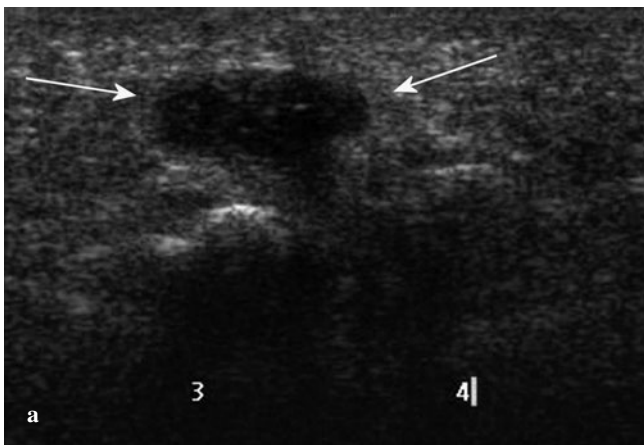
#### Correlation between static US, dynamic US and MR

In the 40 forefeet examined, static US (SUS) detected 25/37 (67.6%) of masses identified by US: 24 of these were small hypochoic masses, with a diameter ranging from 4 mm to 9 mm, prominent on the plantar side at the level of the intermetatarsal space. A further 12 masses (32.4%) with identical

scontrate complessivamente con ecografia: di esse 24 erano masserelle solide ipoecogene rispetto ai tessuti circostanti, con diametro variabile da 4 a 9 mm, prominenti sul versante plantare in corrispondenza dello spazio intermetatarsale. Altre 12 formazioni (32,4%) con analoghe caratteristiche ecografiche sono risultate riconoscibili solo con ecografia dinamica (ED). Durante la compressione laterale delle teste metatarsali si assisteva infatti alla dislocazione di una masserella ipoecogena sul versante plantare, per effetto di spremitura (Fig. 2a-c); in concomitanza con la dislocazione si rilevava una sensazione di scatto più o meno nettamente percepibile. Le formazioni già evidenti alla ES si rendevano comunque meglio apprezzabili con la manovra di Mulder, accentuandosi in tale fase la protrusione plantare.

In 1 paziente infine si è riscontrata con ES in corrispondenza del 3° spazio intermetatarsale una formazione a prevalente contenuto fluido (Fig. 3a), del diametro trasverso di 12 mm, prominente sul versante plantare, compatibile con un ganglio sinoviale; la compressione laterale delle teste metatarsali nella valutazione con ED ha consentito in questo caso di riconoscere tessuto iperecogeno riferibile a componente adiposa, spremuta dallo spazio intermetatarsale, scorrere durante la compressione a ridosso della neoformazione che risultava invece fissa. Nei 5 avampiedi infine in cui l'esame ecografico non aveva dimostrato formazioni espansive intermetatarsali si è riscontrato all'ES un ispessimento delle strutture capsulari metatarso-falan-





**Fig. 3a** Sonography shows a fluid-filled mass, with mild inner echoes, protruding onto the plantar aspect at the third intermetatarsal space (*arrows*) and fixed during the dynamic manoeuvre related to the synovial cyst. **b** Axial magnetic resonance (MR) T1-weighted and coronal short-tau inversion recovery (STIR) images confirm the presence of a fluid-filled mass in the intermetatarsal space (*arrows*).

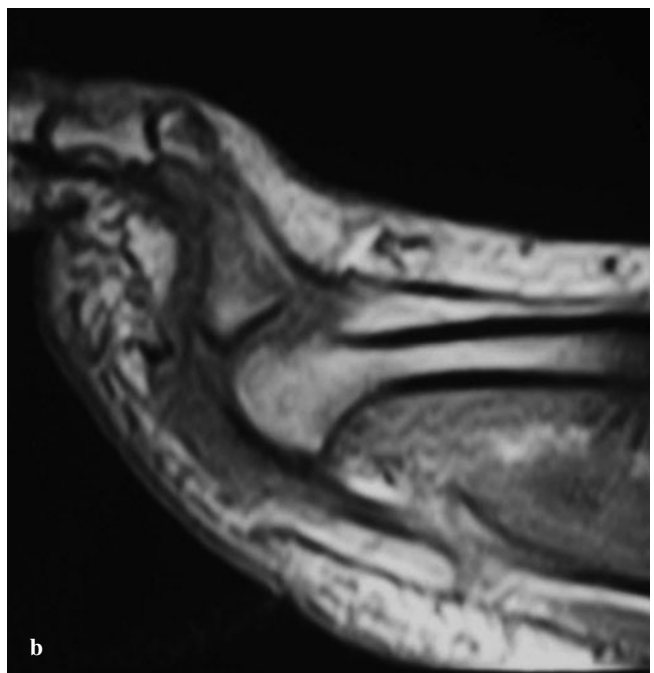
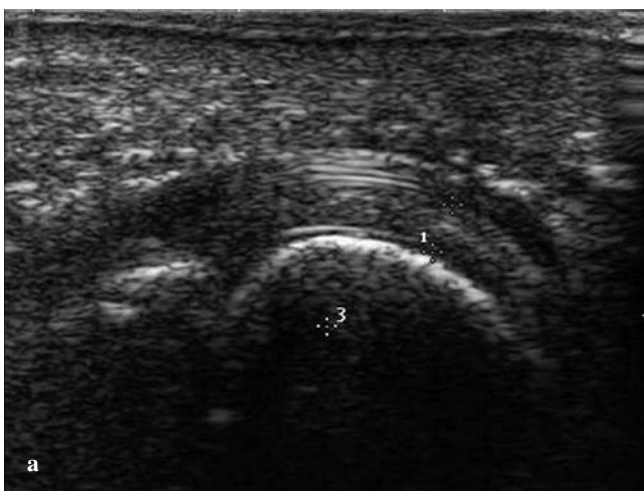
*Fig. 3a* Scansione ecografica che dimostra una formazione a contenuto liquido con echi interni prominenti sul versante plantare tra le teste del 3° e 4° metatarso, immobile alla valutazione dinamica, compatibile con ganglio sinoviale. *b* Acquisizioni RM assiale T1 e coronale STIR confermano la presenza di formazione a contenuto fluido nel terzo spazio intermetatarsale.

sonographic features were detected by dynamic US (DUS) only. On lateral compression of the metatarsal heads, we observed dislocation due to squeezing of a small hypoechoic mass on the plantar side (Fig. 2a-c); dislocation was associated with a more-or-less clearly perceivable clicking sensation. The masses that were evident on SUS were more noticeable with Mulder's manoeuvre, as plantar protrusion was enhanced.

In one patient, SUS detected a mass at the level of the third intermetatarsal space; the mass, with prevalently fluid content and a transverse diameter of 12 mm, was more prominent on the plantar side, consistent with a synovial

mass (*Fig. 4a*).

L'indagine RM eseguita in 26/40 avampiedi ha confermato il rilievo ecografico di 16 su 22 lesioni espansive rilevate all'ED (72,7%). Quindici di esse corrispondevano a formazioni solide nello spazio intermetatarsale, ipointense nelle acquisizioni T1 e T2 pesate con i caratteri del neuroma (in un paziente era presente duplice localizzazione nello stesso avampiede); in 8 di esse si associava il rilievo di una



**Fig. 4a,b** Longitudinal ultrasound (US) scan (**a**) in correspondence with the third metatarsal head showing thickening of the capsular structures on the plantar aspect related to capsulitis. This finding was confirmed by magnetic resonance (MR) (**b**).

*Fig. 4a,b* Scansione ecografica (**a**) longitudinale in corrispondenza della testa del terzo metatarso. Evidente ispessimento delle strutture capsulari metatarso-falangee plantari compatibili con capsulite. Tale rilievo è stato confermato alla successiva indagine RM (**b**).

ganglion (Fig. 3a). Lateral compression of the metatarsal heads during DUS revealed hyperechoic tissue – the adipose component compressed by the intermetatarsal space – sliding along the fixed mass. In the five forefeet in which US did not show any intermetatarsal mass, SUS detected a thickening of the plantar metatarsal-phalangeal capsular structures in three cases, indicative of capsulitis (Fig. 4a).

MR examination performed on 26/40 forefeet confirmed US finding of 16/22 masses detected by DUS (72.7%). Fifteen of these were solid masses in the intermetatarsal space and hyperintense in the T1- and T2-weighted images with the appearance of neuroma (one patient had two localisations on the same forefoot); in eight of these, the finding was associated with fluid distension of the intermetatarsal bursa. In one case, MR confirmed the presence of a prevalently fluid mass, compatible with a synovial ganglion (Fig. 3b). The remaining six lesions identified on US had equivocal MR results: in three lesions, MR in particular, STIR sequences was unable to clearly demonstrate the nodular appearance owing to the presence of extensive inflammatory suffusion of the plantar loose connective tissue; in another three, the examination was negative for expansile lesions.

In five cases not treated by surgery and with no US evidence of expansile masses, MR also failed to demonstrate nodular patterns, thus justifying the clinical suspicion of mechanical support capsulitis (oedema of the plantar loose connective cells, slight distal dislocation of the same and thickening of the intermetatarsal capsule) (Fig. 4b) whereas in two, it revealed a pattern compatible with stress fracture of the metatarsal head characterised by intercellular oedema in the absence of any alterations of the cortical profiles.

One of the six lesions seen on US and not confirmed on MR was later identified by surgical exploration, which identified a 5-mm diameter neuromatous mass; the other five received conservative treatment.

#### Correlation of MR, DUS and surgery

In the 18 forefeet that underwent surgery (Table 3), US con-

*distensione fluida della borsa intermetatarsale. In 1 caso la RM ha confermato la presenza della formazione a contenuto fluido prevalente, compatibile con ganglio sinoviale (Fig. 3b). Le restanti 6 lesioni ecograficamente evidenti presentavano alla RM rilievi contrastanti non riuscendosi chiaramente a dimostrare, specie nelle acquisizioni STIR, l'aspetto nodulare in 3 di esse per la presenza di estesa soffusione fluida di aspetto flogistico del cellulare lasso plantare, ed in 3 casi risultando la RM del tutto negativa per lesioni espansive.*

*Nei 5 casi, non operati, in cui non vi era dimostrazione ecografica di formazioni espansive, nemmeno la RM ha dimostrato aspetti nodulari, giustificando i rilievi clinici con il riscontro in 3 di essi di un quadro compatibile con capsulite meccanica da appoggio (edema del cellulare lasso plantare, lieve dislocazione distale dello stesso ed ispessimento della capsula intermetatarsale) (Fig. 4b), mentre in 2 si è dimostrato un quadro compatibile con una frattura da durata della testa metatarsale caratterizzato da edema spongioso in assenza di alterazioni dei profili corticali.*

*Una delle sei lesioni ecograficamente evidenti e non confermate alla RM è stata successivamente confermata alla verifica chirurgica, con il riscontro di una formazione neuromatosa del diametro di 5 mm mentre le altre 5 hanno subito trattamento conservativo.*

#### Correlazione RM, ecografia dinamica, chirurgia

*Nei 18 avampiedi operati (Tabella 3) si è sempre confermato il rilievo ecografico di formazione espansiva con il riscontro di 20 formazioni in 18 avampiedi (in due casi esisteva duplice localizzazione nello stesso avampiede): 13/20 (65%) erano riconoscibili alla ES mentre 7/20 (35%) erano riconoscibili solo alla ED.*

*Nella serie di pazienti controllati chirurgicamente era disponibile la valutazione RM di 10 avampiedi con il corretto riscontro di 8/11 lesioni (72,7%) (in un paziente vi era duplice localizzazione nello stesso avampiede); la RM è risultata dubbia anche alla analisi retrospettiva in 2/11 (18,2%) e negativa per il riscontro di formazioni espansive in 1/11*

**Table 3** Correlation between static sonography, dynamic sonography and magnetic resonance (MR) among the cases undergoing surgery

	Static sonography	Dynamic sonography	MR	Surgery
Lesions/forefeet, n	13 <sup>a</sup> /18	20 <sup>b</sup> /18	8 <sup>a</sup> /10	20 <sup>b</sup> /18

<sup>a</sup>One forefoot with double localisation

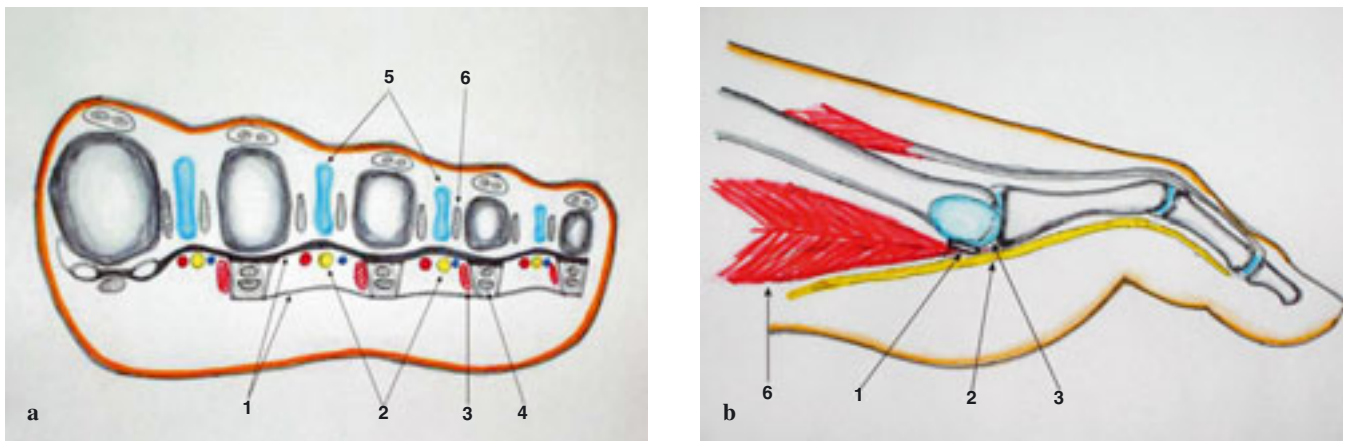
<sup>b</sup>Two forefeet with double localisation

**Tabella 3** Confronto tra i dati relativi alla ES, ED e RM nel riscontro di formazioni espansive intermetatarsali nei pazienti operati

	Ecografia statica	Ecografia dinamica	RM	Chirurgia
Lesioni/avampiedi, n	13 <sup>a</sup> /18	20 <sup>b</sup> /18	8 <sup>a</sup> /10	20 <sup>b</sup> /18

<sup>a</sup>Un avampiede con duplice localizzazione

<sup>b</sup>Due avampiedi con duplice localizzazione



**Fig. 5a,b** Anatomical drawing of the coronal (a) and sagittal (b) plane of the metatarsal canal structures. 1, deep and superficial transverse metatarsal ligament; 2, neurovascular bundle; 3, lumbrical muscle and tendon; 4, flexor digitorum tendons; 5, intermetatarsal bursae; 6, interosseous tendons and muscles.

**Fig. 5a,b** Schema anatomico secondo il piano coronale (a) e sagittale (b) delle strutture del canale metatarsale. 1, legamento trasversale metatarsale profondo e superficiale; 2, fascio neurovascolare; 3, muscolo e tendine lombricali; 4, tendini flessori delle dita; 5, borse intermetatarsali; 6, muscoli interossei.

sistently confirmed the presence of a mass, with identification of 20 masses in 18 forefeet (in two cases, there were two localisations on the same forefoot): 13/20 (65%) were recognised using SUS whereas 7/20 (35%) were only seen on DUS.

Among patients who underwent surgery, MR assessments were available for ten forefeet: MR correctly identified 8/11 lesions (72.7 %) (one patient had double localisation on the same forefoot); in 2/11 (18.2%), results were uncertain, even on retrospective analysis; in 1/11 (9.1%), results were negative. Twenty-two patients did not undergo surgery and were treated conservatively or lost to follow-up. Of these, 17 showed a solid nodular lesion in the intermetatarsal space on DUS, compatible with neuroma; five of these were recognised using MR.

## Discussion

The metatarsal canal (Fig. 5a,b) is an anatomical area of the distal intermetatarsal space delimited inferiorly by the superficial transverse metatarsal ligament, laterally by the perforating fibres and superiorly by the deep transverse metatarsal ligament that, stretched between the plantar surfaces of the metatarsal heads, divides the intermetatarsal space into two compartments: the upper and lower compartments or metatarsal canal. The neurovascular bundle and lumbrical muscle pass through the lower compartment immersed in abundant fat tissue whereas in the higher level, also immersed in fat, we can find the tendons of the interosseous muscles and the intermetatarsal bursa. In its relationship with the deep transverse metatarsal ligament, the latter is most prominent distal to the level of the second or third space beyond which it comes into contact with the neurovascular bundle [5].

(9,1%). Ventidue pazienti non sono stati sottoposti a chirurgia e trattati in modo conservativo o perduti al follow-up, di essi 17 presentavano alla ED una lesione nodulare solida nello spazio intermetatarsale compatibile con neuroma di cui 5 riconosciute anche alla RM.

## Discussione

Il canale metatarsale (Fig. 5a,b) è una loggia anatomica dello spazio intermetatarsale distale delimitata inferiormente dal legamento trasversale metatarsale superficiale, lateralmente dalle fibre perforanti e superiormente dal legamento trasversale metatarsale profondo che, teso tra le superfici plantari delle teste metatarsali, separa lo spazio intermetatarsale in 2 compartimenti: il superiore e l'inferiore o canale metatarsale. Nella loggia inferiore decorre il fascio neurovascolare ed il muscolo lombricale immersi in un'atmosfera adiposa, mentre nella loggia superiore, immersi anch'essi nel tessuto adiposo, si trovano i tendini dei muscoli interossei e la borsa intermetatarsale; quest'ultima nel suo rapporto con il legamento trasversale metatarsale profondo si dimostra maggiormente prominente distalmente a livello del 2° e 3° spazio ove, superandolo, giunge a contatto con il fascio neurovascolare [5].

La metatarsalgia neuralgica nella sindrome di Morton è dunque da considerarsi una sindrome da impingement del nervo digitale comune nello spazio intermetatarsale legata a dislocamento dorsale del nervo tra le teste metatarsali a seguito della pressione plantare e successivamente pinzato tra le teste stesse, in associazione o meno a concomitante borsite. Il continuo traumatismo determina un processo flogistico perineurale che induce proliferazione connettivale endoperineurale e degenerazione ialina dell'endonevrio [1] con ingrossamento del nervo che alimenta il meccanismo di impin-



The neuralgic metatarsalgia in Morton's syndrome should therefore be regarded as an impingement syndrome of the common digital nerve in the intermetatarsal space related to dorsal dislocation of the nerve between the metatarsal heads following plantar pressure and subsequent pinching between the heads themselves, associated in some cases with bursitis. The continuous trauma determines a perineural inflammatory process that induces endoperineural connective proliferation and hyaline degeneration of the endoneurium [1], with swelling of the nerve that feeds the impingement mechanism. This pathological entity is more commonly known as Morton's neuroma.

Mulder's manoeuvre is important in the diagnosis of the neuroma and consists of lateral compression of the metatarsal heads in alternation with plantar pressure, which tends to induce plantar dislocation of the intermetatarsal mass provoking a clicking sensation (Mulder's click). This mechanism makes the mass more evident on US by squeezing the intermetatarsal space, making it considerably more prominent on the plantar aspect.

In our series, the efficacy of US in identifying intermetatarsal masses improved with the use of dynamic assessment, the sensitivity in the group with surgical correlation being 65% for SUS and 100% for DUS. These results seem to be inferior to those reported in the literature in terms of static assessment but are aligned with the best results obtained by dynamic assessment in the most recent series [6–9]. One justification for the different sensitivity values of static US in our series may be its limited use, with only the plantar approach and without using the usual manual interdigital compression. Dynamic assessment with lateral compression of the metatarsal heads, in our opinion, increases US sensitivity, allowing recognition of the neuroma as it is expelled from the intermetatarsal canal, which it entered due to plantar pressure or attraction by neighbouring structures, such as the intermetatarsal bursa (which at surgery is often indistinguishable from the nerve).

In our series, MR had a sensitivity of 72.7% in the examination of intermetatarsal masses, which is lower than that found in studies using high-field equipment [10]. In our experience, in particular, the most effective sequences for recognising the neuroma proved to be SE T1 and T2 in the axial and coronal planes whereas identification with STIR sequences was affected by oedema of plantar soft tissue that can mask the neuroma [10]. In comparison with US, MR added the detection of a concomitant intermetatarsal bursitis in ten cases, five of which were confirmed at surgery. In the five cases that did not undergo surgery, MR was nonetheless able to account for the clinical picture, with findings compatible with mechanical support capsulitis in three cases and a stress fracture of the third metatarsal in two.

## Conclusions

Diagnosis of neuroma remains prevalently based on clinical findings, partly in consideration of the high incidence of

*gement. Tale entità anatomico-patologica è comunemente conosciuta come neuroma di Morton.*

*La manovra di Mulder, importante manovra semeiologica nella diagnosi del neuroma, consiste nella compressione laterale delle teste metatarsali alternata a pressione plantare, che tende a provocare la lussazione plantare della massa intermetatarsale evocando una sensazione di scatto (click di Mulder); tale meccanismo rende maggiormente evidente all'ecografia la massa stessa durante la spremitura dallo spazio intermetatarsale apparendo questa maggiormente prominente sul versante plantare.*

*Nella nostra casistica l'ecografia si è rilevata maggiormente efficace nel riscontro di formazioni espansive intermetatarsali, quando si è utilizzata la valutazione dinamica con una sensibilità nel campione con verifica chirurgica del 65% per la ES e del 100% per la ED; tali risultati appaiono inferiori a quanto riportato in letteratura per quello che riguarda la valutazione statica mentre si allineano ai migliori risultati ottenuti nelle casistiche della letteratura anche più recente considerando la valutazione ecografica dinamica [6–9]. Una giustificazione alla discrepanza nei valori di sensibilità della ecografia statica può essere ricercata nell'uso limitato di tale metodo considerando nella nostra casistica il solo approccio plantare senza l'utilizzo delle usuali tecniche di compressione manuale interdigitale. La valutazione dinamica con compressione laterale delle teste metatarsali aumenta a nostro giudizio comunque la sensibilità della metodica, consentendo il riconoscimento della masserella neuromatosa nella sua espulsione dal canale intermetatarsale, ove la stessa è risalita a causa della pressione plantare o per attrazione da parte di strutture limitrofe come la borsa intermetatarsale (che al tavolo operatorio risulta spesso indissociabile dal nervo).*

*L'indagine RM ha dimostrato nella nostra serie una sensibilità del 72,7% nel riscontro di formazioni espansive intermetatarsali; tale dato risulta inferiore a quanto riportato in letteratura con indagini eseguite peraltro utilizzando apparecchiature ad alto campo [10]. In particolare nella nostra esperienza le sequenze più efficaci nel dimostrare il neuroma sono risultate le SE T1 e T2 nei piani assiale e coronale, mentre le sequenze STIR hanno presentato maggiori problemi nell'identificazione della massa neuromatosa in relazione alla presenza concomitante di edema dei tessuti molli plantari che può mascherarla [10]. Rispetto alla valutazione ecografica la RM ha aggiunto nella nostra casistica il riscontro di una concomitante borsite intermetatarsale in 10 casi, di cui 5 confermati al tavolo operatorio. In 5 casi non operati infine la RM ha potuto comunque giustificare il quadro clinico riscontrando in 3 di essi un quadro compatibile con una capsulite meccanica da appoggio ed in 2 una frattura da durata del 3° metatarso.*

## Conclusioni

*La diagnosi di neuroma resta legata prevalentemente ai rilievi clinici, anche in considerazione dell'elevata incidenza di riscontro di formazioni compatibili con neuromi tanto al-*



masses compatible with neuroma detected at US and MR in asymptomatic patients [11, 12]. Diagnostic imaging (US and MR) is used to confirm the clinical diagnosis, site and number of localisations and in differential diagnosis with other conditions [6, 10, 12].

In our experience, US remains the initial modality for assessing the forefoot of the patient with neuralgic metatarsalgia; dynamic assessment allows easy identification of intermetatarsal masses. MR should be left as a second-level investigation to be carried out after US has failed to justify the clinical findings; when other conditions need to be ruled out, such as stress fractures, bursitis or synovitis; or to better characterise capsulitis, a synovial ganglion or a giant cell tumour of the tendon sheath.

*la ecografia che alla RM in pazienti asintomatici [11, 12]. La diagnostica per immagini (ecografia e RM), viene impiegata per confermare il sospetto clinico, la sede ed il numero di localizzazioni e nella diagnosi differenziale con altre patologie [6, 10, 12].*

*L'ecografia nella nostra esperienza resta metodica di primo impiego nella valutazione dell'avampiede del paziente con metatarsalgia neuralgica consentendo con la valutazione dinamica il facile riscontro di processi espansivi intermetatarsali. L'indagine RM verrà lasciata in seconda istanza quando una ecografia negativa non giustifichi il rilievo clinico e si voglia indagare sulla presenza di altra patologia in diagnosi differenziale, come la frattura da stress, borsiti, sinoviti, o meglio caratterizzare una capsulite, un ganglio sinoviale o un tumore gigantocellulare delle guaine tendinee.*

## References/Bibliografia

- Volpe A, Tognon S, Fassina A (1998) Morton's syndrome: surgical strategies according to the digital nerve pathology. *Foot Ankle Surg* 4:129–137
- Erickson SJ, Canale PB, Guillermo FC et al (1991) Interdigital (Morton) neuroma: High-resolution MR imaging with a solenoid coil. *Radiology* 181:833–836
- Johnson KA (1989) *Surgery of the foot and ankle*. Raven, New York
- Sharp RJ, Wade CM, Hennessy MS et al (2003) The role of MRI and ultrasound imaging in Morton's neuroma and the effect of size of lesions on symptoms. *J Bone Joint Surg Br* 85-B:999–1005
- Teumann NH, Pfirrmann CWA, Chung CB et al (2001) Intermetatarsal spaces: analysis with MR bursography, anatomic correlation, and histopathology in cadavers. *Radiology* 221:478–484
- Quinn TJ, Jacobson JA, Craig JG et al (2000) Sonography of Morton's neuromas. *AJR Am J Roentgenol* 174:1723–1728
- Shapiro PP, Shapiro SL (1995) Sonographic evaluation of interdigital neuromas. *J Foot Ankle Int* 16:604–606
- Redd RA, Peters VJ, Emery SF et al (1989) Morton Neuroma: sonographic evaluation. *Radiology* 171:415–417
- Torriani M, Kattapuram SV (2003) Dynamic Sonography of the forefoot: The sonographic Mulder sign. *AJR Am J Roentgenol* 180:1121–1123
- Zanetti M, Lederhann T, Zollinger et al (1997) Efficacy of MR imaging in patients suspected of having Morton's neuroma. *AJR Am J Roentgenol* 168:529–532
- Zanetti M, Strehle JK, Zollinger H et al (1997) Morton neuroma and fluid in the intermetatarsal bursae on MR images of 70 asymptomatic volunteers. *Radiology* 203:516–520
- Bencardino J, Rosenberg ZS, Beltran J et al (2000) Morton's neuroma: is it always symptomatic? *AJR Am J Roentgenol* 175:649–653