

Edition Tsunami

Le Maillon Faible

Radiologie, La Collection

Echographie

De

L'Appareil Locomoteur

New 2010

Assembled By Tsunami

من صنع إليكم معروفا فكافئوه

فإن لم تجدوا ما تكافئونه

فادعوا له حتى تروا أنكم قد كافأتموه

Assembled By Tsunami

Copyright

Échographie de l'appareil locomoteur

S Bianchi

Les importants progrès technologiques intervenus dans le domaine des ultrasons ont amélioré les résultats de l'échographie de l'appareil locomoteur et enrichi ses indications. En conséquence, la place de cette méthode au sein des examens d'imagerie ostéo-articulaire a changé de manière naturelle et progressive au cours des dernières années. Le couple radiographie conventionnelle-échographie est réalisé en première intention dans de nombreuses situations pathologiques et permet souvent d'établir un diagnostic précis et fiable.

En 2000, un excellent numéro spécial du Journal de Radiologie avait été consacré à l'échographie de l'appareil locomoteur. Le présent

numéro a pour objet de réactualiser les connaissances dans ce domaine avec un esprit pratique et didactique à l'attention des médecins radiologues. Les auteurs de ce travail collégial ont une provenance géographique variée (France, Suisse, Belgique, Italie, Angleterre, Israël). Leur mode d'exercice est soit universitaire, soit libéral. Tous ont au moins deux points en commun : la même conception du partage et de la transmission des connaissances dans le respect de la différence si caractéristique de l'esprit francophone ; leur appartenance à la nouvelle société d'imagerie de l'appareil locomoteur née de la fusion du GETROA (Groupe d'Étude et de Travail en imagerie Ostéo-Articulaire) et du GEL (Groupement des Échographistes de l'appareil Locomoteur).

C'est avec grand plaisir que j'ai accepté de coordonner ce numéro spécial. Je remercie les auteurs pour l'excellent travail accompli et le Journal de Radiologie de nous avoir donné l'opportunité de nous exprimer dans une prestigieuse revue.

Fondation des Grangettes, Institut de Radiologie, Cliniques des Grangettes, 7, Chemin de Grangettes, 1224 Chêne-Bougeries, Suisse.
Correspondance : S Bianchi
E-mail : stefanbianchi@bluewin.ch

Éclairage du clinicien

H Bard

Abstract

Update for the clinician

J Radiol 2005;86:1831-33

Musculoskeletal ultrasound is of considerable value for the clinician, either if performed by himself or by the radiologist. If carried out with adequate equipments, it is an essential imaging modality and, in addition, has a definite role in clarifying the pathogenesis of different disorders and works well as a teaching tool. Advantages of musculoskeletal ultrasound are several and well known. Definite disadvantages include time dedicated to perform the examination, cost of top level equipments and difficulty to judge the examination quality by the clinician. Ultrasound is a useful diagnostic modality that can assess disease's activity, follow-up and recovery and can successfully guide diagnostic and therapeutic interventional procedures.

Key words: Ultrasonography. Good practice.

Résumé

L'échographie de l'appareil locomoteur est d'un apport considérable pour le clinicien, qu'il soit échographiste ou non. Outre l'intérêt pédagogique, sa part dans la compréhension de la pathogénie de certaines lésions et dans l'évaluation des traitements, l'échographie est désormais un outil de diagnostic indispensable sous réserve qu'elle soit correctement pratiquée avec le matériel adapté. Même si ses avantages sont nombreux et bien connus, le temps qu'elle nécessite, le coût des matériels, la difficulté pour le clinicien de contrôler la qualité de l'examen sont des inconvénients certains. L'échographie est utile au diagnostic positif, à l'appréciation de l'activité de la maladie, de l'évolution et de la qualité de la guérison anatomique. Son intérêt est aussi important dans le domaine interventionnel en facilitant des gestes diagnostiques et thérapeutiques.

Mots-clés : Échographie. Bonne pratique.

L'échographie de l'appareil locomoteur est d'un apport considérable pour le clinicien. Il n'est pas besoin d'insister sur les qualités de cet examen qui sont bien connues : faible coût, disponibilité, innocuité, performances du matériel haut de gamme. Il faut néanmoins relativiser ces avantages. Certes le coût de l'examen est relativement faible pour le patient et les organismes d'assurance maladie par rapport aux autres techniques d'imagerie, mais le prix des appareils haut de gamme et le temps « échographiste » qu'il demande ne sont pas négligeables. L'inflation d'examens échographiques qui n'ont pas toujours une pertinence clinique peut accroître la part de l'échographie dans le coût global de l'imagerie médicale. Enfin, contrairement aux autres méthodes d'imagerie, le clinicien doit faire confiance, faute de pouvoir toujours contrôler la qualité de l'examen sur les images fournies.

Notre propos est de tenter de définir ce qui motive la demande d'échographie de la part du clinicien et de savoir dans quelle mesure cet examen répond aux questions posées, d'une part sur un plan général et d'autre part en fonction de la pathologie.

Comme cela devrait toujours être le cas, la demande d'un examen complémentaire nécessite une réflexion préalable : que va m'apporter cet examen dans la prise en charge de mon patient ? Malheureusement, faute de temps suffisant pour interroger et examiner le patient, puis lui expliquer ce qu'il a et ce qu'il faut faire, la prescription d'un examen complémentaire est parfois un moyen de « botter en touche » pour réfléchir et se donner le temps d'une deuxième consultation. Une prescription doit donc comporter des renseignements cliniques, une hypothèse diagnostique et une ou plusieurs questions auxquelles l'échographiste

s'efforcera de répondre. Il n'y a pas de raison pour qu'en échographie l'absence de renseignements cliniques soit recommandée sous prétexte de ne pas influencer le praticien, même si cet examen peut créer ou trouver de fausses images pathologiques. Cela n'interdit pas de pratiquer un examen complet et comparatif.

Indications de l'échographie

Avant d'envisager les différentes circonstances qui conduisent le clinicien à prescrire une échographie, il est bon de rappeler trois rôles majeurs joués par cette exploration. Le premier est son extraordinaire rôle pédagogique, permettant au clinicien qui a la possibilité d'accéder à cet examen soit pendant sa formation, soit dans sa pratique quotidienne, d'accroître considérablement ses connaissances et son raisonnement en trois dimensions. L'importante fréquentation des sessions et des ateliers d'échographie même par ceux qui ne pratiquent pas en est l'illustration. Ce rôle pédagogique est aussi envisageable pour la formation du clinicien à la pratique de gestes interventionnels. Le second rôle est l'apport de l'échographie à la compréhension d'un certain nombre de pathologies, notamment par ses possibilités d'examen dynamique. Les ressauts tendineux en sont un exemple. Enfin l'échographie est un paramètre pouvant être utilisé pour l'évaluation des traitements.

La première indication pour le clinicien est bien sûr diagnostique. En pathologie de l'appareil locomoteur, l'exploration échographique est souvent superficielle, venant donc en complément de l'examen physique alors que dans d'autres pathologies, l'échographie accède à des organes profonds peu ou pas accessibles au clinicien. Dans la très grande majorité des cas, il n'est pas besoin d'une échographie pour faire le diagnostic d'une tendinopathie calcanéenne ou d'une ténosynovite du tibial postérieur ou même d'une rupture complète de la coiffe des rotateurs. Il faut donc que

le diagnostic échographique modifie la prise en charge thérapeutique. Il y a dans ce cas plusieurs motivations possibles : obtenir un diagnostic lésionnel non permis par la clinique, apporter un diagnostic de sévérité, rechercher une association lésionnelle et éliminer un éventuel diagnostic différentiel.

La deuxième indication est le suivi d'une lésion sous traitement, afin d'en apprécier la guérison, sans perdre de vue le fait qu'une guérison ou une cicatrisation échographique n'est pas synonyme de guérison clinique ou de réparation ad integrum. Par exemple, faire une échographie de contrôle d'une aponévrosite plantaire devenue cliniquement asymptomatique semble d'un intérêt limité (1).

La troisième indication est de faciliter ou de permettre un geste interventionnel à visée diagnostique (ponction d'une collection liquidienne, arthrocentèse, biopsie) ou thérapeutique (évacuation d'un hématome, injection d'un médicament) soit par échorepérage, soit par échoguidage. La première méthode consiste à repérer sur la peau le meilleur point d'entrée et de mesurer la profondeur du site à atteindre. L'échoguidage est bien sûr préférable, mais nécessite des précautions d'asepsie qui compliquent ce geste (stérilisation de la sonde, aide d'une tierce personne).

La quatrième indication, propre actuellement à l'échographie, est l'étude dynamique pour mettre en évidence un conflit intrinsèque ou une subluxation tendineuse par exemple.

Enfin, il existe une dernière indication, certes discutable, qui est de rassurer le patient en confortant le diagnostic clinique à une époque où on ne croit qu'à l'image. Les avantages économiques, la disponibilité et l'absence d'irradiation sont des atouts majeurs de l'échographie dans ce cadre avec en outre l'atout de l'image dynamique vue directement et non dénuée d'intérêt pédagogique aussi pour le patient.

Indications selon la pathologie

Il n'est pas question de passer en revue toutes les indications de l'échographie en pathologie de l'appareil locomoteur, mais seulement celles qui paraissent les plus intéressantes (*tableau I*).

La première demande du clinicien est de voir ce que la main ne peut palper ou percevoir. L'échographie se place à double titre, soit en montrant ce que d'autres méthodes plus onéreuses ou irradiantes sont capables d'objectiver, soit en étant plus performantes qu'elles. Des études ont montré que le clinicien pouvait être pris en défaut dans la recherche de synovite, temps essentiel du diagnostic d'un rhumatisme inflammatoire et de l'évaluation des thérapeutiques. Il n'est pas besoin d'insister sur l'intérêt du Doppler couleur, sous réserve que celui-ci soit plus quantifiable et reproductible pour pouvoir comparer des examens entre eux. L'étude de Naredo *et al.* (2), récemment publiée, montre que l'évaluation des synovites par échographie est non seulement significativement supérieure à la clinique, mais qu'elle est mieux corrélée à la Protéine C Réactive et à la vitesse de sédimentation globulaire avec une meilleure fiabilité inter-observateur. Toujours dans les rhumatismes inflammatoires, l'échographie permet de mieux localiser les sites pouvant bénéficier d'une injection de corticoïde (3). En revanche elle est moins performante que l'IRM pour détecter les érosions osseuses et elle ne peut percevoir les hypersignaux intra-osseux. L'échographie est aussi importante pour l'étude des nerfs périphériques, même si la mise en évidence de syndromes canaux n'est pas aisée, en dehors du canal car-

pien. Les pathologies tendineuses et musculaires sont des domaines de prédilection de l'échographie sur lesquels il n'est pas besoin d'insister. En revanche, l'intérêt en pathologie osseuse ne concerne guère que le clinicien qui dispose d'un échographe pour dépister avant la radiographie une fracture de fatigue.

L'échographie interventionnelle est certainement une méthode pleine d'avenir avec le développement de traitements locaux (injections intra-articulaires d'acide hyaluronique, de corticoïdes, et probablement de biothérapies dans un proche avenir) dont le but est de réduire les effets indésirables des traitements par voie générale et d'avoir une plus grande efficacité. Ces traitements exigent que l'injection soit précise. Le moindre coût et l'absence d'irradiation et de risque allergique lié aux produits de contraste devraient permettre à l'échographie de remplacer dans un certain nombre de sites le guidage radiographique, sous réserve d'études confirmant sa faisabilité et sa fiabilité.

Quel avenir ?

Il n'est pas besoin d'être devin pour prédire que l'échographie sera de plus en plus performante avec des appareils qui iront en se miniaturisant ce qui laisse penser qu'ils ne seront pas moins coûteux. Nous n'entrerons pas ici dans le débat de la place du clinicien dans la pratique de l'échographie (4), si ce n'est pour souligner que la connaissance de la clinique est aussi essentielle que celle de l'anatomie pour pratiquer une bonne échographie.

En revanche, il est nécessaire que l'échographie, après une période d'apprentissage de la sémiologie et de définition des protocoles d'examen que l'on doit en grande partie au GEL (Groupe des Échographistes de l'appareil Locomoteur), fasse non seulement l'objet d'études comparatives avec les autres méthodes d'imagerie, mais se valide par rapport à la clinique afin que ses indica-

Tableau I

Principales indications de l'échographie en pathologie de l'appareil locomoteur.

Table I

Main indications for musculoskeletal US.

Synoviale
• épanchement
• épaisseur du pannus
• activité (Doppler couleur)
Cartilage
• épaisseur
• chondrocalcinose
Tendons et ligaments
• enthésopathies
• fissures, ruptures, clivages
• gaine synoviale et paratendon
Bourses et kystes para-articulaires
Nerfs périphériques
• Syndromes canaux
• Tumeurs et pseudotumeurs
Pathologie musculaire
• Traumatique
• Non traumatique
Os (lésions osseuses corticales)
• Fractures de fatigue
• Érosions osseuses

tions soient mieux précisées. Cela permettra d'éviter qu'une pratique excessive ne la pénalise, si séduisante soit-elle.

Références

1. Genc H, Saracoglu M, Nacir B, Erdem HR, Kacar M. Traitement de l'aponévrosite plantaire par infiltration de corticostéroïdes: suivi à long terme par échographie. *Rev Rhum* 2005;72:68-73.
2. Naredo E, Bonilla G, Gamero F, Uson J, Carmona L, Laffon A. Assessment of inflammatory activity in rheumatoid arthritis: a comparative study of clinical evaluation with grey scale and power Doppler ultrasonography. *Ann Rheum Dis* 2005;64:375-81.
3. d'Agostino MA, Ayrat X, Baron G, Ravaud P, Breban M, Dougados M. Impact of ultrasound imaging on local corticosteroid injections of symptomatic ankle, hind-, and mid-foot in chronic inflammatory diseases. *Arthritis Rheum* 2005;53:284-92.
4. Bard H. Le rhumatologue et l'échographe. *Abstract Rhumatologie*, 2004;255:22-5.

Les tendons : lésions inflammatoires et dégénératives

N Sans (1), N Boutry (2), X Demondion (2) et S Lagarde (1)

Abstract

Tendons: inflammatory and degenerative pathology
J Radiol 2005;86:1834-44

Tendons may be affected by a variety of pathologic conditions, including those caused by overuse and inflammatory diseases. Sonography is a very sensitive means of detecting tendonous pathology because of its spatial resolution and its comparative and dynamic capabilities. Moreover its wide availability makes it the preferred first-line imaging modality in these cases. This paper reviews the inflammatory and degenerative conditions that may involve the tendons and their sonographic appearances.

Key words: Sonography. Tendons. Inflammatory lesions.

Résumé

Les tendons peuvent être atteints dans de nombreuses conditions pathologiques, y compris celles provoquées par les pathologies dégénératives et les maladies inflammatoires. L'échographie est un moyen très sensible dans la détection des lésions tendineuses en raison de sa haute résolution spatiale et de ses possibilités comparatives et dynamiques. De plus, sa large disponibilité lui confère la première place des modalités à utiliser pour ces indications. Cet article passe en revue l'aspect échographique des lésions inflammatoires et dégénératives des tendons.

Mots-clés : Tendon. Échographie. Inflammation.

Les atteintes tendineuses inflammatoires et dégénératives sont d'origines diverses. L'échographie autorise une détection très précoce de ces atteintes tendineuses mais aussi de leur environnement et en particulier d'une lésion associée de la gaine synoviale péri-tendineuse. Si les tendinopathies sont le plus souvent d'origines traumatiques ou micro-traumatiques, la démarche diagnostique conduira en premier lieu à éliminer une atteinte inflammatoire rhumatismale ou infectieuse.

Technique et aspect normal du tendon

En raison du caractère souvent très superficiel des tendons atteints dans le cadre des pathologies inflammatoires, il sera nécessaire d'utiliser des sondes de haute fréquence et un matériel d'interposition. Presque tous les tendons de l'organisme ont une échostructure identique (1). En coupe longitudinale (fig. 1) ils présentent une structure globalement hyperéchogène, fibrillaire et parallèle au grand axe du tendon, correspondant aux faisceaux de fibres de collagène qui sont entourées d'une structure d'échogénicité intermédiaire (matrice de protéoglycanes). En fonction de leur épaisseur, certains tendons (les plus volumineux) présenteront une bande périphérique continue d'échogénicité accrue qui constitue la gaine tendineuse. En coupe axiale (fig. 2), le tendon est une structure ovale, limité par un liseré hyperéchogène et présentant un fin piqueté d'échos réguliers. Certains tendons en particulier au niveau des pieds et des mains sont entourés d'une gaine synoviale qui apparaîtra sous la forme d'une fine

bande hypoéchogène. À l'état normal on ne visualise pas d'épanchement au sein de ces gaines tendineuses (à l'exception du tendon tibial postérieur).

Le principal piège diagnostique au niveau des tendons est constitué par l'artéfact d'anisotropie qui survient lorsque le faisceau incident ultrasonore n'est plus perpendiculaire à l'axe du tendon dans le plan axial ou parallèle à lui dans le plan longitudinal ; on constate alors un aspect hypoéchogène du tendon. Ceci est particulièrement fréquent lorsque le trajet anatomique tendineux n'est pas linéaire comme au niveau des fléchisseurs des doigts par exemple, ou au niveau sous-malléolaire. Il faut insister sur l'impérieuse nécessité du contrôle d'éventuelles anomalies dans les deux plans de l'espace.

Le deuxième piège à retenir est dû à l'incurvation des fibres tendineuses au niveau de certaines entheses ou à l'élargissement de ces entheses. Ceci engendre, du fait de la perte du parallélisme des bords, un artéfact hypoéchogène (fig. 3). Enfin, certains tendons de l'organisme possèdent une structure anatomique normale particulière pluristratifiée ; nous citerons en particulier le tendon du subscapulaire et celui du quadriceps (fig. 4).

Les lésions tendineuses inflammatoires

1. Localisations et étiologies

Les lésions réellement inflammatoires touchent soit uniquement le tendon (tendinopathie), soit le tendon et sa gaine synoviale s'il en est pourvu (téno-synovite) soit enfin le tendon et les bourses anatomiques de contiguïté (tendino-bursite).

Les localisations préférentielles des téno-synovites inflammatoires sont essentiellement localisées au niveau des mains, des pieds et de la longue portion du biceps brachial. Les étiologies inflammatoires ou métaboliques sont nombreuses mais la polyarthrite rhumatoïde est de loin la plus fréquente. Les autres pathologies en cause sont : le rhumatisme psoriasique, le lupus érythémateux

(1) Service d'Imagerie Médicale, Centre Hospitalier Régional Universitaire Toulouse-Purpan, place du Docteur Baylac, 31059 Toulouse Cedex. (2) Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, 2, avenue Oscar Lambret, 59037 Lille Cedex.
Correspondance : N Sans
E-mail : sans.n@chu-toulouse.fr

diffus (2), l'amylose, le diabète (3), la goutte (4), les dépôts d'hydroxyapatite (5, 6) et enfin dans de rares cas la sclérodémie (7).

2. Sémiologie

En cas d'inflammation du tendon, celui-ci apparaît augmenté de volume ; il y a une perte de l'aspect fibrillaire et son échogénicité diminue. Les contours tendineux deviennent plus flous voire irréguliers. Des plages hypoéchogènes ou même anéchogènes peuvent apparaître.

L'épanchement correspondant à la ténosynovite, se traduit par un halo péri-tendineux, hypo ou anéchogène. Cette couronne autour du tendon est constituée à la fois, de l'épaississement de la synoviale du péri-tendon et d'un éventuel épanchement au sein de cette gaine (fig. 5). La compression avec la sonde pendant l'examen, peut permettre de différencier l'épanchement liquidien de la composante hypertrophique synoviale. En coupe longitudinale on retrouvera une image en rail, anéchogène, bordant un tendon augmenté de diamètre. Dans le cas d'une origine rhumatoïde, le pannus apparaît comme un épaississement hypoéchogène de la gaine synoviale. L'utilisation du Doppler (en mode couleur ou puissance) permet la mise en évidence d'une hyperhémie focale ou globale traduisant une synovite active (fig. 6). Toutefois on retiendra que l'aspect en Doppler couleur de la vascularisation synoviale est extrêmement variable en fonction des sujets et en fonction des paramètres techniques choisis. Au niveau de l'insertion du tendon ou enthèse, on recherchera un épaississement hypoéchogène et des remaniements érosifs osseux (fig. 7).

Les tendons non pourvus de gaine synoviale (tendon calcanéen en particulier) ne sauraient être le siège d'une ténosynovite ; toutefois les éléments anatomiques de glissement adjacents peuvent être le siège d'une inflammation focale se traduisant aussi par une hyperhémie en mode Doppler.

La principale complication des ténosynovites est la rupture du tendon. Sa fréquence n'est pas bien définie mais survient chez environ 1 % des patients atteints de polyarthrite rhumatoïde. L'effet protéolytique du pannus associé à des contraintes mécaniques (désaxations articulaires) conduit à un amincissement progressif du tendon qui aboutit à terme à sa rupture complète. La rupture survient ainsi le plus souvent où une zone de conflit se surajoute à l'atteinte inflammatoire (tubercule de Lister au niveau des tendons extenseurs du poignet par exemple). Les tendons les plus souvent atteints sont localisés au niveau du poignet : long extenseur du pouce, les extenseurs du 4^e et du 5^e doigt, ainsi que l'extenseur ulnaire du carpe. L'atteinte des tendons fléchisseurs est moins fréquente (fig. 8).

3. Perspectives d'avenir dans les pathologies tendineuses inflammatoires :

l'utilisation des agents de contraste échographique

Si le diagnostic des lésions inflammatoires de la polyarthrite rhumatoïde débutante se base essentiellement sur des critères cliniques et biologiques, l'imagerie de référence repose encore bien souvent et uniquement sur la réalisation de radiographies conventionnelles à la recherche d'érosions osseuses au niveau des petites articulations des mains et des pieds (8). L'apparition du pannus ou de ténosynovites (invisibles sur les radiographies) reste méconnue et l'on peut s'étonner de la discordance de cette attitude radiologique par rapport à la prise en charge thérapeutique beaucoup plus agressive et beaucoup plus précoce. L'échographie

peut dans ces cas et à moindre coût que l'IRM, rechercher de façon très précoce l'existence de synovite sans expression radiologique (9). Si les progrès technologiques en échographie-Doppler permettent désormais d'étudier la microvascularisation de la synoviale, primum movens de l'apparition de la synovite et de la ténosynovite inflammatoire l'injection d'agents de contraste échographique semble encore potentialiser l'efficacité de cette technique. Le principe de l'échographie de contraste repose sur l'injection intraveineuse de micro-bulles d'air (calibrées entre 2 et 10 μ) qui vont se comporter comme des « écho-traceurs intravasculaires » et réfléchir les ultrasons avec une intensité beaucoup plus importante que les tissus de moindre vascularisation. Il semble ainsi possible de prédire l'efficacité thérapeutique en fonction de la modification de cette microvascularisation. D'un point de vue technique, il est indispensable d'utiliser des appareils d'échographie possédant un logiciel spécifique d'imagerie de contraste, permettant le recueil et l'analyse des différents éléments physiques engendrés par les microbulles et en particulier leur comportement harmonique.

L'analyse du rehaussement est possible et utilise encore le plus souvent des méthodes semi-quantitatives où l'on mesure le nombre de « spots » apparaissant après l'injection du produit de contraste. Des mesures quantitatives spécifiques sont en cours d'évaluation utilisant des logiciels calculant l'intensité du signal de flux Doppler couleur ou Doppler puissance au sein de zones d'intérêt, comme cela se réalise déjà en imagerie par résonance magnétique (10).

Plusieurs auteurs (11-14) ont déjà démontré le fort potentiel diagnostique de l'écho-Doppler pour la caractérisation des synovites et ténosynovites rhumatoïdes débutantes (en particulier en l'absence d'érosion osseuse sur les radiographies) ainsi que leur caractère actif ou non en fonction de l'hyperhémie engendrée. Il existe une concordance entre le degré d'hyperhémie péri-tendineuse et les signes cliniques, biologiques et histologiques d'activité de la polyarthrite rhumatoïde. D'autres travaux ont montré (15, 16) l'intérêt de l'écho-Doppler au cours du suivi thérapeutique des patients. On recherchera dans ce cas une diminution de la perfusion synoviale péri-tendineuse, parallèlement à l'amélioration clinique et biologique, après instauration d'un traitement (anti-TNF alpha en particulier). Dans ce même cadre, l'utilisation des produits de contraste ultrasonores semble prometteuse en permettant une meilleure détection de l'hyperhémie (17, 18). L'étude de Klauser *et al.* (17) réalisée chez 46 patients et comparant la vascularisation synoviale des tendons des doigts en mode Doppler avant puis après injection d'un produit de contraste ultrasonore va dans ce sens. Ces auteurs retrouvent après injection de microbulles une hyperhémie synoviale dans 49 % des articulations jugées cliniquement inactives ; sans produit de contraste le taux d'hyperhémie n'était que de 8 %. Les mêmes résultats sont retrouvés concernant les articulations estimées cliniquement actives ou très actives avec des chiffres passant de 52 et 58 % (sans injection) à 98 et 100 % (avec produit de contraste).

Les lésions tendineuses dégénératives

1. Sémantique

Le terme de « tendinite » est trop souvent employé à tort et implique implicitement une composante inflammatoire. Elle peut certes relever parfois d'une étiologie rhumatismale ou métabolique,

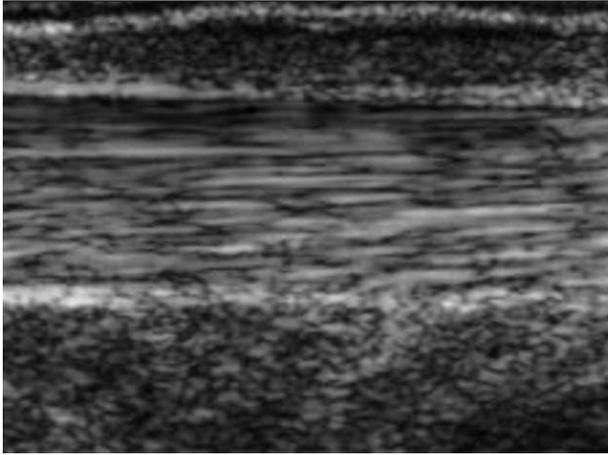


Fig. 1 : Aspect normal du tendon en coupe longitudinale. Le tendon apparaît comme une structure fibrillaire où les fibres de collagène sont hyperéchogènes, la matrice de protéoglycane étant plus hypoéchogène. Notez la gaine péritendineuse hyperéchogène.

Fig. 1: *Normal tendon appearance on a longitudinal US scan. The tendon appears as a fibrillar structure. The collagen fibers are hyperechoic whereas the matrix of proteoglycans is more hypoechoic. Note the hyperechoic tendon sheath.*

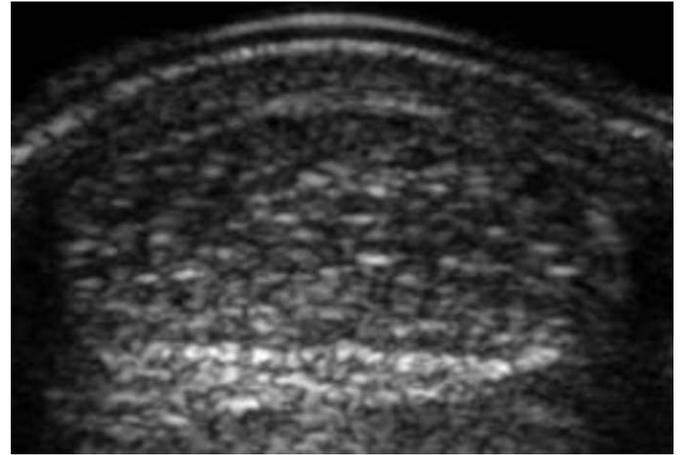


Fig. 2 : Aspect normal du tendon en coupe axiale. Le tendon est ovalaire, limité par un liseré hyperéchogène et présente un aspect piqueté d'échos réguliers.

Fig. 2: *Normal tendon appearance on a transverse US scan. The tendon is oval-shaped, surrounded by a hyperechoic rim and exhibits a punctuate appearance.*

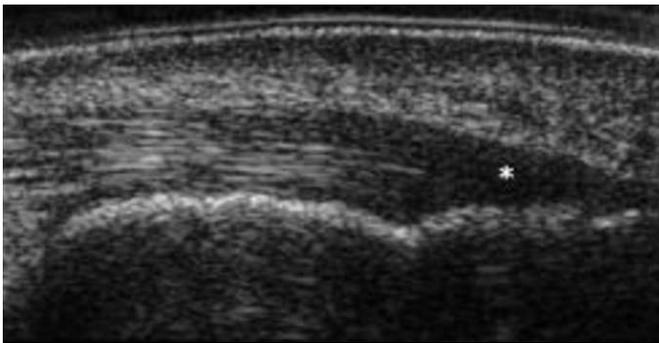


Fig. 3 : Enthèse du tendon calcanéen. L'obliquité des fibres tendineuses à son enthèse se traduit par un artefact d'anisotropie et un aspect hypoéchogène de l'enthèse.

Fig. 3: *Achilles tendon enthesis. The tendon fibers are obliquely oriented at the enthesis. This is responsible for a hypoechoic appearance of the enthesis which is called anisotropy.*

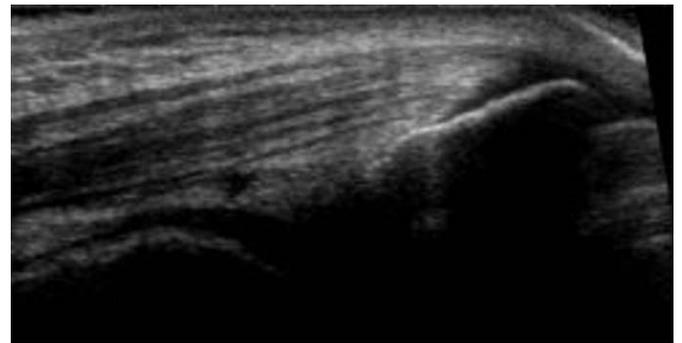


Fig. 4 : Aspect pluristratifié physiologique. Structure anatomique normale particulière en strates du tendon quadricipital.

Fig. 4: *Normal plurilamellar appearance. Normal plurilamellar appearance specific to the quadriceps tendon.*

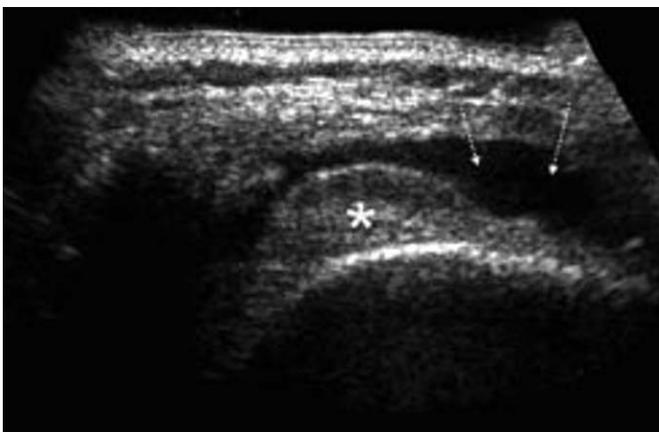


Fig. 5 : Ténosynovite du long biceps brachial. Le tendon du long biceps (*) présente un épaissement synovial important (flèche) associé à un épanchement anéchogène.

Fig. 5: *Long biceps tenosynovitis. The long head of the biceps brachii (*) shows significant thickening of the synovial tendon sheath (arrow) associated with anechoic fluid within the sheath.*

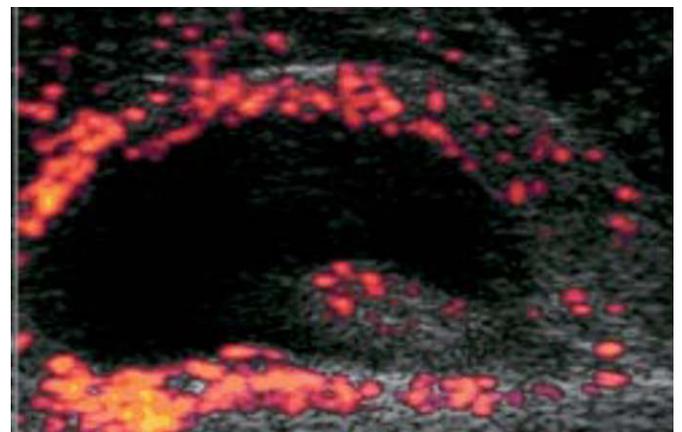
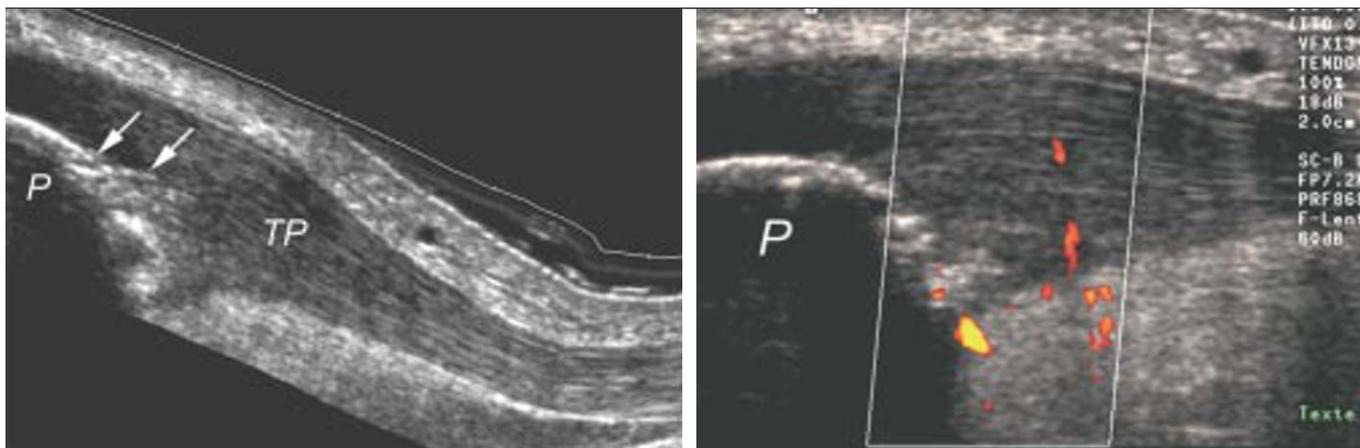


Fig. 6 : Ténosynovite du long biceps brachial. Hyperhémie très importante mise en évidence en mode Doppler puissance.

Fig. 6: *Long biceps tenosynovitis. Marked hyperemia is noted with power Doppler sonography.*



a|b

Fig. 7 : Enthésite proximale du tendon patellaire dans le cadre d'un rhumatisme psoriasique.

a Coupe échographique sagittale en mode panoramique montrant un important épaissement hypoéchogène de la partie proximale du tendon patellaire de même qu'un aspect remanié, érosif du pôle inférieur de la patella (flèches).

b Présence d'une hyperhémie intra- et péri-tendineuse en mode Doppler énergie. P = patella ; TP = tendon patellaire.

Fig. 7: *Proximal patellar enthesitis in a patient with psoriatic arthritis.*

a Longitudinal, extended field of view shows significant hypoechoic thickening of the proximal patellar tendon as well as irregularities of the bone surface of the patellar apex (arrows).

b Hyperemia is noted within and around the tendon with power Doppler sonography. P = patella; TP = patellar tendon.

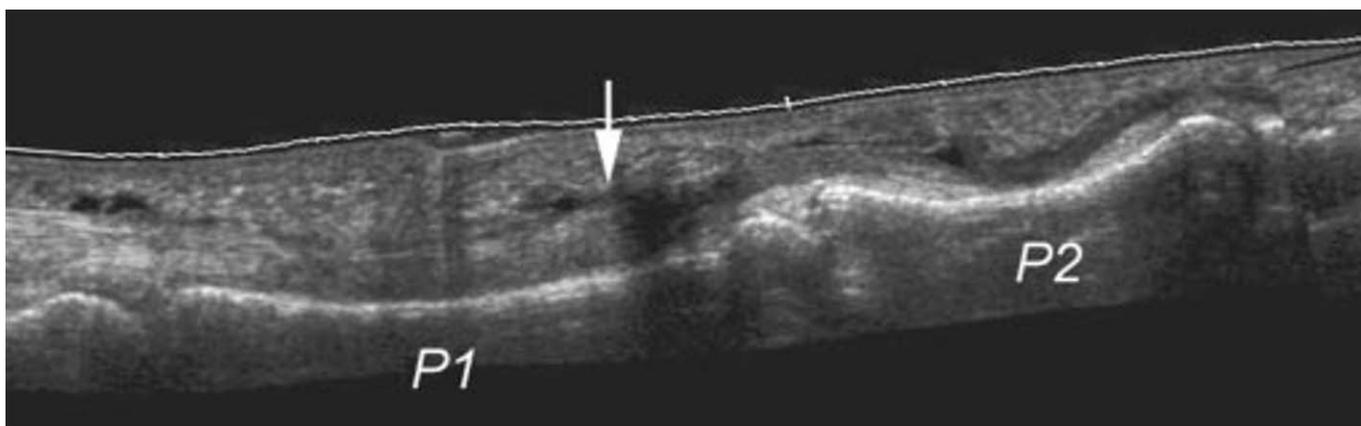


Fig. 8 : Rupture des tendons des muscles fléchisseurs du 3^e rayon. Coupe échographique sagittale en mode panoramique montrant l'importance de la rétraction tendineuse (flèche). P1 = phalange proximale ; P2 = phalange moyenne.

Fig. 8: *Tear of the flexors of the third digit.* Longitudinal, extended field of view shows the amount of retraction (arrow). P1 = proximal phalanx; P2 = middle phalanx.

mais se révèle le plus souvent liée à une origine d'hyperutilisation. Le terme de tendinose ou de tendinopathie semble plus adapté car l'histologie ne montre jamais d'inflammation.

2. Histoire naturelle

L'histoire naturelle du vieillissement tendineux montre qu'il existe des modifications structurales et morphologiques des tendons sans que cela n'entraîne nécessairement un retentissement symptomatique. Ceci est largement démontré au niveau de l'épaule et des tendons de la coiffe des rotateurs où leur rupture reste le plus souvent asymptomatique chez la personne âgée. Chez le sujet plus jeune, l'hypersollicitation tendineuse (activité sportive ou professionnelle intensive) entraîne l'apparition de lésions plus précoces qui peuvent s'étaler dans le temps. On retrouvera alors des lésions récentes associées à des séquelles cicatricielles. Dans ce cadre, l'écho-Doppler se révèle particulièrement performant afin de mettre en évidence une hyperhémie (19, 20) qui traduit la pré-

sence de lésions en phase active douloureuse (21-25). L'analyse spectrale du Doppler montrerait également l'existence de haute résistance dans les formes cicatricielles péjoratives et des flux de basse résistance dans les atteintes de meilleur pronostic.

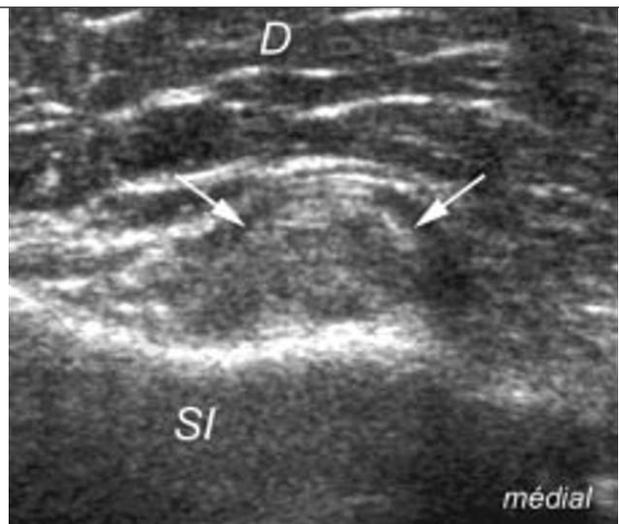
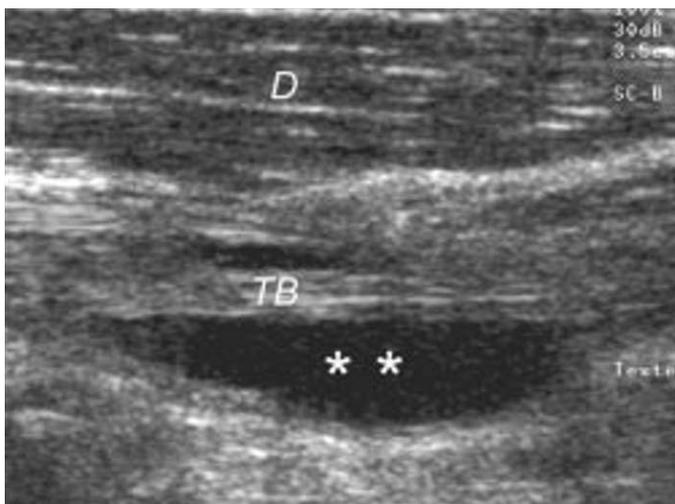
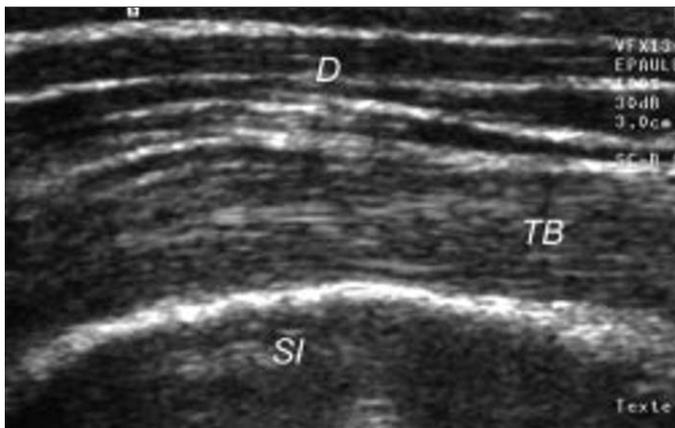
3. Siège des principales atteintes dégénératives tendineuses

Sans pouvoir être exhaustif, le *tableau 1* regroupe les localisations les plus souvent atteintes dans la pathologie dégénérative tendineuse.

4. Sémiologie et formes cliniques

4.1. La tendinopathie globale

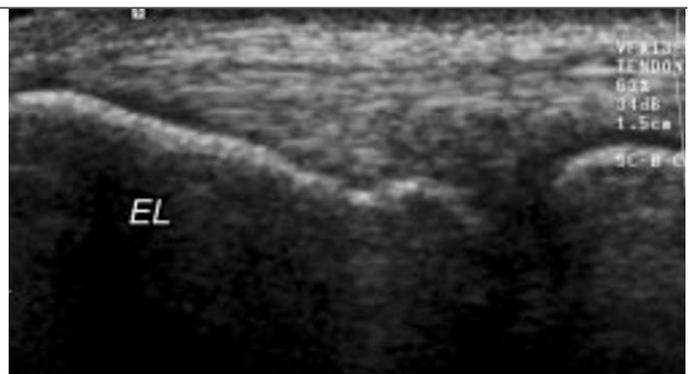
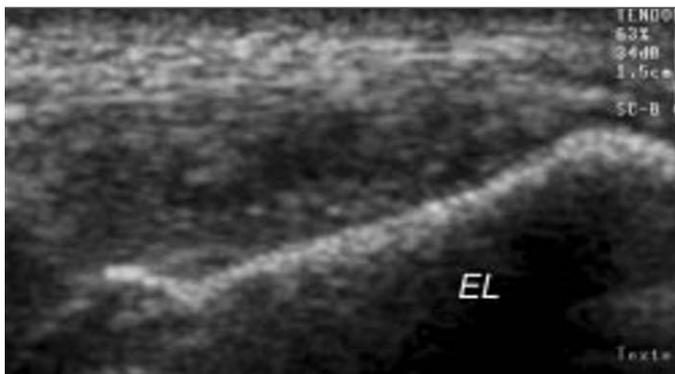
En coupe longitudinale, le tendon apparaît augmenté de volume avec la perte de l'aspect parallèle de ses bords (*fig. 19*). Il existe d'autre part une tuméfaction fusiforme hypoéchogène, à bords



a|b
c|

Fig. 9 : Tendinopathie du chef long du muscle biceps brachial.
a-b Coupes échographiques sagittale (a) et transversale (b) montrant l'augmentation de volume et le caractère hypoéchogène, hétérogène du tendon du chef long du muscle biceps brachial (flèches).
c Discrète subluxation médiale tendineuse. Notez l'épanchement liquidien associé de la gaine synoviale (*). D = muscle deltoïde ; SI = sillon intertuberculaire ; TB = tendon du chef long du muscle biceps brachial.

Fig. 9 : Long biceps tendinosis.
a-b Longitudinal (a) et transverse (b) US scans show swelling, hypoechoic and heterogeneous appearance of the tendon (arrows).
c Mild medial subluxation of the tendon. Note the associated joint effusion within the synovial sheath (*). D = deltoid muscle; SI = intertubercular groove; TB = long biceps tendon.



a|b
c|

Fig. 10 : Épicondylite latérale.
a Coupe échographique coronale montrant l'épaississement hypoéchogène du tendon commun des muscles épicondylaires latéraux.
b Par comparaison, noter du côté sain l'aspect fibrillaire et hyperéchogène du tendon commun des muscles épicondylaires latéraux.
c Présence d'une hyperhémie intra-tendineuse en mode Doppler énergie. EL = épicondyle latéral.

Fig. 10 : Lateral epicondylitis.
a Coronal US scan shows hypoechoic swelling of the common tendon from the lateral extensor muscles.
b For comparison, the common tendon from the lateral extensor muscles of the other side shows a fibrillar and hyperechoic appearance.
c Hyperemia is noted within the tendon with power Doppler sonography. EL = lateral epicondyle.

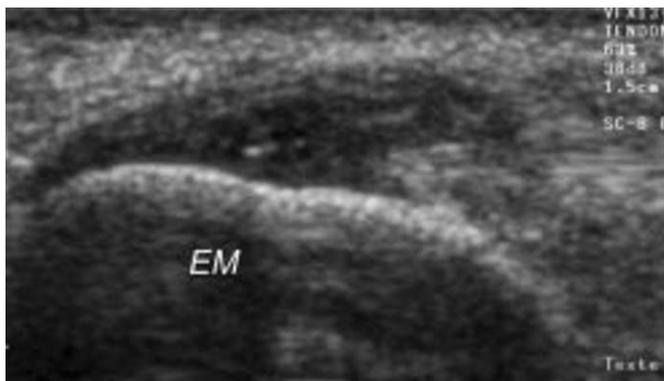


Fig. 11 : **Épicondylite médiale.** Coupe échographique coronale montrant l'épaississement hypoéchogène du tendon commun des muscles épicondyliens médiaux. EM = épicondyle médial.

Fig. 11: **Medial epicondylitis.** Coronal US scan shows hypoechoic swelling of the common tendon from the medial flexor muscles. EM = medial epicondyle.

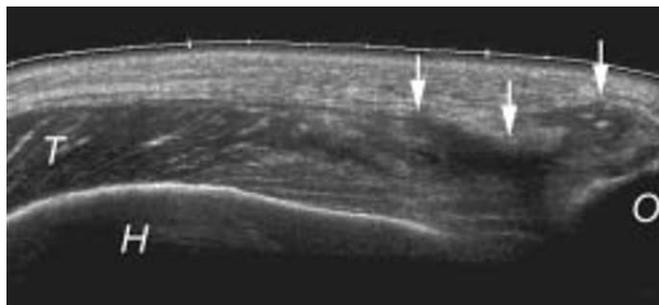


Fig. 12 : **Rupture du tendon du muscle triceps brachial.** Coupe échographique sagittale en mode panoramique montrant la présence d'un défaut tendineux (flèches) à l'insertion sur l'olécrâne. H = humérus ; O = olécrâne ; T = muscle triceps brachial.

Fig. 12: **Triceps tendon rupture.** Longitudinal, extended field of view shows a defect within the tendon (arrows) at the insertion on the olecranon. H = humerus ; O = olecranon ; T = triceps muscle.

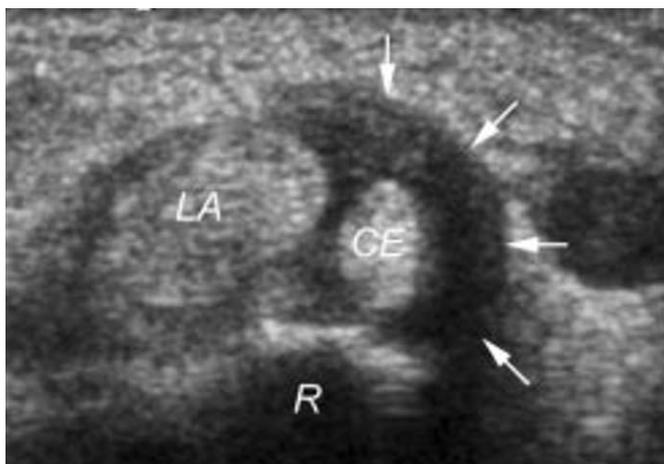


Fig. 13 : **Ténosynovite de De Quervain.** Coupe échographique transversale du premier compartiment de la face dorsale du poignet montrant l'épaississement hypoéchogène de la gaine synoviale du tendon du muscle court extenseur du pouce (flèches). Le tendon du muscle long abducteur du pouce est hétérogène et augmenté de volume. La présence d'un septum cloisonnant la gaine synoviale commune des tendons des muscles long abducteur et court extenseur du pouce explique l'épaississement exclusif de la gaine synoviale du tendon du muscle court extenseur du pouce. R = radius ; LA = tendon du muscle long abducteur du pouce ; CE = tendon du muscle court extenseur du pouce.

Fig. 13: **De Quervain's tendinitis.** Transverse US scan over the first extensor compartment of the wrist shows hypoechoic thickening of the synovial sheath of the extensor pollicis brevis tendon (arrows). The abductor pollicis longus tendon is heterogeneous and swollen. The presence of a septum splitting the common synovial sheath of the extensor pollicis brevis and abductor pollicis longus tendons explains why the synovial sheath of the extensor pollicis brevis tendon is the only one to be thickened. R = radius; LA = abductor pollicis longus tendon; CE = extensor pollicis brevis tendon.

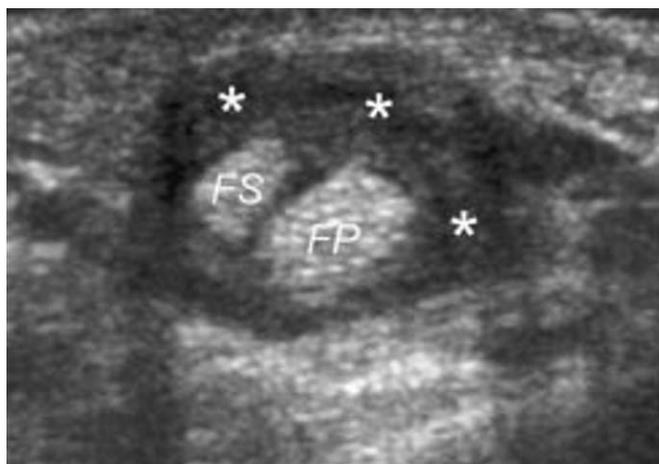


Fig. 14 : **Ténosynovite proliférative des tendons des muscles fléchisseurs du 2^e rayon.** Coupe échographique transversale de la face palmaire du 2^e rayon montrant l'épaississement hypoéchogène de la gaine synoviale des tendons des muscles fléchisseurs (*). Présence d'une hyperhémie synoviale en mode Doppler énergie. FP = tendon du muscle fléchisseur profond ; FS = tendon du muscle fléchisseur superficiel.

Fig. 14: **Flexor proliferative tenosynovitis of the second digit.** Transverse palmar US scan of the second digit shows the hypoechoic thickening of the synovial sheath of the flexor tendons (*). Synovial hyperemia is identified with power Doppler sonography. FP = flexor digitorum profundus tendon; FS = flexor digitorum superficialis tendon.

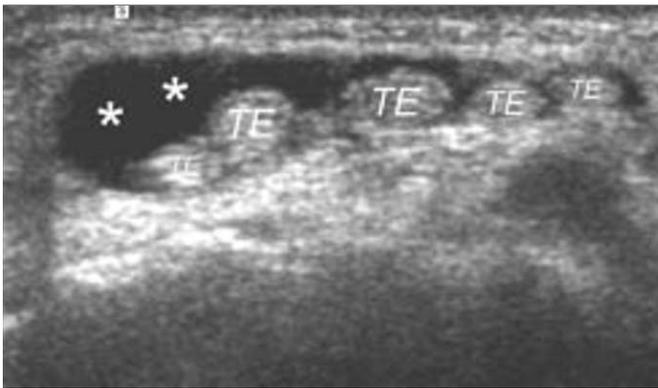
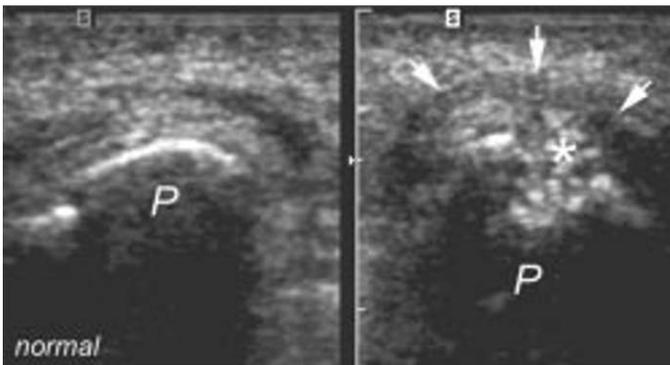


Fig. 15 : Ténosynovite exsudative des tendons des muscles extenseurs communs des doigts. Coupe échographique transversale montrant l'épanchement liquidien (*) de la gaine synoviale. TE = tendons extenseurs.

Fig. 15: *Extensor exsudative tenosynovitis.* Transverse US scans shows the effusion (*) within the synovial sheath. TE = extensor tendons.



a|b

Fig. 16 : Entésopathie calcifiante du tendon du muscle fléchisseur ulnaire du carpe.

a Coupes échographiques comparatives transversales de l'enthèse du muscle fléchisseur ulnaire du carpe montrant la calcification tendineuse (*) se résorbant partiellement en intra-osseux. Notez l'épaississement hypoéchogène du tendon (flèches).
b Coupe tomodensitométrique transversale correspondante. P = pisiforme.

Fig. 16: *Flexor carpi ulnaris calcific entesopathy.*

a Comparative transverse US scans of flexor carpi ulnaris entheses shows the calcific deposit (*) partially resorbed within the bone. Note the hypoechoic thickening of the tendon (arrows).
b Corresponding transverse CT scan. P = pisiform bone.

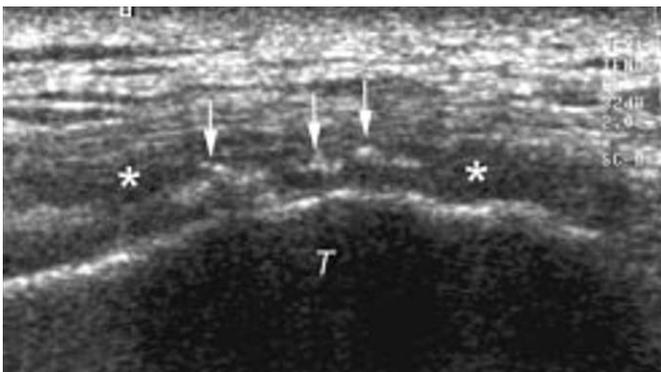


Fig. 17 : Entésopathie calcifiante du tendon moyen glutéal. Coupe échographique coronale montrant l'épaississement tendineux (*) et la présence de calcifications (flèches). T = grand trochanter.

Fig. 17: *Calcific gluteus medius entesopathy.* Coronal US scan shows tendon thickening (*) and calcifications (arrows). T = great trochanter.

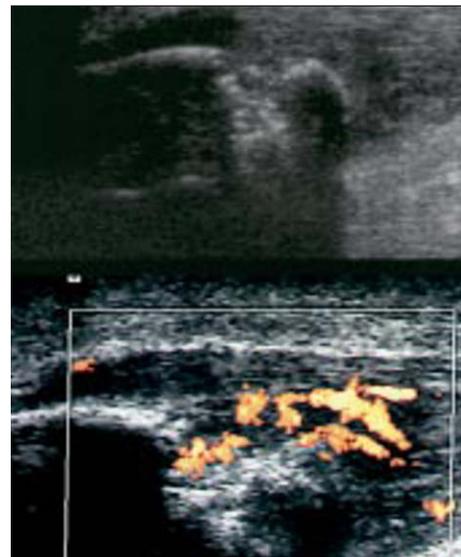


Fig. 18 : Entésopathie du ligament patellaire sur lésion séquellaire d'un syndrome de Sinding Larsen Johansson. Érosions osseuses (*) et hyperhémie péri-tendineuse mise en évidence par le Doppler puissance.

Fig. 18: *Patellar entesopathy associated with sequelae of Sinding-Larsen-Johansson disease.* Bone erosions (*) and hyperemia around the tendon are identified with power Doppler sonography.

floos. En coupe axiale on recherchera une déformation convexe essentiellement sur le versant profond du tendon. L'ensemble de ces anomalies échographiques est dû à une désorganisation architecturale du tendon liée à une modification physico-chimique des protéoglycanes ; il n'y a pas d'inflammation mise en évidence.

Si l'étiologie micro-traumatique par hypersollicitation prédomine largement dans la survenue des tendinopathies globales, on

peut souligner l'existence d'atteintes liées à une prise médicamenteuse (fluoroquinolones en particulier).

4.2. La tendinopathie focale

Elle correspond essentiellement à un processus chronique cicatriciel. On retrouvera en échographie une formation nodulaire qui signe la désorganisation focale de l'architecture tendineuse, en rapport avec une lésion traumatique ou inflammatoire anté-

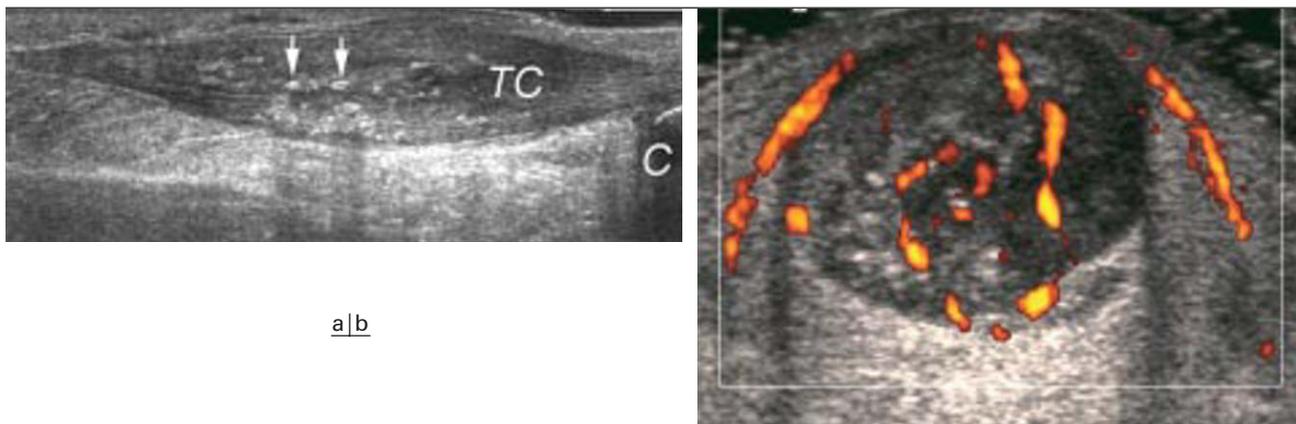


Fig. 19 : Tendinopathie calcanéenne fusiforme.

a Coupe échographique sagittale en mode panoramique montrant l'important épaissement fusiforme du tendon calcanéen. Noter la présence de calcifications intra-tendineuses plus ou moins atténuantes (flèches). C = calcaneus ; TC = tendon calcanéen.
b Présence d'une importante hyperhémie intra- et péri-tendineuse en mode Doppler énergie.

Fig. 19: Achilles fusiform tendinosis.

a Longitudinal, extended field of view shows significant fusiform swelling of the Achilles tendon. Note the presence of calcifications within the tendon with or without acoustic shadowing (arrows). C = calcaneus; TC = Achilles tendon.
b Significant hyperemia is identified in and around the tendon with power Doppler sonography.

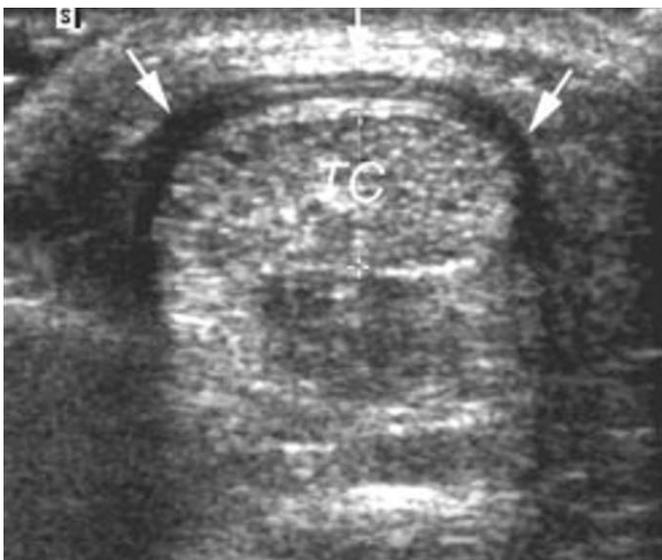


Fig. 20 : Pérítendinopathie calcanéenne. Coupe échographique transversale du tendon calcanéen montrant l'épaississement hypoéchogène du péric tendon (flèches). TC = tendon calcanéen.

Fig. 20: Achilles paratenonitis. Transverse US scan of Achilles tendon shows hypoechoic thickening of the paratenon (arrows). TC = Achilles tendon.

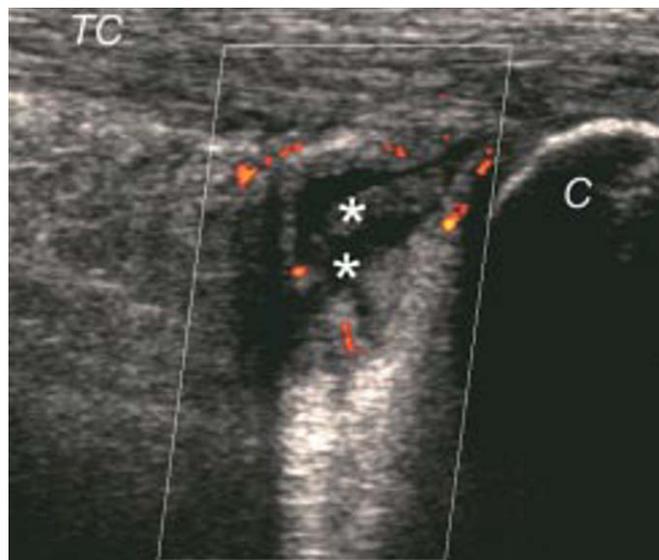


Fig. 21 : Bursite pré-achilléenne dans le cadre d'une spondylarthrite ankylosante. Coupe échographique sagittale en mode Doppler énergie montrant l'épaississement et l'hyperhémie des parois synoviales de la bourse de même que l'épanchement liquidien associé (*). C = calcaneus ; TC = tendon calcanéen.

Fig. 21: Retrocalcaneal bursitis in a patient with ankylosing spondylitis. Power Doppler longitudinal US scan shows thickening and hyperemia of the synovial walls of the bursa as well as associated effusion (*). C = calcaneus; TC = Achilles tendon.

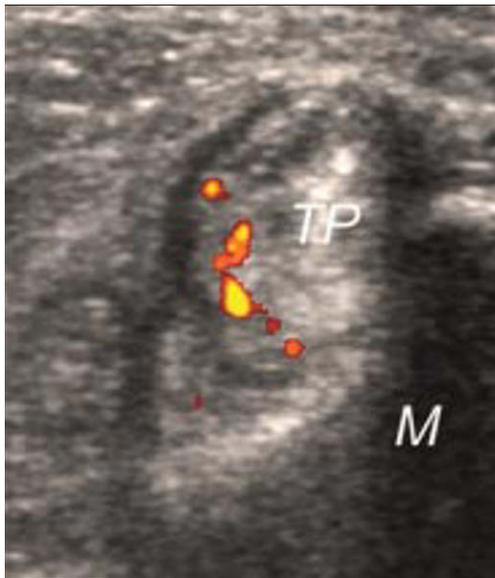


Fig. 22 : Tendinopathie du muscle tibial postérieur. Coupe échographique transversale en mode Doppler énergie montrant l'augmentation de volume et le caractère nettement hétérogène du tendon, un discret épaissement de la gaine synoviale et une hyperhémie intra-tendineuse. M = malléole médiale, TP = tendon du muscle tibial postérieur.

Fig. 22: *Posterior tibial tendinosis. Power Doppler transverse US scan shows thickening and heterogeneous appearance of the tendon, mild thickening of the synovial sheath, and hyperemia within the tendon. M = medial malleolus, TP = posterior tibial tendon.*



Fig. 23 : Tendinopathie nodulaire du tendon calcanéen (collection Dr JL Brasseur). Aspect nodulaire (*) hypoéchogène (mais non liquidien) de la face profonde du tendon.

Fig. 23: *Achilles nodular tendinosis (courtesy of JL Brasseur, MD). Nodular (*) and hypoechoic appearance (but without any fluid) of the deep portion of the tendon.*

rière. Le nodule cicatriciel présente une échogénicité intermédiaire (fig. 23) et non liquidienne, ce qui traduirait une lésion kystique intra-tendineuse péjorative. À un stade plus chronique le tendon reste globalement augmenté, son échogénicité inhomogène mais ses contours retrouvent un aspect plus régulier. Comme pour la tendinopathie globale, on peut retrouver également des calcifications hyperéchogènes cicatricielles et estimer en mode Doppler la vascularisation des nodules et leur caractère actif ou non.

4.3. Les enthésopathies

Les enthésopathies correspondent à une entité à distinguer des atteintes du corps tendineux. L'origine traumatique par hypersollicitation prédomine largement, mais ce type d'atteinte est également retrouvé dans les spondylarthropathies.

Au stade précoce (fig. 7), on met en évidence un élargissement de la zone d'enthèse qui devient hypoéchogène (à différencier de l'artefact d'anisotropie). En Doppler, une hyperhémie réactionnelle peut être visualisée au sein même du tendon, ce qui la distingue des hypervascularisations inflammatoires qui siègent généralement au niveau de la corticale osseuse. Dans les stades chroniques, les altérations échographiques sont diverses et variées. L'enthèse devient très hétérogène, hypoéchogène et présente des spicules calcifiés ou ossifiés. Ces spicules prennent naissance au niveau de la berge osseuse de l'enthèse et seront ainsi différenciés des calcifications intra-tendineuses. Ici également, une hyperhémie réactionnelle peut être détectée, variable en fonction du caractère évolutif de la lésion. Enfin, des bursites peuvent être mises en évidence sous la forme d'une zone anéchogène au voisinage des enthésopathies.

4.4. La péri-tendinopathie

Elle constitue dans le cadre des lésions dégénératives une entité particulière et un tournant évolutif car il existe alors une véritable lésion inflammatoire retrouvée à l'histologie. Son origine découle essentiellement d'une surcharge mécanique et de phénomènes

Tableau I

Localisations principales de pathologie dégénérative tendineuse

Table I

Main localisation of degenerative lesions of tendons

Articulation	Tendon atteint
Épaule	Supra-épineux Infra-épineux Sub-scapulaire Long biceps (fig. 9)
Coude	Epicondyliens latéraux (fig. 10) Epicondyliens médiaux (fig. 11) Triceps brachial (fig. 12)
Poignet	Court extenseur du pouce Long abducteur du pouce (fig. 13) Fléchisseurs des doigts (fig. 14) Extenseurs des doigts (fig. 15) Extenseur ulnaire du carpe Fléchisseur ulnaire du carpe (fig. 16)
Bassin	Adducteurs Moyen glutéal (fig. 17)
Genou	Quadriceps Ligament patellaire (fig. 18) Tendons de la patte d'oie Bandelette ilio-tibiale
Cheville	Tendon calcanéen (fig. 19, 20, 21) Tibial postérieur (fig. 22) Tibial antérieur Fibulaires

de friction au niveau du tendon. Comme pour les lésions d'origine inflammatoire (cf. supra), l'échographie retrouve un épaississement péri-tendineux qui détermine l'image classique en « rail » dans le plan longitudinal et en « anneau » dans le plan axial (fig. 20). La composante liquidienne anéchogène et la vascularisation péri-tendineuse dépendent du mécanisme lésionnel et de sa durée d'évolution. Dans les cas plus rares de ténosynovite adhésive le halo liquidien péri-tendineux fait défaut et c'est l'absence de mobilisation du tendon au sein de sa gaine (aspect dynamique de l'échographie) qui emporte le diagnostic.

Conclusion

Après un examen clinique bien conduit, l'imagerie d'une lésion tendineuse se fera dans l'immense majorité des cas grâce au couple « radiographies standard et échographie ». L'échographie permet ainsi le démembrement des différentes lésions dégénératives ou inflammatoires des tendons en précisant le siège, la gravité mais aussi en évaluant le caractère « actif » ou séquellaire de l'atteinte.

Références

- Fornage BD, Rifkin MD. Ultrasound examination of tendons. *Radiol Clin North Am* 1988;26(1):87-107.
- Lanteri M, Ptasznik R, Constable L, Dawborn JK. Ultrasound changes in the wrist and hand in hemodialysis patients. *Clin Nephrol* 1997;48(6):375-80.
- Sibbitt WL, Jr., Eaton RP. Corticosteroid responsive tenosynovitis is a common pathway for limited joint mobility in the diabetic hand. *J Rheumatol* 1997;24(5):931-6.
- Weinzweig J, Fletcher JW, Linburg RM. Flexor tendinitis and median nerve compression caused by gout in a patient with rheumatoid arthritis. *Plast Reconstr Surg* 2000;106(7):1570-2.
- Steinbach LS, Resnick D. Calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease: imaging perspectives. *Curr Probl Diagn Radiol* 2000;29(6):209-29.
- Binder AI, Sheppard MN, Paice E. Extensor tendon rupture related to calcium pyrophosphate crystal deposition disease. *Br J Rheumatol* 1989;28(3):251-3.
- Rosenbaum LH, Swartz WM, Rodnan GP, Medsger TA, Jr. Wrist drop in progressive systemic sclerosis (scleroderma): complete rupture of the extensor tendon mechanism. *Arthritis Rheum* 1985;28(5):586-9.
- van der Heijde DM, van Leeuwen MA, van Riel PL, Koster AM, van 't Hof MA, van Rijswijk MH, et al. Biannual radiographic assessments of hands and feet in a three-year prospective followup of patients with early rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 1992;35(1):26-34.
- Boutry N, Larde A, Lapegue F, Solau-Gervais E, Flipo RM, Cotten A. Magnetic resonance imaging appearance of the hands and feet in patients with early rheumatoid arthritis. *J Rheumatol* 2003;30(4):671-9.
- Ostergaard M, Hansen M, Stoltenberg M, Gideon P, Klarlund M, Jensen KE, et al. Magnetic resonance imaging-determined synovial membrane volume as a marker of disease activity and a predictor of progressive joint destruction in the wrists of patients with rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 1999;42(5):918-29.
- Hau M, Schultz H, Tony HP, Keberle M, Jahns R, Haerten R, et al. Evaluation of pannus and vascularization of the metacarpophalangeal and proximal interphalangeal joints in rheumatoid arthritis by high-resolution ultrasound (multidimensional linear array). *Arthritis Rheum* 1999;42(11):2303-8.
- Qvistgaard E, Rogind H, Torp-Pedersen S, Terslev L, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Quantitative ultrasonography in rheumatoid arthritis: evaluation of inflammation by Doppler technique. *Ann Rheum Dis* 2001;60(7):690-3.
- Schmidt WA, Volker L, Zacher J, Schlafke M, Ruhnke M, Gromnica-Ihle E. Colour Doppler ultrasonography to detect pannus in knee joint synovitis. *Clin Exp Rheumatol* 2000;18(4):439-44.
- Walther M, Harms H, Krenn V, Radke S, Faehndrich TP, Gohlke F. Correlation of power Doppler sonography with vascularity of the synovial tissue of the knee joint in patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 2001;44(2):331-8.
- Hau M, Kneitz C, Tony HP, Keberle M, Jahns R, Jenet M. High resolution ultrasound detects a decrease in pannus vascularisation of small finger joints in patients with rheumatoid arthritis receiving treatment with soluble tumour necrosis factor alpha receptor (etanercept). *Ann Rheum Dis* 2002;61(1):55-8.
- Stone M, Bergin D, Whelan B, Maher M, Murray J, McCarthy C. Power Doppler ultrasound assessment of rheumatoid hand synovitis. *J Rheumatol* 2001;28(9):1979-82.
- Klauser A, Frauscher F, Schirmer M, Halpern E, Pallwein L, Herold M, et al. The value of contrast-enhanced color Doppler ultrasound in the detection of vascularization of finger joints in patients with rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 2002;46(3):647-53.
- Szkudlarek M, Court-Payen M, Strandberg C, Klarlund M, Klausen T, Ostergaard M. Contrast-enhanced power Doppler ultrasonography of the metacarpophalangeal joints in rheumatoid arthritis. *Eur Radiol* 2003;13(1):163-8.
- Peers KH, Brys PP, Lysens RJ. Correlation between power Doppler ultrasonography and clinical severity in Achilles tendinopathy. *Int Orthop* 2003;27(3):180-3.
- Terslev L, Qvistgaard E, Torp-Pedersen S, Laetgaard J, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Ultrasound and Power Doppler findings in jumper's knee — preliminary observations. *Eur J Ultrasound* 2001;13(3):183-9.
- Marshall H, Howarth C, Larkman DJ, Herlihy AH, Oatridge A, Bydder GM. Contrast-enhanced magic-angle MR imaging of the Achilles tendon. *AJR Am J Roentgenol* 2002;179(1):187-92.
- Movin T, Kristoffersen-Wiberg M, Rolf C, Aspelin P. MR imaging in chronic Achilles tendon disorder. *Acta Radiol* 1998;39(2):126-32.
- Movin T, Kristoffersen-Wiberg M, Shalabi A, Gad A, Aspelin P, Rolf C. Intratendinous alterations as imaged by ultrasound and contrast medium-enhanced magnetic resonance in chronic achillobodynia. *Foot Ankle Int* 1998;19(5):311-7.
- Shalabi A. Magnetic resonance imaging in chronic Achilles tendinopathy. *Acta Radiol Suppl* 2004(432):1-45.
- Shalabi A, Kristoffersen-Wiberg M, Papadogiannakis N, Aspelin P, Movin T. Dynamic contrast-enhanced mr imaging and histopathology in chronic achilles tendinosis. A longitudinal MR study of 15 patients. *Acta Radiol* 2002;43(2):198-206.

Suite en page suivante.

Histoire de la maladie

Madame B. âgée de 65 ans présente une tuméfaction globale du 5^e doigt de la main droite.

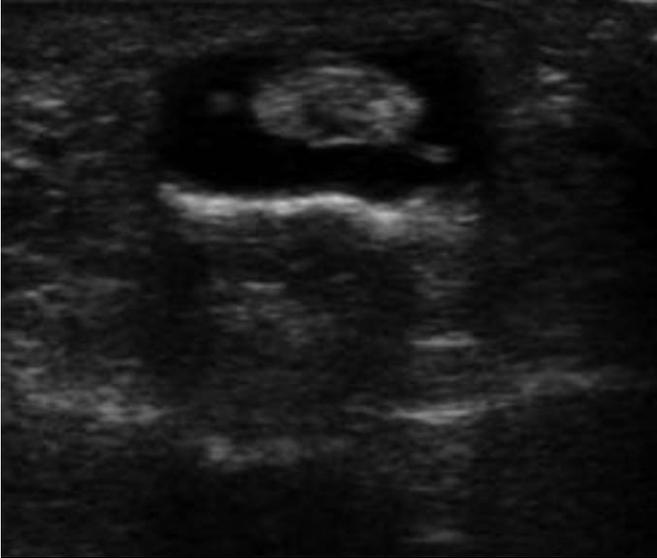


Fig. 1 : Coupe axiale.

Fig. 1: *Axial US scan.*

Réponses

1. Épanchement autour du tendon fléchisseur du 5^e doigt. Le tendon est continu, ses contours relativement réguliers, mais son calibre paraît irrégulier et son échogénicité est hétérogène et non

Questions

1. Décrivez la sémiologie échographique (*fig. 1 et 2*) ?
2. Quelle est votre hypothèse diagnostique ?

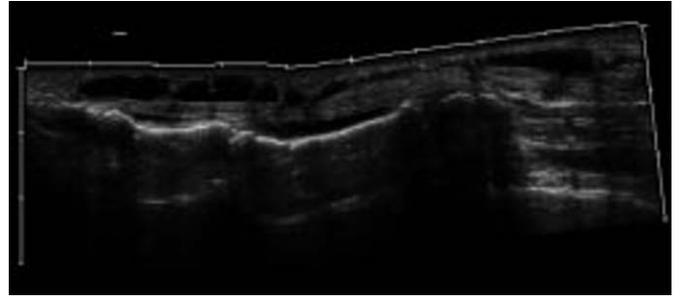


Fig. 2 : Coupe sagittale.

Fig. 2: *Sagittal US scan.*

fibrillaire. On note d'autre part un épaississement « déchiqueté » de la synoviale.

2. L'aspect échographique (sans indications cliniques) oriente vers une pathologie inflammatoire chronique.

Les tendons : lésions traumatiques

S Bianchi (1), M Cohen (2) et D Jacob (3)

Abstract

Tendons: traumatic lesions
J Radiol 2004;85:1845-57

In the recent years there has been an increase in the number of tendon tears (TT) seen in routine daily outpatient practice secondary to the increasing popularity of sport activities. Tears require early diagnosis to ensure proper treatment and reduce functional impairment. Since local pain, edema and reflex muscle contraction can significantly limit the usefulness of clinical examination, imaging is usually required to confirm the clinical diagnosis, differentiate between partial and complete tear, and localize the retracted tendon stump. Several imaging modalities can be used in the evaluation of TT. Ultrasound is an efficient, dynamic, low cost and non invasive modality that is being increasingly utilized in the evaluation of the musculoskeletal system. It is well accepted by the acutely injured patient. The aim of this review article is to describe the ultrasound findings of the most common tendon tears.

Key words: Tendons. Tendons tears. Trauma. Ultrasound. Sonography.

Résumé

L'important développement de la pratique sportive professionnelle et de loisir est à l'origine d'une augmentation de la fréquence des ruptures tendineuses. Le diagnostic précoce d'une rupture tendineuse permet de proposer un traitement approprié afin de réduire le risque de séquelles fonctionnelles. La présence d'un œdème et d'une douleur locale ainsi que la contraction musculaire réflexe peuvent significativement limiter les données de l'examen clinique et conduire à la demande d'un examen d'imagerie qui répond à 3 objectifs : confirmer le diagnostic clinique, différencier les ruptures partielles des ruptures complètes, localiser les extrémités du tendon rompu. Différentes modalités d'imagerie peuvent être proposées dans le diagnostic des ruptures tendineuses. L'échographie est une méthode performante, dynamique, peu coûteuse et non invasive qui occupe une place croissante dans l'imagerie de l'appareil locomoteur. L'objet de cet article est de décrire l'aspect échographique des ruptures tendineuses les plus fréquentes.

Mots-clés : Tendons. Rupture tendineuse. Traumatisme. Échographie.

La rupture d'un tendon de l'organisme n'est pas une situation exceptionnelle. L'interrogatoire et l'examen clinique retrouvent souvent un facteur prédisposant comme une atteinte dégénérative secondaire à des micro-traumatismes répétés (1) ou plus rarement une maladie de système (2-6). L'examen clinique reste l'élément essentiel du diagnostic, mais l'œdème et la douleur peuvent limiter les données de l'examen physique. La nécessité d'un diagnostic précoce se justifie par le retentissement fonctionnel de la rupture. Une proportion importante des ruptures tendineuses bénéficie d'un traitement chirurgical subordonné à un diagnostic fiable.

Les progrès récents des sondes à haute fréquence ont augmenté la capacité de l'échographie à visualiser les tendons et les structures péri-tendineuses. L'exploration des tendons représente probablement une des meilleures applications de l'échographie musculo-squelettique (7-12). L'échographie permet de confirmer le diagnostic clinique de rupture, de différencier une rupture partielle d'une rupture complète et d'évaluer le degré de rétraction des fragments tendineux. Elle peut également visualiser les structures para-tendineuses comme les retinaculum et les bourses synoviales. Par son caractère dynamique, l'échographie contribue au diagnostic des instabilités tendineuses post-traumatiques et des adhérences cicatricielles spontanées ou post-opératoires. Dans la plupart des cas, l'échographie de haute

résolution permet de se dispenser des méthodes d'imagerie plus sophistiquées, coûteuses ou invasives. Le principal inconvénient de l'échographie reste son caractère opérateur-dépendant en relation avec une longue courbe d'apprentissage. Cet article présente l'aspect échographique des ruptures tendineuses les plus fréquemment rencontrées au niveau du membre supérieur et du membre inférieur.

Membre supérieur

1. Épaule

La rupture de la coiffe des rotateurs résulte le plus souvent de micro-traumatismes répétés et de lésions de tendinopathie chronique dues à un conflit des tendons de la coiffe avec la face inférieure de l'acromion, le ligament acromio-coracoïdien et le versant inférieur de l'articulation acromio-claviculaire (13). Les ruptures traumatiques aiguës sont moins fréquentes (14). Le tendon supra-épineux est le plus fréquemment concerné par le conflit antéro-supérieur de l'épaule. Sa rupture peut secondairement s'étendre postérieurement au tendon infra-épineux, au tendon du long biceps ou du sous-scapulaire. Le rôle de l'imagerie consiste à effectuer un diagnostic positif précoce, à évaluer précisément la taille de la rupture qui est quantifiée par son plus grand diamètre et à fournir une indication sur le caractère régulier ou non des berges tendineuses. Les deux derniers points (taille de la rupture et régularité des berges) sont utiles au chirurgien en raison de leur incidence sur le choix de la technique opératoire : arthroscopie, mini-open (petites ruptures) ou chirurgie à ciel ouvert (ruptures étendues).

(1) Fondation et Clinique des Grangettes, 7, chemin des Grangettes, 1224 Chêne-Bougeries, Suisse. (2) Hôpital Saint-Joseph, 26, boulevard de Louvain, 13008 Marseille. (3) Centre Hospitalier Régional Universitaire, Département d'Imagerie Médicale, BP 77908, 21079 Dijon.

Correspondance : S Bianchi
E-mail : stefanobianchi@bluewin.ch

L'échographie est considérée dans la littérature comme une méthode reproductible et sensible dans le diagnostic de rupture de la coiffe (15-21). Une procédure échographique précise incluant notamment des plans de coupes orthogonaux pour chaque tendon est capitale pour obtenir un diagnostic fiable notamment pour les petites lésions (21). Une rupture partielle du tendon supra-épineux se présente comme un foyer hypoéchogène intra-tendineux situé sur son versant articulaire ou son versant superficiel, visible sur deux plans de coupes perpendiculaires (fig. 1). Il existe également des aspects mixtes hypo et hyperéchogènes siégeant au niveau de la zone critique (19, 20). La sensibilité de l'échographie est inférieure dans le diagnostic des ruptures partielles que dans celui des ruptures complètes (22, 23). La distinction entre une rupture partielle et un foyer de dégénérescence intra-tendineuse peut être difficile et aboutir à un résultat non concluant. Les ruptures complètes sont diagnostiquées sur différents signes : présence d'une solution de continuité hypoéchogène intra-tendineuse transfixiante, désinsertion du tendon au niveau de son enthèse avec déplacement médial, non visualisation du tendon. Les ruptures transfixiantes hyperéchogènes sont exceptionnelles (20). L'extension postérieure de la rupture au tendon infra-épineux peut être visualisée sur des coupes postérieures, sagittales ou transverses. Bien que sur une coupe échographique sagittale supérieure le sommet de l'angle entre la facette postérieure et la facette supérieure du tubercule majeur soit considéré comme le repère de séparation entre les tendons supra-épineux et le tendon infra-épineux, l'extension postérieure d'une rupture du supra-épineux reste souvent difficile à établir précisément (21). L'évaluation de la rétraction médiale du tendon supra-épineux est fiable lorsque cette rétraction reste modérée. Dès que l'extrémité du tendon rompu est située en dedans du bord latéral de l'acromion, l'échographie n'est plus en mesure de visualiser le tendon rétracté. Cette limite de l'examen ne concerne pas le tendon infra-épineux qui reste accessible quelque soit sa rétraction. Les ruptures du tendon sous-scapulaire peuvent concerner sa partie supérieure ou la totalité du tendon et sont souvent accompagnées d'une luxation médiale du tendon de la longue portion du biceps (fig. 1). Les ruptures isolées du tendon infra-épineux sont peu fréquentes. Le tendon sous-scapulaire peut être l'objet d'une rupture traumatique isolée.

Les signes associés à la rupture des tendons de la coiffe comme l'épanchement de l'articulation gléno-humérale ou de la bourse sous-acromio-deltaïdienne ainsi que les irrégularités de surface du tubercule majeur sont facilement visibles en échographie. Leur présence augmente la sensibilité de l'échographie dans le diagnostic de rupture (24-26). Les épanchements de faible volume de la bourse sous-acromio-deltaïdienne se collectent dans sa portion caudale et peuvent être présents dans les ruptures transfixiantes ou partielles du versant superficiel. Les épanchements plus abondants de la bourse sous-acromio-deltaïdienne sont facilement détectés au niveau du versant antérieur de l'épaule et doivent être différenciés d'un épanchement articulaire contenu dans la gaine du tendon du long biceps. Une hypertrophie synoviale modérée de la bourse sous-acromio-deltaïdienne est fréquemment observée dans les ruptures chroniques. L'épanchement gléno-huméral, s'il est associé à l'épanchement de la bourse sous-acromio-deltaïdienne est très évocateur d'une rupture tendineuse transfixiante. Les épanchements intra-articulaires peuvent être détectés au niveau du récessus bicipital qui entoure le tendon du long biceps dans le sillon inter-tuberculaire ainsi qu'au niveau

du récessus axillaire et du récessus postérieur. Des équipes ont étudié la valeur des épanchements dans le diagnostic de la rupture de la coiffe des rotateurs : l'épanchement articulaire a une sensibilité de 22 %, une spécificité de 79 % et une valeur prédictive positive de 60 % (25). Le double épanchement (bourse sous-acromiale et articulation gléno-humérale) a une sensibilité de 22 %, une spécificité de 99 % et une valeur prédictive positive de 99 % (25). Cependant il faut souligner que dans une grande majorité de ruptures massives étendues de la coiffe des rotateurs, avec aspect échographique typique, l'épanchement de la bourse sous-acromio-deltaïdienne est absent ou minime. Ceci est souvent constaté lors des déchirures anciennes. La fibrose locale de la paroi de la bourse associée à des adhérences locales peuvent expliquer, au moins partiellement, l'absence de collection intrabursale. La présence d'irrégularités au niveau du tubercule majeur est associée à 75 % des ruptures de coiffe alors que son aspect est normal chez 96 % des sujets sains (26).

Les chiffres discordants de sensibilité et de spécificité de l'échographie dans les ruptures complètes de la coiffe selon les séries, reflètent a priori des différences de technique d'examen et de qualité de l'échographe utilisé. Il n'est pas surprenant que la sensibilité soit supérieure pour les ruptures complètes (94 à 100 %) que pour les ruptures partielles (93 à 96 %). Toutefois l'échographie pratiquée par un opérateur entraîné utilisant un matériel approprié permet d'obtenir une sensibilité et une spécificité proche de celle de l'IRM (27). L'échographie est moins performante que l'IRM dans l'évaluation de la rétraction tendineuse et de l'amyotrophie (28). Si par des coupes comparatives l'échographie peut mettre en évidence une asymétrie d'épaisseur et d'échogénicité musculaire au niveau des fosses supra et infra-épineuses, l'analyse de la trophicité du muscle sous-scapulaire est souvent impossible ou limitée à sa partie toute latérale. L'échographie bénéficie d'une acceptation du patient supérieure à celle rapportée en IRM (29). Quand un traitement chirurgical est envisagé, l'arthroscanner ou l'arthroIRM (dans les pays où l'utilisation d'un produit de contraste paramagnétique intra-articulaire est autorisée) permettent d'obtenir une réponse catégorique sur la discontinuité tendineuse, une évaluation précise de la rétraction tendineuse et de l'amyotrophie. Les reconstructions biplanaires obtenues par les scanners à balayage volumique et l'IRM permettent une évaluation du versant inférieur de l'articulation acromioclaviculaire et une visualisation de l'ostéophytose inférieure, cause possible de conflit tendineux.

La rupture du tendon du long biceps est le plus souvent secondaire à une atteinte préalable du tendon supra-épineux. Cliniquement, les ruptures partielles sont difficiles à distinguer des tendinopathies. Dans la rupture complète, l'examen clinique est souvent évident avec présence d'une ecchymose brachiale à la phase aiguë et d'une rétraction musculaire secondaire du biceps vers le coude. L'échographie est reconnue comme une méthode appropriée pour l'exploration du tendon du long biceps (30, 31). Dans les ruptures partielles, le tendon apparaît augmenté de volume et hypoéchogène. Cet aspect siège volontiers à la partie proximale du sillon inter-tuberculaire. Le tendon est fréquemment entouré par un épanchement et apparaît subluxé en dedans. La distinction entre une tendinopathie et une rupture partielle ne peut pas toujours être affirmée à l'échographie. Dans les ruptures complètes, le tendon rétracté n'est plus visible au niveau du sillon inter-tuberculaire qui peut être comblé par un matériel d'échogénicité variable selon le délai entre la rupture et l'examen. Les coupes

axiales de la région antéro-interne de l'épaule peuvent facilement différencier une rupture complète d'une luxation tendineuse. Dans les ruptures anciennes, la présence d'éléments fibreux cicatriciels au niveau du sillon inter-tuberculaire peut prendre l'apparence d'un « pseudo-tendon ». Dans ces cas, la rétraction musculaire du long biceps et son amyotrophie, permettent de confirmer le diagnostic de rupture.

2. Coude

La rupture partielle ou complète du tendon distal du biceps brachial résulte d'une tension brutale appliquée à l'avant-bras sur un coude en flexion (32). Les patients rapportent souvent la notion d'une douleur violente durant une flexion contre résistance du coude. Les signes cliniques hautement évocateurs d'une rupture



Fig. 1 : Rupture du tendon subcapsulaire de l'épaule.
 a Coupe échographique axiale antérieure
 b et correspondant CT-arthrogramme chez un patient de 36 ans examiné pour douleurs post-traumatiques de l'épaule avec mécanisme en rotation externe forcée. Le TLB (1) est luxé en avant du tubercule mineur à la faveur d'une rupture du tendon subscapulaire (flèche blanche).
 c Coupe échographique coronale
 d et reconstruction coronale en arthroscanner réalisées chez une patiente de 47 ans présentant des douleurs scapulaires dans un contexte de conflit antéro-supérieur. Le tendon supra-épineux (2) est le siège d'une solution de continuité développée au dépens de son versant articulaire (flèche) évoquant une rupture non transfixiante confirmée par le passage du produit de contraste sans opacification de la BSAD. 3 : deltoïde, TM : tubercule majeur.

Fig. 1: *Tear of the subcapsularis tendon from shoulder.*
 a *Transverse sonogram*
 b *and corresponding CT-arthrogram of a 36-year-old patient presenting with post-traumatic shoulder pain after a fall with the arm externally rotated. The long head of the biceps tendon (1) is dislocated medially secondary to a complete tear of the subscapularis tendon (white arrow)*
 c *Coronal sonogram and*
 d *corresponding reformatted coronal CT-arthrogram of a 47-year-old patient with shoulder pain secondary to impingement syndrome. The supraspinatus tendon (2) presents a partial thickness tear of its articular side filled by contrast. Note absence of contrast passage into the subacromial bursa. 3: deltoid muscle, TM = greater tuberosity.*

complète sont l'existence d'une dépression palpable au niveau du trajet tendineux, un gonflement proximal lié à la rétraction du muscle et à l'œdème, une diminution de force en flexion. Toutefois, un lacertus fibrosus (expansion aponévrotique du tendon sur l'aponévrose anti-brachiale) intact peut limiter la rétraction du muscle et rendre le diagnostic clinique plus difficile. Les ruptures partielles sont également difficiles à diagnostiquer. Un examen d'imagerie est nécessaire quand un important œdème local limite l'examen clinique ou si la flexion de l'avant bras est conservée. Dans la rupture complète, l'échographie montre généralement le tendon rompu et rétracté proximale dans le plan cellulaire sous-cutané de la fosse cubitale antérieure en avant du muscle brachialis (33, 34). À la phase aiguë, un épanchement local entoure fréquemment l'extrémité proximale du tendon (*fig. 2d*). Le contraste entre le tendon rétracté et la collection anéchogène facilite le diagnostic de rupture. Une IRM peut être prescrite pour confirmer le diagnostic échographique lorsque la rétraction du tendon est limitée par un lacertus fibrosus intact. Dans les ruptures partielles le tendon apparaît continu mais épaissi et irrégulièrement hypoéchogène. L'IRM apparaît plus sensible que l'échographie dans le diagnostic des modifications intra-tendineuses de la rupture partielle (35).

La rupture des tendons épicondyliens latéraux est très rarement d'origine traumatique. Elle est par contre fréquemment rencontrée dans l'évolution d'une épicondylite (tennis elbow) surtout lorsqu'ont été réalisées de multiples infiltrations cortisonées. La rupture des tendons épicondyliens médiaux survient le plus souvent en association avec une rupture du ligament collatéral médial lors de traumatismes en valgus (accidents sportifs notamment). Les signes échographiques de rupture des épicondyliens médiaux et latéraux sont la discontinuité tendineuse et la perte de la convexité de la face superficielle du tendon (*fig. 2c*). La rétraction est en général très limitée.

La rupture du tendon du triceps est rare (36). Le patient présente un œdème de la partie postérieure et distale du bras et une extension active diminuée ou absente. Le mécanisme de la rupture est le plus souvent une contraction brutale lors d'un traumatisme (chute sur la main notamment). Plus rarement, un traumatisme direct est à l'origine de la rupture tendineuse (37). La rupture siège plus volontiers au niveau de l'insertion que de la jonction myo-tendineuse. L'échographie peut établir le diagnostic positif et évaluer la rétraction. Quand il existe une avulsion de l'insertion avec arrachement d'un fragment osseux habituellement visible sur les clichés radiographiques, l'échographie montre l'élément osseux sous la forme d'une structure hyperéchogène avec ombre acoustique postérieure à l'extrémité distale du tendon rétracté (*fig. 2b*). Un hématome entoure généralement le tendon rompu qui est alors bien visible. Le principal intérêt de l'échographie dans ces lésions est la distinction entre une rupture complète et une rupture partielle (*fig. 2a*). L'échographie présente également l'avantage d'être pratiquée sur un patient installé dans une position antalgique ce qui n'est pas le cas de l'IRM.

3. Poignet et main

La rupture des tendons du poignet et de la main peut survenir dans un contexte traumatique ou au décours d'une affection rhumatoïde atteignant les gaines tendineuses. La rupture lors d'un traumatisme ouvert est en règle générale découverte lors de l'exploration de la plaie. Le diagnostic de rupture tendineuse lors d'un traumatisme fermé peut être plus erratique. La polyarthrite rhumatoïde est le rhumatisme inflammatoire le plus susceptible d'occasionner des

ruptures tendineuses. L'hypertrophie synoviale péri-tendineuse entraîne des lésions tendineuses par effet protéolytique du pannus. Du plus, la présence d'érosions osseuses et d'une laxité ligamentaire et retinaculaire est à l'origine de subluxations articulaires produisant des contraintes et des frictions exagérées sur les tendons adjacents. Sous l'effet de ces contraintes à la fois chimiques et mécaniques, les tendons s'amincissent et sont l'objet de ruptures partielles qui peuvent conduire à des ruptures complètes lors de traumatismes mineurs. Les tendons du poignet les plus souvent rompus dans un contexte inflammatoire sont l'extenseur du IV et du V et l'extenseur ulnaire du carpe. Ce dernier est exposé à des frictions chroniques sur une tête ulnaire fréquemment subluxée dorsalement à la suite de la rupture du ligament triangulaire du carpe.

En cas de rupture d'un tendon s'insérant sur le carpe, l'examen clinique peut être perturbé si le déficit fonctionnel est atténué par la présence d'un tendon vicariant. C'est le cas par exemple lors d'une rupture du tendon long extenseur radial du carpe avec intégrité du tendon court extenseur radial du carpe (*fig. 3*). D'une manière générale, au niveau du poignet, il existe une méthode simple pour débiter un examen échographique à la recherche d'une rupture tendineuse : elle consiste à examiner systématiquement les tendons dorsaux et palmaires en coupes axiales bilatérales et de vérifier le contenu de tous les compartiments. À titre d'exemple, le diagnostic de rupture du tendon long extenseur du pouce peut être affirmé par la vacuité du troisième compartiment dorsal sur le bord médial du tubercule de Lister. La mobilisation passive de l'inter-phalangienne confirme l'absence de tendon à ce niveau. Il suffit ensuite de rechercher par des coupes obliques les extrémités du tendon rompu. Cette méthode peut être appliquée aux tendons dans leur trajet digital. Le principal piège dans le diagnostic de rupture est la présence d'un matériel échogène occupant la solution de continuité. L'absence d'échostructure fibrillaire et de mobilisation active ou passive permet en règle générale d'éviter cet écueil.

Le principal intérêt de l'échographie dans les ruptures tendineuses de la main et du poignet est la distinction entre une rupture partielle et une rupture complète ainsi que la localisation des fragments rétractés (38). La détection des ruptures partielles dans la polyarthrite rhumatoïde peut avoir une incidence thérapeutique. En effet, une ténosynovectomie précoce peut prévenir la survenue d'une rupture complète. En échographie la rupture partielle apparaît comme une zone tendineuse épaissie ou amincie dont l'échostructure est généralement hypoéchogène et hétérogène. Il existe généralement une hypertrophie synoviale associée. Dans les ruptures complètes, le fragment proximal du tendon rompu est parfois rétracté jusqu'à la partie distale de l'avant bras. Son repérage peut être difficile en cas d'examen tardif. Le tendon rétracté apparaît sous la forme d'un renflement hyperéchogène au sein d'une zone hypoéchogène péri-tendineuse mal limitée. Le marquage cutané de l'extrémité du fragment distal et du fragment proximal peut être réalisé en pré-opératoire pour limiter la taille de l'incision.

Membre inférieur

1. Hanche

Les ruptures des tendons de la hanche sont peu fréquentes et atteignent plus volontiers les adducteurs et les abducteurs que les tendons antérieurs (ilio-psoas et droit fémoral). Nous n'abordons pas

dans cet article les tendons ischio-jambiers (voir chapitre ...). La rupture tendineuse des adducteurs est le plus souvent d'origine sportive et concerne plus volontiers le long adducteur à son insertion proximale (39). La douleur est typiquement localisée dans la région antéro-médiale et proximale de la cuisse. Elle est associée à un déficit d'adduction du membre inférieur. En échographie le tendon apparaît rompu rétracté en distalité sous la forme d'une structure hyperéchogène parfois accompagnée d'une ombre

acoustique postérieure. La présence d'un hématome hypoéchogène péri-tendineux peut faciliter le repérage de l'extrémité du tendon. Parfois l'examen échographique peut être difficile en raison de la morphologie du patient et de la proximité des structures osseuses. De plus à leur origine, les tendons du court et du long adducteur peuvent être difficiles à différencier en raison de leur proximité. Dans ces cas, l'IRM permet plus facilement de localiser la lésion et de différencier une rupture partielle d'une rupture.

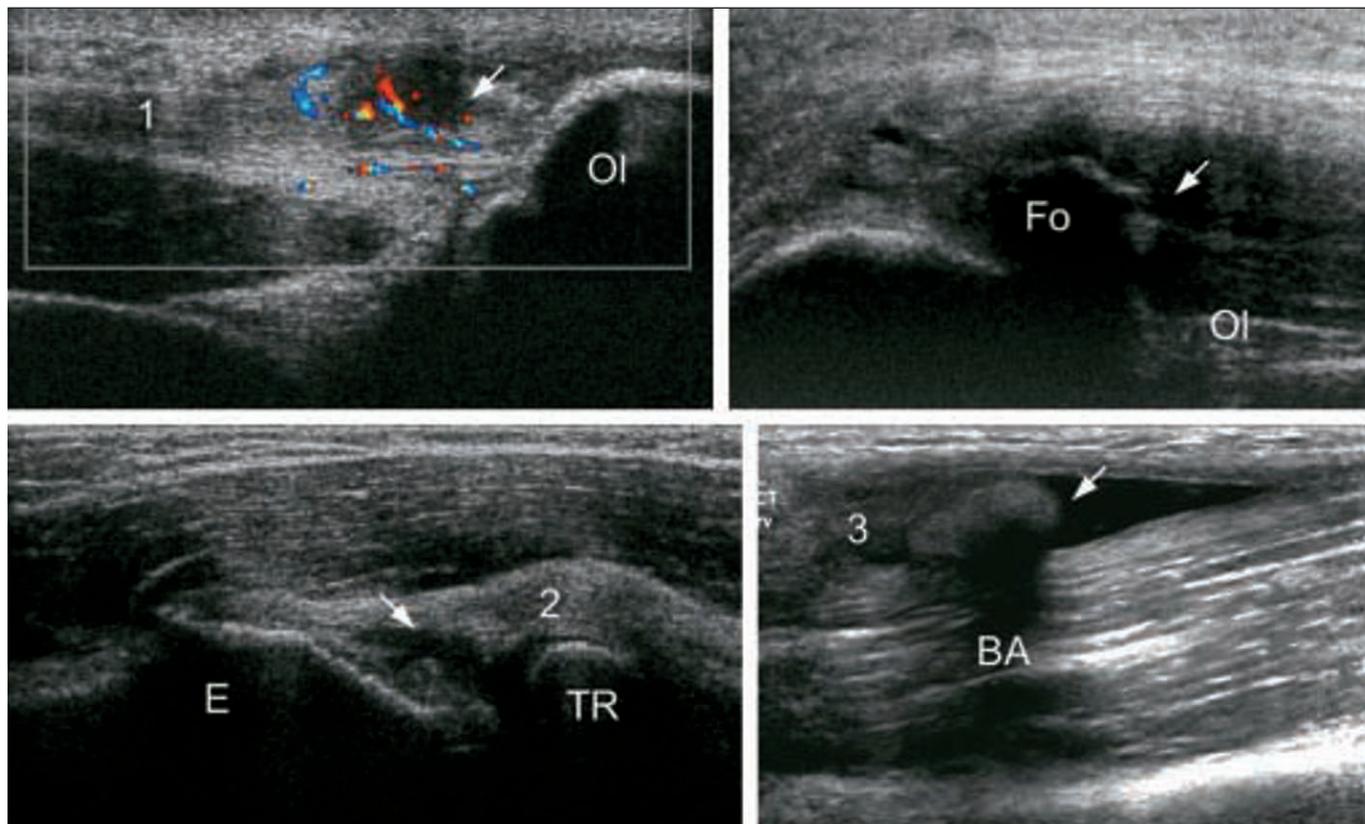
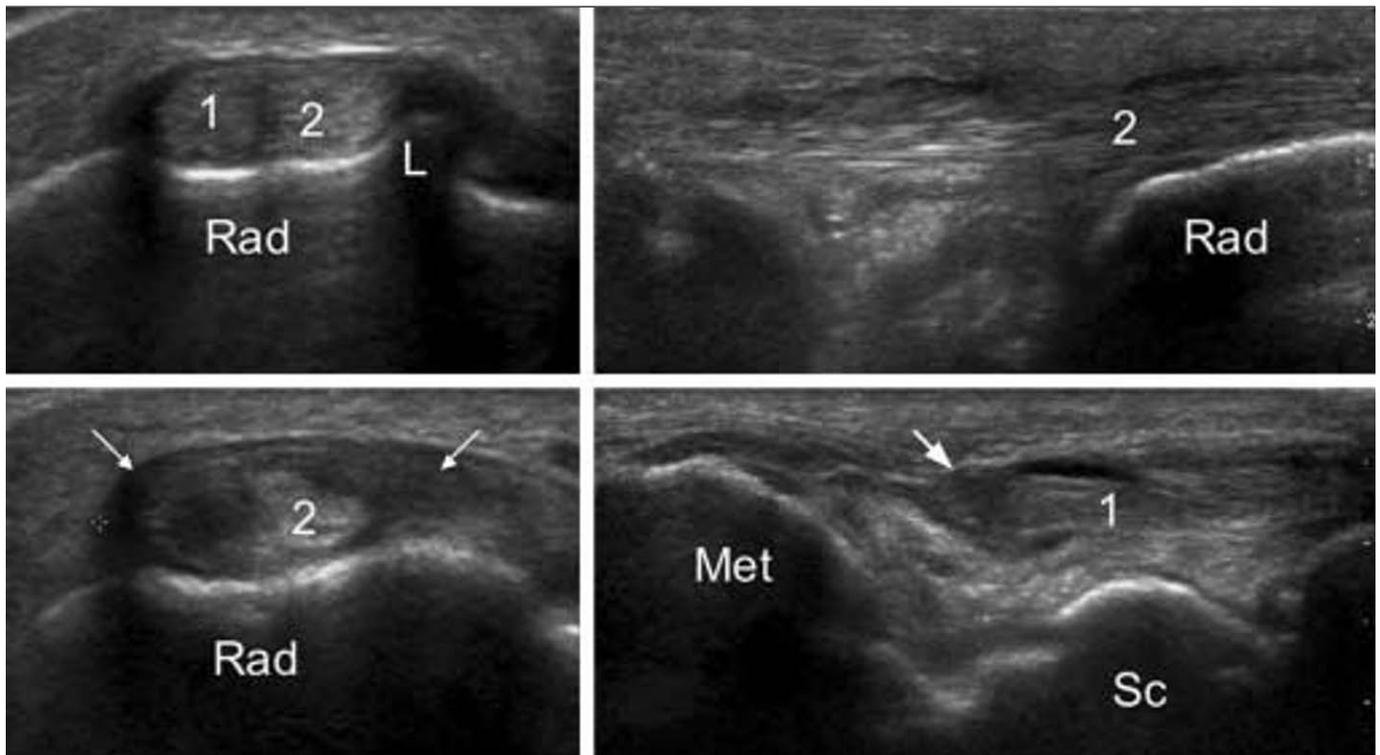


Fig. 2 : Rupture du tendon distal du biceps brachial.

- a** Coupe sagittale postérieure du coude chez un sportif de 30 ans ayant ressenti une douleur dans la région postérieure du bras à la suite d'une séance de musculation. Le tendon distal du triceps (1) présente une solution de continuité partielle superficielle (flèches blanches) intéressant environ 50 % de l'épaisseur du tendon. La lésion siège à environ 1 cm de l'olécrane (OI). L'hypersignal Doppler témoigne d'une hyperhémie intra et péri-lésionnelle. La rupture étant partielle, le tendon conserve un aspect rectiligne.
- b** Coupe sagittale postérieure du coude chez un travailleur manuel de 52 ans à la suite d'une chute sur le poignet, coude en demi flexion. Le tendon distal du triceps (1) est détendu, hypoéchogène et épaissi. Un fragment osseux (Fo) est visible sous la forme d'une structure échogène avec ombre acoustique postérieure (flèche blanche). Il témoigne d'un arrachement parcellaire de l'olécrane (OI). La zone d'insertion du tendon est occupée par un tissu œdémato-hémorragique d'échostructure mixte.
- c** Coupe coronale du versant latéral du coude effectué chez une patiente de 36 ans se plaignant d'épicondylalgies résistantes à des infiltrations répétées de stéroïdes. La coupe passant par l'épicondyle (E) et la tête radiale (TR) montre une perte de la convexité normale du tendon (2). Cette concavité associée à la solution de continuité (flèche blanche) traduit l'existence d'une rupture tendineuse.
- d** Coupe sagittale du tiers distal de la loge brachiale antérieure chez un patient de 48 ans présentant une douleur aiguë du versant antérieur du coude avec œdème et ascension du biceps dans les suites d'un effort de flexion violente contre résistance. L'examen montre une intégrité du muscle brachial antérieur (BA) en avant duquel est visualisé le tendon distal du biceps brachial (3) totalement rompu et rétracté. Le tendon est facilement visualisé grâce à la présence d'une collection hémorragique transsonore périphérique (flèche blanche).

Fig. 2: Tear of the distal biceps tendon.

- a** Sagittal sonogram obtained over the posterior aspect of the elbow in a 30-year-old weight lifter who reported a local sharp pain during sport activity. The triceps tendon (1) presents a partial tear of the superficial half (white arrows). The tear is located at 1 cm from the olecranon (OI). Flow signals at color Doppler indicate local hyperaemia. Note the straight appearance of the tendon due to preservation of its deep portion.
- b** Sagittal sonogram obtained over the posterior aspect of the elbow in a 52-year-old patient who sustained a fall. The triceps tendon (1) appears hypoechoic, thickened and waxy. An hyperechoic structure (Fo) with posterior shadowing (white arrow) corresponds to a cortical avulsion of the distal tendon insertion. Note the hypoechoic appearance of the area located distal to the fragment related to local oedema and haemorrhage.
- c** Coronal sonogram obtained over the lateral aspect of the elbow in a 36-year-old patient reporting local pain and a history of local steroid injections for tennis elbow. Note a complete tear (white arrow) of the common extensor tendon (2). The tendon shows a concave appearance.
- d** Sagittal sonogram obtained over the distal part of the anterior aspect of the arm in a 48-year-old patient presenting a sharp pain and local oedema after a powerful biceps contraction. The distal biceps tendon (3) appears torn and retracted. The anechoic blood collection (white arrow) surrounding the tendon facilitates tear detection. Note the normal underlying brachialis muscle (BA).



a/c
b/d

Fig. 3 : Rupture du tendon du long extenseur. Coupes axiales et longitudinales du versant dorsal du poignet centrées sur le deuxième compartiment. Le patient est examiné pour une douleur dorsale du poignet en dehors de tout contexte macro-traumatique. Il existe une diminution modérée de la force d'extension active du poignet.

a Coupe axiale normale du côté controlatéral montrant les tendons long (1) et court (2) extenseur radial du carpe en dehors du tubercule de Lister (L), reposant sur la corticale du radius (Rad).

b Coupe axiale du côté pathologique. Le tendon long extenseur n'est pas visible à la différence du court extenseur (2). Le retinaculum du deuxième compartiment est épaissi et hypoéchogène (flèches).

c Coupe longitudinale du côté pathologique. Le tendon court extenseur (2) présente un aspect normal et continu. Une formation hypoéchogène siège sur son versant superficiel et matérialise la présence d'un œdème de voisinage.

d Coupe longitudinale du côté pathologique plus latérale que c. Le tendon long extenseur est totalement rompu, détendu en arrière du scaphoïde (Sc) et épaissi à son extrémité distale (flèche) qui est localisée entre 10 et 15 mm de la base métacarpienne (Met). Sur son versant superficiel existe une fine lame liquidienne.

Fig. 3: *Tear of extensor carpi radialis longus tendon. Sonograms obtained over the second extensor compartment of the wrist in a patient with local pain denying any acute trauma. Physical examination showed a decrease in the strength of the active extension.*

a *Transverse image obtained over the normal contralateral wrist shows the normal extensor carpi radialis longus (1) and brevis (2) tendons located close to the Lister tubercle (L). Rad = radius.*

b *Transverse image on the pathologic wrist shows absence of the extensor carpi radialis longus and a normal extensor carpi radialis brevis (2). Note the thickened and hypoechoic retinaculum (arrows)*

c *Longitudinal image obtained over the pathological wrist illustrates the normal extensor carpi radialis brevis (2). The hypoechoic area located superficial to the tendon corresponds to local oedema.*

d *Longitudinal image obtained more laterally than c. Image shows a complete tear of the extensor carpi radialis longus tendon (1). The tendon looks waxy and thickened at its distal part (arrow) lying at 10-15 mm from the second metacarpal (Met). Note the superficial anechoic fluid collection (white arrow).*

Le groupe des muscles abducteurs est constitué par le petit et le moyen glutéal, le tenseur du fascia lata et le grand glutéal. Le petit glutéal s'insère sur le versant latéral de la crête iliaque. Son insertion distale s'effectue sur la facette antérieure du grand trochanter (GT). Le moyen glutéal repose superficiellement sur le petit glutéal et présente deux tendons distaux. Le tendon antérieur est une large lame tendineuse qui naît des deux tiers antérieurs du muscle et s'insère sur le versant latéral du GT. Le tiers postérieur du muscle est prolongé par un tendon puissant qui s'insère sur la facette postéro-supérieure du GT (40). Les ruptures du tendon du moyen glutéal sont les plus fréquentes. Elles intéressent habituellement la lame tendineuse antérieure et sont souvent méconnues cliniquement (41). Parmi les facteurs favorisants on retrouve la prothèse totale de hanche et les infiltrations répétées de stéroïdes pour traitement d'une tendinopathie. Les patients décrivent une douleur située sur le versant latéral de la

hanche irradiant dans la région externe de la cuisse et aggravée pendant le sommeil notamment en cas de décubitus latéral sur le côté atteint. Selon l'importance de la rupture, l'abduction peut être diminuée ou impossible. La distinction avec un syndrome douloureux péri-trochantérien (parfois appelé « trochantérite ») dû à une tendinopathie ou à une bursite, peut être difficile et nécessiter une confirmation par l'imagerie. La sensibilité de l'échographie peut être très affectée par l'obésité et l'épaisseur des tissus sous-cutanés. Dans ces cas, l'utilisation d'une sonde de 5 voire de 3,5 Mhz peut être profitable. Dans les ruptures complètes, les coupes sagittales montrent un tendon hypoéchogène, irrégulier et rétracté à une distance variable (généralement 2 à 3 cm) du versant latéral du GT. La solution de continuité entre le tendon rompu et son insertion est occupée par un hématome plus ou moins échogène et souvent inhomogène (fig. 4). Les coupes axiales sont plus panoramiques, permettant une visualisation simultanée

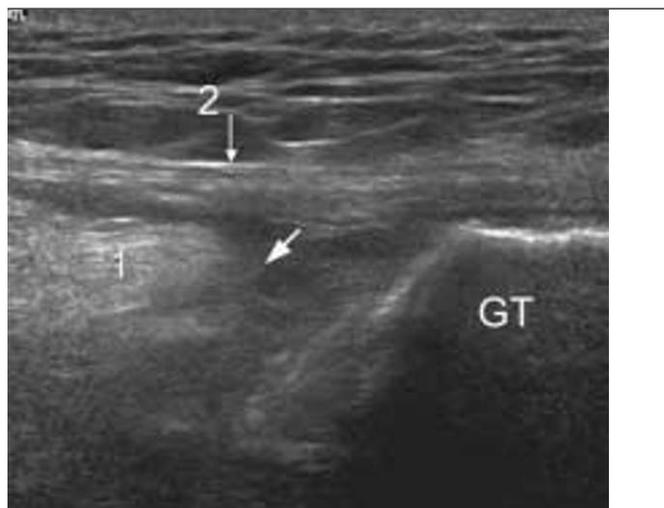


Fig. 4 : Rupture complète du tendon du moyen glutéal. Coupe coronale du versant latéral de la hanche gauche réalisée chez une patiente se plaignant depuis plusieurs mois de douleurs périrochantériennes à la marche et au repos notamment en position allongée sur le côté douloureux. Les douleurs irradient à la fois vers la fesse et vers la région latérale de la cuisse. La coupe est pratiquée en appui sur le grand trochanter (GT). Elle montre une rupture complète du tendon du moyen glutéal (1) qui apparaît rétracté à environ 15 mm (flèche blanche) au dessus de la facette latérale du GT. Une collection inhomogène hypoéchogène est observée entre le tendon et la corticale trochantérienne ainsi qu'à la face superficielle de la corticale osseuse et du muscle moyen glutéal (astérisques). Elle délimite nettement le versant profond du tractus ilio-tibial (2) qui présente un aspect tendu et continu.

Fig. 4: *Tear of the gluteus medius tendon. Coronal sonogram obtained over the lateral aspect of the left hip in a patient suffering from peritrochanteric pain. Pain was more evident during walking and when the patient lied on the affected hip. Image shows a complete tear of the gluteus medius tendon (1) with proximal retraction of nearly 15 mm from the greater trochanter (GT). A hypochoic collection (asterisks) lies between the tendon and the GT as well as superficial to it. 2 = tractus iliobtibialis.*

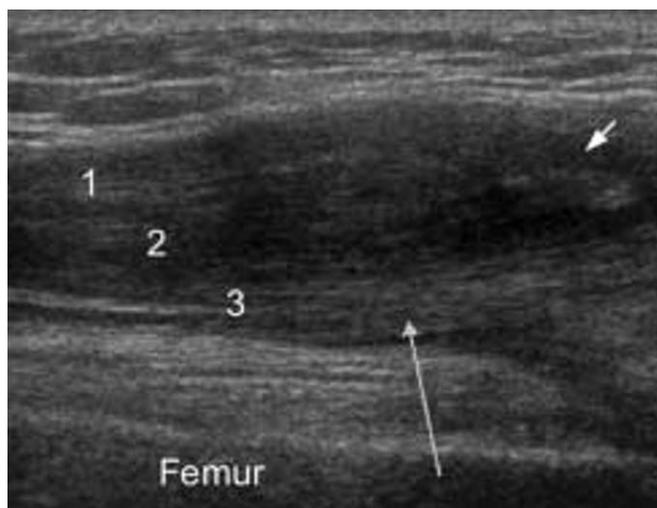


Fig. 5 : Rupture partielle de la lame superficielle du droit fémoral. Coupe sagittale médiane supra-patellaire du genou droit réalisée chez un patient de 42 ans, obèse, examiné pour un traumatisme avec chute sur le genou droit. L'extension active de la jambe est conservée mais très limitée par la douleur. Perception d'une masse supra-patellaire. En avant du fémur, de l'espace graisseux sous-quadricepsal et du récessus articulaire sous quadricepsal, on observe un élargissement fusiforme du tendon quadricepsal. L'existence d'une solution de continuité intéressant les deux tiers antérieurs du tendon suggère le diagnostic de rupture partielle atteignant la lame tendineuse superficielle provenant du droit fémoral (1) et la lame tendineuse centrale provenant de la fusion des fibres tendineuses du vaste latéral et du vaste médial (2). La continuité de la lame tendineuse profonde (3) correspondant au vaste intermédiaire est respectée (flèche longue). Au sein de la zone de rupture on observe un petit contingent de fibres dilacérées (petite flèche) au sein d'un tissu hypoéchogène de nature hémorragique.

Fig. 5: *Tear of the superficial tendon lamina of the rectus femoris. Sagittal sonogram obtained over the midline of the supra-patellar region in a 42-year-old obese patient with a history of local trauma and fall. The patient showed a partially preserved active extension of the leg. The quadriceps tendon appears enlarged. There is a complete tear of the superficial tendon lamina (1) of the rectus femoris and of the intermediate lamina (2) originating from the vastus lateralis and medialis. Note the unaffected deep tendon lamina (3) originating from the vastus intermedius. a = prefemoral fat, b = supra-patellar recess.*

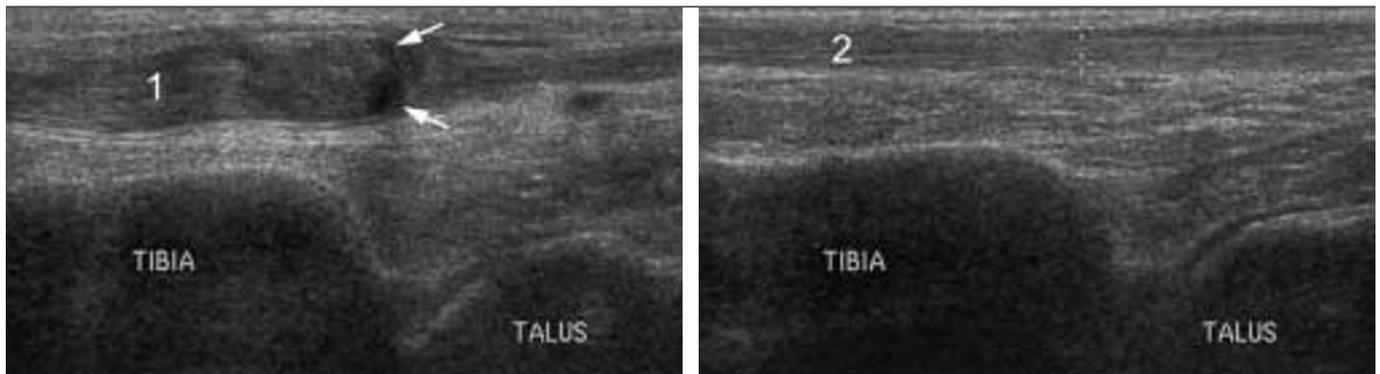
des tendons adjacents (du tendon postérieur du moyen glutéal au tendon du petit glutéal). Il est important de ne pas confondre le tendon du moyen glutéal avec la bandelette ilio-tibiale, plus superficielle, qui en principe ne se rompt jamais. L'IRM permet le diagnostic de rupture des abducteurs en montrant une zone en hypersignal T2 située au-dessus du GT. Le diagnostic différentiel avec une bursite repose sur l'absence de caractère encapsulé de la formation et sur la visualisation du tendon rompu et rétracté. L'IRM peut être nécessaire pour confirmer le diagnostic échographique de rupture chez les sujets corpulents (42).

2. Genou

La constitution particulière du tendon quadricepsal (TQ) facilite la compréhension de son écho-anatomie et de l'aspect des ruptures partielles et complètes (43, 44). Le quadriceps est composé de quatre chefs musculaires (vaste intermédiaire, vaste latéral, vaste médial et droit fémoral). À proximité du genou, ils donnent naissance à des lames tendineuses distinctes qui fusionnent pour former le TQ inséré sur le pôle supérieur de la patella. Une longue lame tendineuse superficielle naît du droit fémoral au tiers

moyen de la cuisse. Une lame intermédiaire provient de la fusion sur la ligne médiale des tendons du vaste latéral et du vaste médial. Une lame tendineuse profonde est constituée par le tendon du vaste intermédiaire. Il est important de rappeler qu'un contingent de fibres tendineuses du vaste médial et du vaste latéral (les expansions latérales) s'insèrent directement sur le tibia. La présence de ces expansions explique que chez certains patients l'extension active de la jambe puisse être conservée malgré la rupture complète du tendon.

Les ruptures du TQ surviennent souvent chez des patients âgés de plus de 40 ans volontiers obèses ou atteints d'insuffisance rénale chronique, de diabète ou de maladies de système. La rupture est due à une contraction excentrique brutale et puissante. Elle peut être bilatérale. Bien que le diagnostic de rupture complète soit suspecté à l'examen clinique, près de 40 % des cas sont méconnus initialement en raison de la possibilité d'une extension active assurée par les expansions latérales (45). La rupture siège le plus souvent à 1 ou 2 cm de l'insertion patellaire au niveau d'une zone de fragilité. Les ruptures partielles nécessitent rarement un traitement chirurgical à la différence des ruptures totales.



a|b

Fig. 6 : Rupture du tendon tibial antérieur.

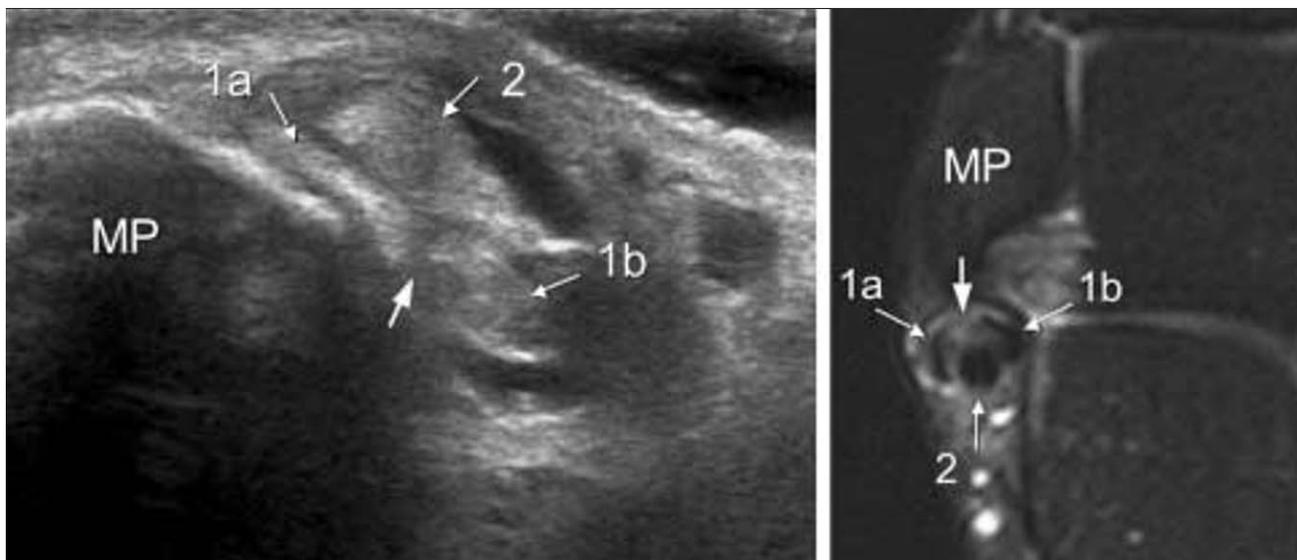
a-b

Coupe sagittale et coupe comparative réalisées au niveau du versant antérieur de la cheville d'un patient de 58 ans présentant un déficit d'extension de la cheville et une tuméfaction rénitente du tiers inférieur de la jambe. Il n'existe pas de notion traumatique mais un notion de douleurs chroniques du de la cheville ainsi. À l'examen il existe un pied creux bilatéral. Les coupes sont effectuées au niveau du versant antérieur de l'articulation talo-crurale. Sur la coupe sagittale, la masse palpable est identifiée comme le tendon tibial antérieur (1) rompu et rétracté. Il apparaît épaissi, hypoéchogène et son extrémité est cernée par une petite quantité de liquide anéchogène (flèches). Le trajet tendineux est occupé par un tissu hypoéchogène dénué de structure fibrillaire. Sur la coupe comparative controlatérale le tendon tibial antérieur sain (2) présente un aspect échogène, fibrillaire, moins épais et rectiligne.

Fig. 6: *Tear of tibialis anterior tendon.*

a-b

Sagittal sonogram obtained over the anterior aspect of the ankle joint in a 58-year-old patient with a localized lump and weakened ankle extension and corresponding normal contralateral image. The patient presented with chronic pain and denied any history of acute trauma. Physical examination showed a cavus deformity of the foot. Image 6a shows the torn and retracted tibialis anterior tendon (1). The tendon appears swollen, hypoechoic and surrounded by a small amount of fluid. Note the distal empty synovial sheath. Image 6b shows the normal hyperechoic contralateral tendon presenting a regular fibrillar appearance.



a|b

Fig. 7 : Rupture du tendon court fibulaire. Coupe échographique et IRM en séquence pondérée T2 avec saturation de la graisse réalisées chez une patient âgé de 28 ans présentant des douleurs chroniques et un empatement de la région postéro-latérale de la cheville droite. Dans les antécédents il existe plusieurs épisodes d'entorse talo-crurale.

a La coupe échographique axiale rétro-malléolaire externe (1) montre la présence de trois formations tendineuses : deux héli-tendons court fibulaire séparés par une fissure longitudinale (flèche), et le tendon long fibulaire intact (2). La présence d'une petite accumulation de liquide synovial péri-tendineux permet de mieux appréhender les contours des tendons ainsi que le retinaculum qui apparaît continu.

b La coupe coronale IRM T2 Satfat montre la fissure longitudinale du tendon court fibulaire et l'aspect normal du tendon long fibulaire sous la pointe de la malléole latérale ainsi qu'un épanchement péri-tendineux en hypersignal.

Fig. 7: *Tear of the peroneus brevis tendons. US image and corresponding T2-weighted fat sat MR image obtained over the posterolateral aspect of the ankle joint in a 28-year-old patient with chronic local pain and swelling. The patient reported a history of multiple ankle sprains.*

a *Sonogram shows three tendons : two come from a longitudinal split (arrow) of the peroneus brevis tendon; the third (2) corresponds to the intact peroneus longus tendon (2). A small synovial effusion allows better detection of the different tendons as well as of the intact retinaculum.*

b *Coronal T2-weighted fat sat MR image confirms the split of the peroneus brevis tendon, the normal peroneus longus tendon (2) and the hyperintense synovial effusion located within the tendon sheath.*

Sur des coupes échographiques sagittales, le tendon normal se présente sous la forme d'une structure multi-laminaire hyperéchogène en arrière du tissu cellulaire sous-cutané et en avant du triangle graisseux et du récessus synovial supra-patellaire (43, 44). En cas de rupture, il est primordial d'examiner le TQ avec un genou fléchi à 45° environ. Cette position peut être obtenue même chez les patients hyperalgiques par la mise en place prudente d'un petit coussin sous le genou. Cette manœuvre permet de mettre le tendon en tension mais également d'élargir la solution de continuité dans les ruptures complètes. Les signes échographiques de la rupture complète sont l'interruption totale des fibres tendineuses et l'existence d'une rétraction. À la phase de début, il existe une zone hypoéchogène séparant les extrémités tendineuses, traduisant l'existence d'un hématome qui communique habituellement avec un épanchement intra-articulaire. Un examen dynamique obtenu en créant une légère traction distale de la patella sur un genou faiblement fléchi peut être utile pour différencier une rupture partielle d'une rupture complète. La traction peut entraîner une mobilisation distale de la patella dans les ruptures complètes. Dans les ruptures totales vues tardivement, il existe fréquemment une masse fibreuse cicatricielle qui ne peut cependant être mise en tension ou mobilisée lors des manœuvres dynamiques. Dans les ruptures partielles, il existe une solution de continuité intéressante une ou deux lames tendineuses. Dans la plupart des cas, les ruptures partielles intéressent la lame superficielle, la lame intermédiaire ou les deux (*fig. 5*).

En raison de son trajet rectiligne et superficiel, le tendon patellaire est très accessible à l'échographie. Il apparaît sous la forme d'une bande hyperéchogène régulière, de contours bien limités et d'échotexture fibrillaire et homogène. Les ruptures secondaires à un traumatisme direct sont rares. Elles sont le fait d'un traumatisme ouvert et nécessitent rarement la réalisation d'un examen d'imagerie. Le plus souvent, la rupture survient sur une dégénérescence mucoïde dans le cadre d'une tendinopathie (exemple : jumper's knee). Cette circonstance est décrite en détail dans un autre article de ce numéro spécial. Nous nous limitons à rappeler ici que l'intérêt principal de l'échographie dans la tendinopathie est la confirmation du diagnostic dans les formes atypiques ainsi que la mesure des nodules dégénératifs intra-tendineux dans un but pré-opératoire. La rupture complète du tendon patellaire survient généralement dans deux types de circonstances. Soit la rupture est secondaire à un traumatisme direct comme une chute sur un genou en flexion contre un objet saillant (chute dans les escaliers). Soit plus fréquemment, la rupture survient chez des sportifs jeunes atteints d'une tendinopathie patellaire dans un contexte de mise en tension brutale ou prolongée ou lors d'une chute. L'examen clinique permet généralement d'établir le diagnostic de rupture complète sans recours à l'imagerie. L'échographie si elle est réalisée, montre une ascension de la patella avec présence d'une solution de continuité tendineuse. Un examen comparatif peut découvrir des signes de tendinopathie sur le tendon controlatéral.

3. Cheville

Le tendon tibial postérieur (TP) est le plus puissant des tendons médiaux de la cheville. Il joue un rôle fondamental dans la suspension de l'arche longitudinale du pied. Il est habituellement traumatisé chez la femme d'âge moyen présentant une déformation en valgus de l'arrière pied. Ces facteurs mécaniques favorisent l'apparition d'une ténosynovite aiguë puis chronique, puis de ruptures partielles puis complètes. La détection précoce des

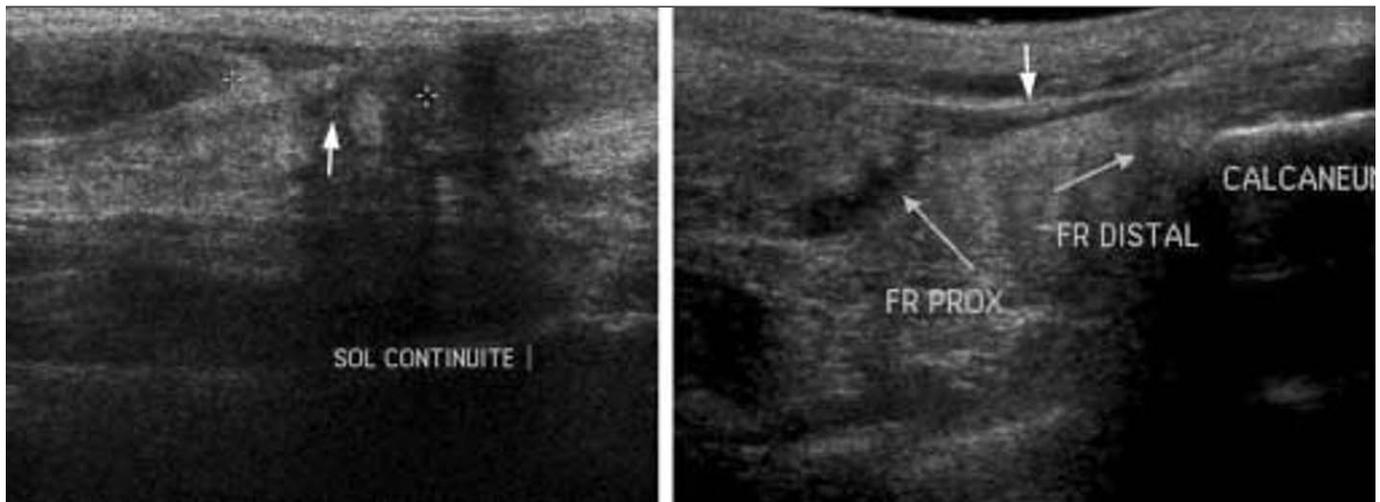
modifications tendineuses est fondamentale pour planifier un traitement médical ou chirurgical. L'échographie est performante dans le diagnostic des lésions du TP (46). La ténosynovite se présente sous la forme d'un épanchement entourant le tendon, associée à une hypertrophie plus ou moins importante de la gaine synoviale. Les ruptures partielles apparaissent comme un amincissement focal ou un épaissement tendineux hypoéchogène et irrégulier. Plus rarement, il existe des fissures longitudinales limitées ou atteignant la totalité du trajet tendineux. Le diagnostic de rupture complète est posé devant la découverte d'un tendon rétracté dans la région supra-malléolaire. Dans les ruptures complètes, il est important de ne pas confondre le tendon tibial postérieur avec le tendon long fléchisseur des orteils qui peut se déplacer antérieurement. L'examen dynamique identifie avec facilité le long fléchisseur des orteils par ses déplacements lors de la flexion-extension des orteils. Enfin il existe une forme particulière de rupture dite rupture par allongement dans laquelle le tendon tibial postérieur apparaît aminci et étiré sur sa longueur sans solution de continuité. Cet allongement équivaut fonctionnellement à une rupture complète.

Pour poser ce diagnostic, il suffit de garder à l'esprit une règle simple : le tendon tibial postérieur normal a un diamètre deux à trois fois supérieur à celui du tendon long fléchisseur des orteils en arrière de la malléole interne. Dans la rupture par étirement, le tendon tibial postérieur a un diamètre égal ou légèrement supérieur à celui du long fléchisseur des orteils.

La plupart des ruptures du tendon tibial antérieur survenant chez des sujets jeunes sont le résultat de traumatisme ouvert pour lequel le diagnostic est en général évident (47, 48). Les ruptures spontanées concernent les patients âgés porteurs d'une tendinopathie chronique ou sub-aiguë. L'examen clinique est parfois perturbé par une faible extension conservée sous l'action du long extenseur de l'hallux et du long extenseur des orteils (49, 50). Dans les ruptures spontanées, le motif de consultation est souvent l'existence d'une masse rénitente antéro-médiale de la cheville ou du tiers inférieur de la jambe. La masse qui correspond au tendon rétracté fait parfois évoquer cliniquement le diagnostic de kyste. Le diagnostic échographique de rupture du tendon tibial antérieur est facile en raison de son trajet superficiel et direct (50, 51). Le tendon rompu et rétracté au niveau du retinaculum supérieur des extenseurs présente un aspect épaissi et hétérogène (*fig. 6*). L'IRM permet de poser le diagnostic de rupture du tendon tibial antérieur (52) mais n'est généralement par nécessaire pour confirmer le diagnostic échographique.

La majorité des ruptures des tendons fibulaires sont des fissures longitudinales partielles qui compliquent une instabilité tendineuse (53). Le tendon court fibulaire est le plus fréquemment atteint. La friction répétée sur la crête malléolaire externe entraîne des modifications dégénératives intra-tendineuses, une ténosynovite, une fissure tendineuse. L'échographie et l'IRM sont deux examens appropriés pour le diagnostic des fissures longitudinales des tendons fibulaires (53-56). L'échographie, en raison de son caractère dynamique, peut de surcroît prouver l'instabilité tendineuse.

Les coupes axiales rétro-malléolaires obtenues avec une plus ou moins grande inclinaison de la sonde (pour aborder perpendiculairement les structures tendineuses) sont les plus adaptées au diagnostic des fissures tendineuses. Dans les fissures du court fibulaire, les coupes pratiquées à la hauteur de la malléole latérale montrent trois tendons : le tendon long fibulaire et deux demi-tendons court fibulaire résultant du clivage (*fig. 7*). La présence



a|b

Fig. 8 : Rupture du tendon calcanéen.

- a** Coupe sagittale postérieure de cheville réalisée chez un patient de 41 ans présentant une violente douleur avec oedème postérieur de la cheville. Le signe de Thompson est positif. L'échographie montre la rupture totale siégeant dans le tiers moyen du tendon calcanéen. Le fragment tendineux proximal et le fragment distal sont épaissis et hypoéchogènes. Ils sont espacés par une solution de continuité dont la mesure sera indiquée dans le compte-rendu de l'examen (dans ce cas 12 mm). Il existe quelques débris échogènes (flèche) dans la solution de continuité ainsi qu'une ombre acoustique postérieure masquant partiellement la graisse du triangle de Kager.
- b** Coupe sagittale postérieure de la cheville réalisée dans un contexte clinique similaire à 8a. La rupture siége ici très à proximité de l'insertion calcanéenne. Le fragment proximal cerné par une petite lame liquidienne, est nettement plus épais que le fragment distal. Entre les deux fragments il existe du tissu échogène graisseux correspondant à une hernie graisseuse (H) en continuité avec la graisse du triangle de Kager (astérisque). Noter qu'une semble persister une continuité du versant postérieur du para-tendon (flèche) qui ne doit cependant pas conduire à parler de rupture partielle.

Fig. 8: *Tear of the Achilles' tendon.*

- a** *Sagittal sonogram obtained over the posterior ankle region in a 41-year-old patient with local severe pain and oedema. Thompson test was positive. Image shows a complete tear at the middle third of the Achilles' tendon. Note the hypochoic and swollen proximal and distal stumps. The tendon gap, in this case 12 mm, must be mentioned in the US report. Echogenic debris (arrow) fill the gap and cause posterior shadowing.*
- b** *Sagittal sonogram obtained over the posterior ankle region in a different patient presenting with similar clinical appearance. The tear lies at the distal insertion of the Achilles' tendon onto the calcaneum. The cranial tendon stump is thicker than the distal one. The gap is filled by hyperechoic fat (H) coming from the adjacent Kager fat pad (asterisk). The intact posterior paratenon (arrow) can mimic some tendon fibres and can mimic a partial tear.*

d'un épanchement dans la gaine tendineuse facilite le diagnostic alors que la présence d'une hypertrophie synoviale peut constituer un facteur limitant. Le diagnostic différentiel avec un tendon peroneus quartus peut être difficile. Une fois le diagnostic de fissure tendineuse posé lors de l'examen statique, une instabilité tendineuse est recherchée par des manœuvres d'éversion contrariée. Dans l'instabilité, le tendon franchit la crête malléolaire partiellement (subluxation) ou complètement (luxation).

Les ruptures complètes du tendon d'Achille surviennent le plus souvent lors d'un traumatisme banal sur tendon normal ou atteint d'une tendinopathie pré-existante. Elles siègent généralement 4 ou 5 cm en amont de l'insertion calcanéenne dans une zone de fragilité. Bien que le diagnostic de rupture du tendon d'Achille soit clinique, l'œdème de la cheville et du mollet peut orienter vers le diagnostic d'entorse ou de phlébite. Toutefois deux signes cliniques pathognomoniques de rupture du tendon d'Achille sont habituellement présents, le patient étant positionné en décubitus ventral, les pieds dépassant de la table d'examen : la perte de l'équin par rapport au côté controlatéral et l'absence de flexion plantaire lors de la pression du mollet (signe de Thompson). Le diagnostic échographique est facile sous réserve que le protocole d'examen soit correct. Les ruptures complètes apparaissent comme une solution de continuité au sein de la structure fibrillaire du tendon (fig. 8a). Le fragment distal est généralement élargi hétérogène et irrégulier alors que le fragment proximal n'est pas épaissi mais présente des artéfacts postérieurs en raison de la désorganisation et de la sinusité de ses fibres.

Un hématome peut être présent au sein de la solution de continuité mais ce signe est inconstant. La solution de continuité est parfois occupée par une hernie graisseuse provenant du triangle de Kager (fig. 8b). Dans les cas douteux, un examen dynamique peut être utile : manœuvres de flexion-extension passive du pied, constatant le rapprochement et l'éloignement des fragments tendineux. Les ruptures examinées en phase tardive peuvent être plus difficiles à diagnostiquer. Dans ces cas, un tissu fibreux peut occuper la solution de continuité et être interprété comme un tendon normal en raison de son caractère généralement échogène. Toutefois, l'analyse de son échostructure montre l'absence de caractère fibrillaire. Dans les récurrences de rupture sur tendon opéré, l'échographie recherche la solution de continuité au sein d'un tendon souvent inhomogène (cicatrice, suture, renforcement, matériel de ligature). Les ruptures partielles du tendon d'Achille sont généralement associées à une tendinose ou une hyper-sollicitation. Elles se présentent sous la forme de zones hypoéchogènes avec interruption de la structure fibrillaire. Les ruptures partielles traumatiques lors de traumatismes ouverts sont exceptionnelles.

Conclusion

L'échographie peut être considérée comme une méthode contributive et fiable pour le diagnostic des traumatismes tendineux

toutes lésions et localisations confondues sous réserve d'une bonne connaissance anatomique descriptive et fonctionnelle et de la sémiologie clinique de ces lésions. Malgré les progrès permanent du matériel, on retiendra toutefois qu'il existe des sites dont l'exploration reste difficile, nécessitant parfois de proposer une IRM complémentaire notamment pour les tendons profondément situés chez des sujets corpulents. Par ailleurs, les ruptures partielles sont moins faciles à affirmer que les ruptures complètes et peuvent également nécessiter une imagerie complémentaire. Les plaies tendineuses sont souvent diagnostiquées tardivement et nécessitent un examen précis des tendons mais également des structures environnantes (vaisseaux, nerfs, muscles). Les traumatismes des retinacula tendineux peuvent être méconnus si l'examen échographique se limite à des coupes statiques. Dans ces cas, le temps échographique dynamique peut être le seul moyen d'affirmer l'instabilité tendineuse. L'incidence fonctionnelle d'une rupture ou d'une instabilité tendineuse justifie l'importance qui doit être accordée à l'examen des tendons en échographie musculo-squelettique.

Références

- Kainberger F, Mittermaier F, Seidl G et al. Imaging of tendons: adaptation, degeneration, rupture. *Eur J Radiol* 1997;25:209.
- Potzman I, Bassan HN. Multiple tendons rupture in systemic lupus erythematosus: Case report and review of the literature. *Ann Rheum Dis* 1984;43:347.
- Levy M, Seelefreund M, Maor P, Fried A, Lurie M. Bilateral spontaneous and simultaneous rupture of the quadriceps tendon in gout. *J Bone J Surg (Br)* 1971;53:510.
- Peiro A, Ferrandis R, Garcia L, Alcazar E. Simultaneous and spontaneous bilateral rupture of the patellar tendon in rheumatoid arthritis: a case report. *Acta Orthop Scand* 1975;46:700.
- Barash E, Lombardi L, Arena L, Epstein E. MRI evaluation of bilateral quadriceps tendon rupture in a patient with secondary hyperparathyroidism: implication for diagnosis and therapy. *Comput Med Imaging Graph* 1989;5:407.
- Lotem N, Robson MD, Rosenfeld GD. Spontaneous rupture of the quadriceps tendon in patients on chronic hemodialysis. *Ann Rheum Dis* 1974;33:428.
- Fornage BD, Rifkin MD. Ultrasound examination of tendons. *Radiol Clin North Am* 1988;6:87.
- van Holsbeeck MT, Introcaso JH. Sonography of tendons. In van Holsbeeck MT, Introcaso JH (ed) *Musculoskeletal ultrasound*. St. Louis, Mosby, 1991, p 57.
- Chhem RK, Kaplan PA, Dussault RG. Ultrasonography of the musculoskeletal system. *Radiol Clin North Am* 1994;32:275.
- Jacobson JA, van Holsbeeck MT. Musculoskeletal ultrasonography. *Orth Clin North Am* 1998;29:135.
- Fessel DP, Vanderschueren GM, Jacobson JA et al. US of the ankle: technique, anatomy, and diagnosis of pathologic conditions. *Radiographics* 1998;18:325.
- van Holsbeeck MT, Introcaso JH. Musculoskeletal ultrasonography. *Rad Clin North Am* 1992;30:907.
- Neer CS. Impingement lesions *Clin Orthop* 1983;173:70-7.
- Peetrons P, Lemone M, Jeanmart J. Échographie et pathologie traumatique de l'épaule: coiffe des rotateurs et tendon de la longue portion du biceps. *Radiologie J. CEPUR* 1990;10:177-81.
- Soble MJ, Kaje AD, Guay RC. Rotator cuff tear: clinical experience with sonographic detection. *Radiology* 1989;173:319-21.
- Crass JR, Craig EV, Feinberg SB. Ultrasonography of rotator cuff tears: a review of 500 diagnostic studies. *J Clin Ultrasound* 1988;16:313-27.
- Farin PU, Jaroma H, Harju A et al. Shoulder impingement syndrome: sonographic evaluation. *Radiology* 1990;176:845-9.
- Middleton WD. Ultrasonography of the shoulder. *Radiol Clin North Am* 1992;30:927-40.
- van Holsbeeck MT, Kolowich PA, Eyler WR et al. US depiction of partial-thickness tear of the rotator cuff. *Radiology* 1995;197:443-6.
- Fernand M, Sihassen C, Maugé D, Sarazin L, Chevrot A, Drapé JL. Ruptures hyperéchogènes de la coiffe des rotateurs. *J Radiol* 2005;86:159-63.
- Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K. Shoulder sonography. State of the art *Radiol Clin North Am* 1999;37:767-85.
- Teefey SA, Hasan SA, Middleton W et al. Ultrasonography of the rotator cuff. A comparison of ultrasonographic and arthroscopic findings in one hundred consecutive cases. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82:498-504.
- Jacobson J, Lancaster S, Prasad A et al. Full-thickness and partial-thickness supraspinatus tendon tears: value of US signs in diagnosis. *Radiology* 2004;230:234-42.
- van Holsbeeck M, Strouse PJ. Sonography of the shoulder: evaluation of the subacromial-subdeltoid bursa. *AJR Am J Roentgenol* 1993;160:561-4.
- Hollister MS, Mack LA, Patten RM et al. Association of sonographically detected subacromial/subdeltoid bursal effusion and intra-articular fluid with rotator cuff tear. *AJR* 1995;165:605-8.
- Wohlwend JR, van Holsbeeck M, Craig J. The association between irregular greater tuberosities and rotator cuff tears: a sonographic study. *AJR* 1998;171:229-33.
- Bryant L et al. A comparison of clinical estimation, ultrasonography, magnetic resonance imaging, and arthroscopy in determining the size of rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2002;11:219-24.
- Kluger R et al. Sonographic versus magnetic resonance arthrographic evaluation of full-thickness rotator cuff tears in millimeters. *J Shoulder Elbow Surg*. 2003;12:110-6.
- Middleton WD, Payne WT, Teefey SA et al. Sonography and MRI of the shoulder: comparison of patient satisfaction. *AJR* 2004;183:1449-52.
- Middleton WD, Reinus WR, Totty WG et al. US of the biceps tendon apparatus. *Radiology* 1985;157:211.
- Ptasznik R, Hennessy O. Abnormalities of the biceps tendon of the shoulder: sonographic findings. *AJR Am J Roentgenol* 1995;164:409-14.
- Agins HJ, Chess JL, Hoekstra DV et al. Rupture of the distal insertion of the biceps brachii tendon. *Clin Orthop* 1988;234:34-8.
- Miller T, Adler RS. Sonography of tears of the distal biceps tendon. *AJR* 2000;175: 1081-6.
- Lozano V, Alonso P. Sonographic detection of the distal biceps tendon rupture. *J Ultrasound Med* 1995;14:389-91.
- Falchok FS, Zlatkin MB, Erbacher GE et al. Rupture of the distal biceps tendon: evaluation with MR imaging. *Radiology* 1994;190:659-63.
- Anzel SH, Covey KW, Weinr AD et al. Disruption of muscles and tendons: an analysis of 1.041 cases *Surgery* 1959;45:406-14.
- Rajasekhar C, Kakarkapudi TK, Bhrama MS. Avulsion of the triceps tendon *Emerg Med J* 2002;19:271-2.
- Bianchi S, Martinoli C, Abdelwahab IF. High resolution ultrasound of the hand and wrist. Review article. *Skeletal Radiol* 1999;28:121-9.
- Rizio L, Salvo JP, Schurhof MR, Uribe JW. Adductor longus rupture in professional football players: acute repair with suture anchors. A report of two cases *2002;32:243-5*.
- Pffirmann CWA, Chung CB, Theumann NH, Trudell DJ, Resnick D. Greater trochanter of the hip: attachment of the abductor mechanism and a complex of three bursae-MR imaging and MR bursography in cadavers and MR imaging in asymptomatic volunteers. *Radiology* 2001;221:469-77.

41. Gabrion A, Vernois J, Havet E, Mertl P, de Lestang M. Gluteus medius tendon tear and degenerative hip disease. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003;89:640-2.
42. Cvitanic O, Henzie G, Skezas N, Lyons J, Minter J. MRI diagnosis of tears of the hip abductor tendons (gluteus medius and gluteus minimus). *AJR* 2004;182:137-43.
43. Bianchi S, Zwass A, Abdelwahab IF, Banderali A. Diagnosis of tears of the quadriceps tendon of the knee: value of sonography. *AJR* 1994;162:1137-40.
44. La S, Fessell DP, Femino JE, Jacobson JA, Jamadar D, Hayes C. Sonography of partial-thickness quadriceps tendon tears with surgical correlation. *J Ultrasound Med* 2003;22:1323-9.
45. Ramsey HR, Muelle G. Quadriceps tendon rupture: a diagnostic trap. *Clin Orthop* 1970;70:161.
46. Gerling MC, Pfirrmann CW, Farooki S et al. Posterior tibialis tendon tears: comparison of the diagnostic efficacy of magnetic resonance imaging and ultrasonography for the detection of surgically created longitudinal tears in cadavers. *Invest Radiol* 2003;38:51-6.
47. Dooley BJ, Kudelka P, Menelaus MB. Subcutaneous rupture of the tendon of tibialis anterior. *J Bone Joint Surg* 1980;62:471-472.
48. Bianchi S, Zwass A, Abdelwahab IF, Zoccola C. Evaluation of tibialis anterior tendon rupture by ultrasonography. *J Clin Ultrasound* 1994;22:564-566.
49. Peetrans P. Lesions of the anterior tibial tendon using ultrasonography: report of 2 cases. *JBR-BTR* 1999;82:157-8.
50. Gallo RA, Kolman BH, Daffner RH, Sciulli RL, Roberts CC, De-Meo PJ. MRI of tibialis anterior tendon rupture. *Skeletal Radiol*. 2004;33:102-6.
51. Krause JO, Brodsky JW. Peroneus brevis tendon tears: pathophysiology, surgical reconstruction, and clinical results. *Foot Ankle Int* 1998;19:271-9.
52. Diaz GC, van Holsbeeck M, Jacobson JA. Longitudinal split of the peroneus longus and peroneus brevis tendons with disruption of the superior peroneal retinaculum. *J Ultrasound Med* 1998;17:525-9.
53. Neustadter J, Raikin SM, Nazarian LN. Dynamic sonographic evaluation of peroneal tendon subluxation. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183:985-8.
54. Rosenberg ZS, Beltran J, Cheung YY, Colon E, Herraiz F. MR features of longitudinal tears of the peroneus brevis tendon. *AJR Am J Roentgenol* 1997;168:141-7.
55. Mathieson R, Connell DG, Cooperberg PL, Lloyd-Smith DR. Sonography of the Achilles tendon and adjacent bursae. *AJR* 1988;151:127-31.
56. Kainberger FM, Engel A, Barton P et al. Injury of the Achilles tendon: diagnosis with sonography. *AJR* 1990;155:1031-6.

cas clinique

Histoire de la maladie

Une femme de 56 ans est adressée par son médecin traitant pour une échographie de l'épaule gauche. Elle se plaint d'une douleur latérale persistante, à prédominance nocturne, secondaire à une chute en ski survenue il y a un mois. Une radiographie conventionnelle pratiquée après le traumatisme a été considérée comme normale.

Une coupe échographique sagittale oblique de l'épaule passant par le grand axe du tendon supra-épineux est présentée (fig. 1).

Questions

1. Quel est l'élément pathologique sur la *figure 1* ?
2. Quelles sont les pathologies pouvant entraîner de tels remaniements ?
3. Quelle technique d'imagerie permet de préciser le diagnostic et comment la réaliser ?



Fig. 1 : Coupe coronale oblique de l'épaule gauche. Têtes de flèche : irrégularité avec aspect en marche d'escalier de la corticale supérieure et latérale du tubercule majeur. Delt : Deltoïde, Sus : tendon supra-épineux.

Fig. 1: *Oblique coronal sonogram of the left shoulder. Arrowheads : irregularities of the superior and lateral cortex of the humeral greater tuberosity. Delt: Deltoide muscle, Sus: supraspinatus tendon.*

41. Gabrion A, Vernois J, Havet E, Mertl P, de Lestang M. Gluteus medius tendon tear and degenerative hip disease. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003;89:640-2.
42. Cvitanic O, Henzie G, Skezas N, Lyons J, Minter J. MRI diagnosis of tears of the hip abductor tendons (gluteus medius and gluteus minimus). *AJR* 2004;182:137-43.
43. Bianchi S, Zwass A, Abdelwahab IF, Banderali A. Diagnosis of tears of the quadriceps tendon of the knee: value of sonography. *AJR* 1994;162:1137-40.
44. La S, Fessell DP, Femino JE, Jacobson JA, Jamadar D, Hayes C. Sonography of partial-thickness quadriceps tendon tears with surgical correlation. *J Ultrasound Med* 2003;22:1323-9.
45. Ramsey HR, Muelle G. Quadriceps tendon rupture: a diagnostic trap. *Clin Orthop* 1970;70:161.
46. Gerling MC, Pfirrmann CW, Farooki S et al. Posterior tibialis tendon tears: comparison of the diagnostic efficacy of magnetic resonance imaging and ultrasonography for the detection of surgically created longitudinal tears in cadavers. *Invest Radiol* 2003;38:51-6.
47. Dooley BJ, Kudelka P, Menelaus MB. Subcutaneous rupture of the tendon of tibialis anterior. *J Bone Joint Surg* 1980;62:471-472.
48. Bianchi S, Zwass A, Abdelwahab IF, Zoccola C. Evaluation of tibialis anterior tendon rupture by ultrasonography. *J Clin Ultrasound* 1994;22:564-566.
49. Peetrans P. Lesions of the anterior tibial tendon using ultrasonography: report of 2 cases. *JBR-BTR* 1999;82:157-8.
50. Gallo RA, Kolman BH, Daffner RH, Sciulli RL, Roberts CC, De-Meo PJ. MRI of tibialis anterior tendon rupture. *Skeletal Radiol*. 2004;33:102-6.
51. Krause JO, Brodsky JW. Peroneus brevis tendon tears: pathophysiology, surgical reconstruction, and clinical results. *Foot Ankle Int* 1998;19:271-9.
52. Diaz GC, van Holsbeeck M, Jacobson JA. Longitudinal split of the peroneus longus and peroneus brevis tendons with disruption of the superior peroneal retinaculum. *J Ultrasound Med* 1998;17:525-9.
53. Neustadter J, Raikin SM, Nazarian LN. Dynamic sonographic evaluation of peroneal tendon subluxation. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183:985-8.
54. Rosenberg ZS, Beltran J, Cheung YY, Colon E, Herraiz F. MR features of longitudinal tears of the peroneus brevis tendon. *AJR Am J Roentgenol* 1997;168:141-7.
55. Mathieson R, Connell DG, Cooperberg PL, Lloyd-Smith DR. Sonography of the Achilles tendon and adjacent bursae. *AJR* 1988;151:127-31.
56. Kainberger FM, Engel A, Barton P et al. Injury of the Achilles tendon: diagnosis with sonography. *AJR* 1990;155:1031-6.

cas clinique

Histoire de la maladie

Une femme de 56 ans est adressée par son médecin traitant pour une échographie de l'épaule gauche. Elle se plaint d'une douleur latérale persistante, à prédominance nocturne, secondaire à une chute en ski survenue il y a un mois. Une radiographie conventionnelle pratiquée après le traumatisme a été considérée comme normale.

Une coupe échographique sagittale oblique de l'épaule passant par le grand axe du tendon supra-épineux est présentée (fig. 1).

Questions

1. Quel est l'élément pathologique sur la figure 1 ?
2. Quelles sont les pathologies pouvant entraîner de tels remaniements ?
3. Quelle technique d'imagerie permet de préciser le diagnostic et comment la réaliser ?



Fig. 1 : Coupe coronale oblique de l'épaule gauche. Têtes de flèche : irrégularité avec aspect en marche d'escalier de la corticale supérieure et latérale du tubercule majeur. Delt : Deltoïde, Sus : tendon supra-épineux.

Fig. 1: *Oblique coronal sonogram of the left shoulder. Arrowheads : irregularities of the superior and lateral cortex of the humeral greater tuberosity. Delt: Deltoide muscle, Sus: supraspinatus tendon.*

Réponses

1. Il existe une irrégularité avec marche d'escalier tout à fait anormale de la corticale supérieure et latérale du tubercule majeur. Le tendon supra-épineux présente un aspect discrètement hypoéchogène, ses contours sont réguliers, son épaisseur est satisfaisante.

2. Compte tenu du contexte clinique une fracture-avulsion de la partie supérieure du tubercule majeur associée à une tendinopathie post-traumatique du tendon supra-épineux est hautement probable.

3. La radiographie conventionnelle de face réalisée sous amplificateur de brillance avec mouvements de rotation interne-externe du membre supérieur (*fig. 2*), permet presque toujours de confirmer la suspicion échographique en mettant en évidence l'arrachement cortical. Dans de très rares cas, une TDM voire une IRM peuvent être obtenues pour confirmer le diagnostic.



Fig. 2 : Radiographie de face de l'épaule gauche réalisée sous amplificateur de brillance. Têtes de flèche : fracture peu déplacée du tubercule majeur.

Fig. 2: *A-P standard radiograph obtained under fluoroscopic assistance. Arrowheads = non displaced avulsion of the humeral greater tuberosity.*

Échographie des muscles

C Courthaliac (1), A Lhoste-Trouilloud (2) et P Peetrons (3)

Abstract

Sonography of muscles

J Radiol 2005;86:1859-67

Sonography constitutes a method of choice in the evaluation of muscular structures. Traumatic lesions represent the majority of muscular injuries. A good anatomical knowledge of the weakness sites, as well as knowledge of traumatic signs and symptoms is essential in order to deliver a precise report to the referring physician. Sonography may suggest other causes of muscle lesions, tumoral or dystrophic, before confirmation by MRI.

Key words: Muscle, US. Anatomy, trauma.

Résumé

L'échographie constitue une méthode de choix dans l'étude des structures musculaires. Les lésions traumatiques représentent la majorité des atteintes musculaires. Une bonne connaissance anatomique des sites de faiblesse, ainsi que de la séméiologie traumatique sont essentielles afin de communiquer au correspondant un compte rendu précis. Les autres causes d'atteinte musculaire qu'elles soient tumorale ou dystrophique sont suspectées en échographie avant d'être précisées par l'IRM.

Mots-clés : Échographie, Muscle. Anatomie, traumatisme.

L'échographie a toujours représenté un moyen d'investigation simple et peu onéreux des structures musculaires. Les différents travaux anatomiques réalisés ont permis de mieux comprendre le comment et le pourquoi de l'atteinte musculaire en des sites précis. Le but de l'échographie dans la pathologie traumatique sera, bien sûr, de confirmer le diagnostic effectué cliniquement, mais surtout de mieux grader la lésion à la recherche d'éléments péjoratifs voire de réelles complications découvertes dans le cadre de douleurs chroniques mal soignées. Les atteintes musculaires non traumatiques sont plus rares et regroupent les pathologies tumorales et les troubles neurogènes. Nous allons, au cours de ce chapitre, décrire les signes séméiologiques principaux rencontrés lors de la pathologie traumatique directe ou indirecte aux stades aigu et chronique ainsi que l'apport et les limites de l'échographie dans le cadre des autres pathologies tumorales ou neurogènes.

Rappels anatomiques et écho-anatomiques

Le muscle est une structure qui par sa contraction ou son élévation va permettre le mouvement d'un os par rapport à un autre os. Sur le plan architectural, il est composé de fibres baignant dans un tissu conjonctif nommé l'endomysium. Chaque paquet de fibres, nommé faisceau est entouré par le pérимыsium, véritable lame porte-vaisseaux ; l'ensemble des faisceaux musculaires constituant le muscle est limité par l'épимыsium ou aponévrose périphérique (pérимыsculaire) (fig. 1). Ces muscles se raccordent aux éléments osseux par l'intermédiaire d'un tendon plus ou moins long dont les fibres s'interpénètrent avec les fibres musculaires expliquant ainsi l'absence de frontière nette entre muscle et tendon. La plupart du temps, le tendon se prolonge dans le muscle par l'entremise d'une

aponévrose principale. C'est ainsi qu'au niveau du muscle droit antérieur, on retrouve initialement deux tendons principaux, l'un direct et l'autre indirect qui vont tous les deux se prolonger respectivement par l'aponévrose périphérique et par l'aponévrose centromusculaire. Le tendon distal, unique, naîtra, quant à lui, à partir de l'aponévrose dorsale périphérique. De nombreuses études ont montré que les jonctions myo-tendineuses (fig. 2) et leurs prolongements aponévrotiques constituaient des points de faiblesse, notamment en contraction excentrique, en raison d'une capacité d'absorption énergétique moindre en regard de l'intrication des fibres musculo-tendineuses (1-3). La sévérité de l'atteinte traumatique dépend de la fréquence, de l'importance et de la durée de la surcharge de travail. C'est donc au niveau de ces sites que seront recherchées les lésions débutantes ainsi qu'au niveau des jonctions myo-aponévrotiques périphériques. Sur le plan échographique, les fibres musculaires, tout comme l'endomysium sont hypoéchogènes. Le tissu conjonctif type épимыsium ou pérимыsium est quant à lui hyperéchogène. Sur les coupes transverses, le muscle prend un aspect ponctué (fig. 3) lié au pérимыsium échogène alors que sur les coupes sagittales il apparaît penné (fig. 4). Lors des épreuves dynamiques de contraction, le muscle va s'hypertrophier avec une augmentation de l'occupation de surface par les fibres musculaires par rapport au tissu conjonctif conduisant à une hypoéchogénicité globale du muscle. D'autre part, les fibres musculaires ont une orientation variable en fonction de leur site d'insertion (muscle uni-penné, bi-penné) ce qui peut être à l'origine d'un artefact d'anisotropie, l'inclinaison progressive du faisceau ultrasonore permettant alors de s'en affranchir. Plus qu'une simple anomalie d'échogénicité, il faudra s'attacher à rechercher un flou péri-aponévrotique ou péri-tendineux qui persistera malgré l'inclinaison du faisceau.

Quand réaliser une échographie musculaire en cas de pathologie traumatique aiguë ?

L'échographie se doit d'être réalisée entre 48 h et 72 h (4) ; effectuée trop précocement, elle risque de minimiser l'étendue

(1) Radiologie Ostéo-Articulaire, 41, avenue de Grande-Bretagne, 63000 Clermont-Ferrand. (2) Service de Radiologie Ostéo-Articulaire, CHRU Gabriel-Montpied, place Henri-Dunand, 63000 Clermont-Ferrand. (3) Service de Radiologie Ostéo-Articulaire, Hôpital Molière-Longchamp, 1190 Bruxelles.
Correspondance : C Courthaliac
E-mail : c.courthaliac@wanadoo.fr

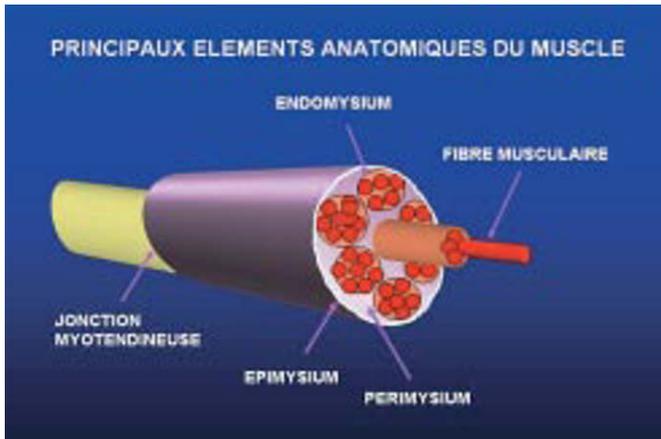


Fig. 1 : Représentation schématique d'un muscle.

Fig. 1: Simplified representation of a muscle.

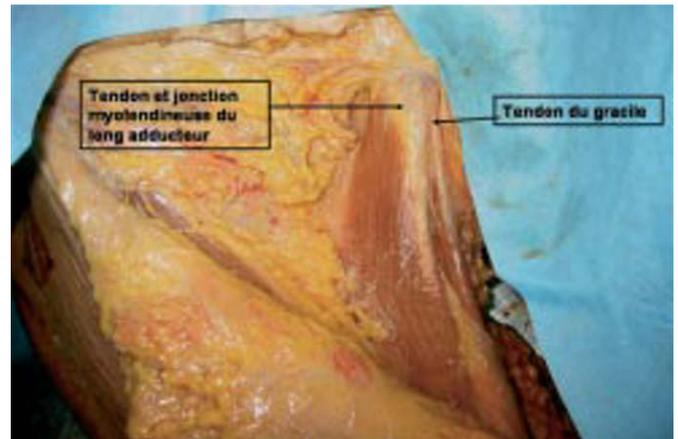


Fig. 2 : Dissection anatomique de la jonction myo-tendineuse du long adducteur.

Fig. 2: Anatomical drawing of the myo-tendinous junction of the adductor longus.

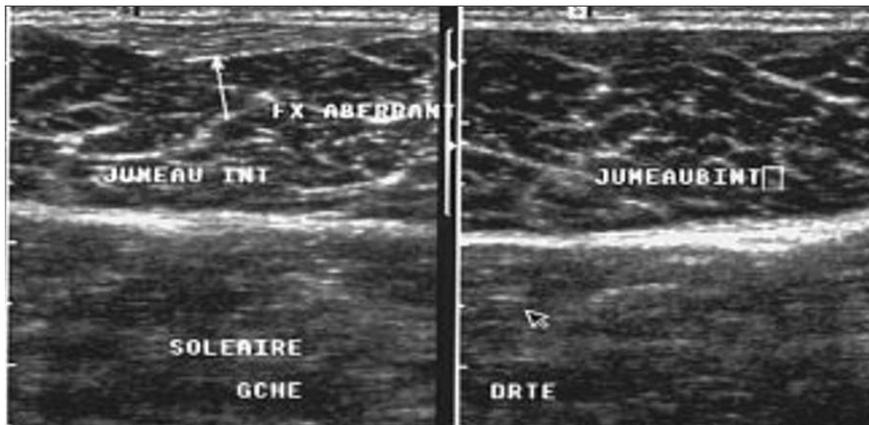


Fig. 3 : Aspect ponctué du gastrocnémien médial en coupe axiale transverse.

Fig. 3: Punctate aspect of the medial gastrocnemius from a short axis view.

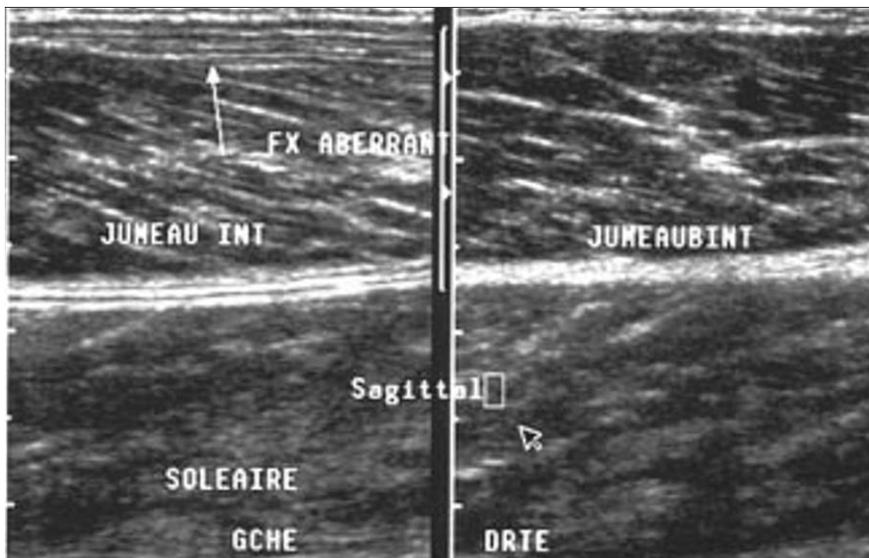


Fig. 4 : Aspect penné du gastrocnémien médial en coupe sagittale.

Fig. 4: Pennate aspect of the medial gastrocnemius from a long axis view.

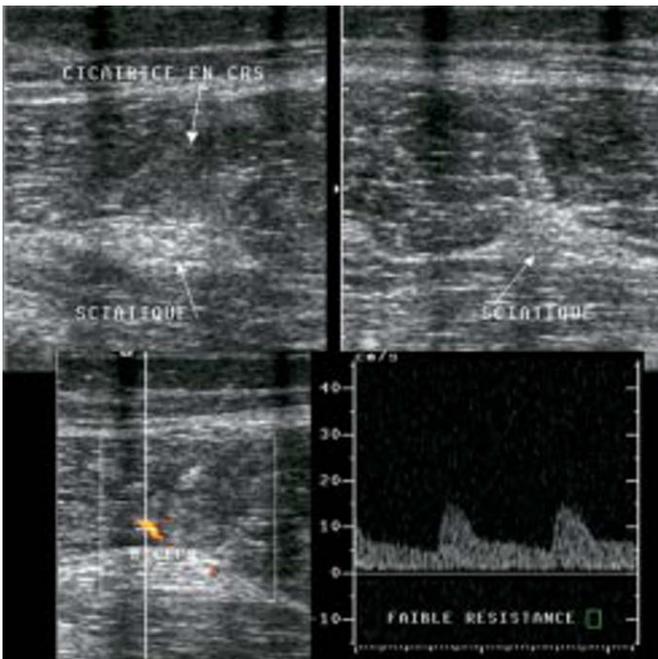


Fig. 5 : Hyperhémie péri-lésionnelle avec une vascularisation à faible résistance.

Fig. 5: *Low resistance hypervascularisation surrounding the lesion.*

lésionnelle et être faussement rassurante. Il conviendra également de demander au patient si le protocole RICE (repos, glaçage, compression, élévation du membre) a été effectué : ces éléments sont indispensables car ils expliquent parfois l'absence d'un hématome important sur une clinique initialement parlante.

Comment réaliser l'examen ?

L'interrogatoire paraît indispensable afin de déterminer les circonstances d'apparition de la douleur ou de l'impotence. Le patient sera ensuite placé dans la position la plus adaptée pour le groupe de muscles à étudier sans oublier un déshabillage suffisant, en particulier en cas d'analyses des adducteurs. Un appareil de haut de gamme est indispensable pour rechercher des signes précurseurs de traumatisme. Une sonde de haute fréquence est utilisée (7,5 Mhz) voire de très haute fréquence (12-14 Mhz) pour certaines régions superficielles. Le site douloureux est alors exploré avec une attention toute particulière pour les zones anatomiques jonctionnelles, même si elles sont localisées à distance du site supposé traumatique. Le muscle est ainsi analysé totalement. Des épreuves de contraction contre résistance sont éventuellement réalisées en cas de négativité de la première partie de l'examen sauf bien sûr s'il s'agit d'une douleur chronique avec découverte d'une zone cicatricielle où elles restent indispensables. On pourra s'aider du Doppler couleur ou puissance en cas de traumatisme datant de plus de 5 jours à la recherche d'une hyperhémie réactionnelle, témoin de l'angiogénèse cicatricielle en cours (*fig. 5*) (5).

Que doit-on rechercher et où le rechercher ?

Il convient de séparer les lésions musculaires en fonction du mécanisme traumatique. On sépare ainsi les traumatismes directs



Fig. 6 : Augmentation du volume musculaire du vaste intermédiaire avec infiltration œdémato-hémorragique des fibres musculaires sur un traumatisme direct.

Fig. 6: *Vastus intermedius of increased volume with edematous and hemorrhagic infiltration of the muscle fibres following direct trauma.*

liés à une compression musculaire entre un objet contondant et l'os en profondeur, des traumatismes indirects surviennent la plupart du temps en cas de contraction excentrique avec atteinte des sites anatomiques de faiblesse.

1. Traumatisme direct

Le vaste latéral, le vaste intermédiaire au niveau du membre inférieur et le brachial antérieur au niveau du membre supérieur sont les plus exposés. Le remaniement architectural surviendra en regard du site de compression sans rapport avec l'architecture anatomique propre. On observe dans un premier temps une augmentation de volume musculaire. Elle se traduit par une infiltration œdémato-hémorragique hyperéchogène (*fig. 6*) qui en fonction de son importance s'associe à de véritables ruptures musculaires avec hématome hypoéchogène. Un aspect en battant de cloche est identifié dans les cas les plus extrêmes signant une véritable fracture musculaire. On recherchera d'autre part une interruption de l'aponévrose superficielle source de hernie potentielle et un hématome sous-cutané plus ou moins liquéfié qui indiquera le trajet traumatique et pourra être source de collection type Morel-Lavallée. Enfin, l'étude en profondeur de la corticale osseuse est indispensable car l'hématome des tissus mous peut masquer une rupture corticale sous-jacente et notamment au niveau de la fibula (sa fracture n'entraîne pas forcément une impotence totale).

2. Traumatisme indirect

Les muscles intéressés sont fonction du sport pratiqué, mais globalement le membre inférieur représente le site de prédilection. Le caractère bi-articulaire de muscles comme les ischio-jambiers ou le droit antérieur, associé à l'architecture bi-pennée de ce dernier expliquent cette prédisposition. Il s'agit de véritables désinsertions, qui en fonction de leur localisation se nommeront : désinsertion myo-tendineuse, myo-aponévrotique centro-musculaire ou myo-aponévrotique périphérique (6, 7). On recherchera donc une hyperéchogénicité à proximité des aponévroses et

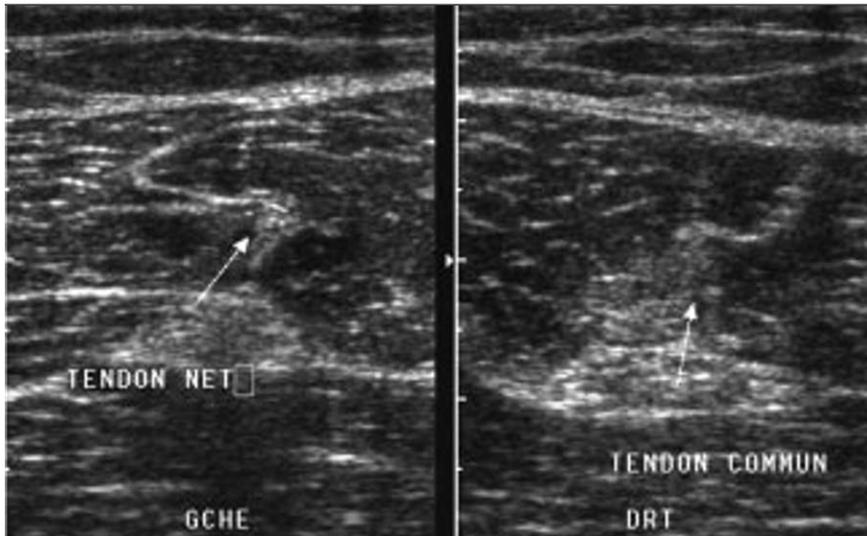


Fig. 7 : Aspect flou, échogène de la jonction myo-tendineuse du biceps fémoral (chef long) témoignant de la désinsertion.

Fig. 7: *Blurred echogenic aspect of the myo-tendinous junction of the biceps femoris (long chief); muscle injury.*

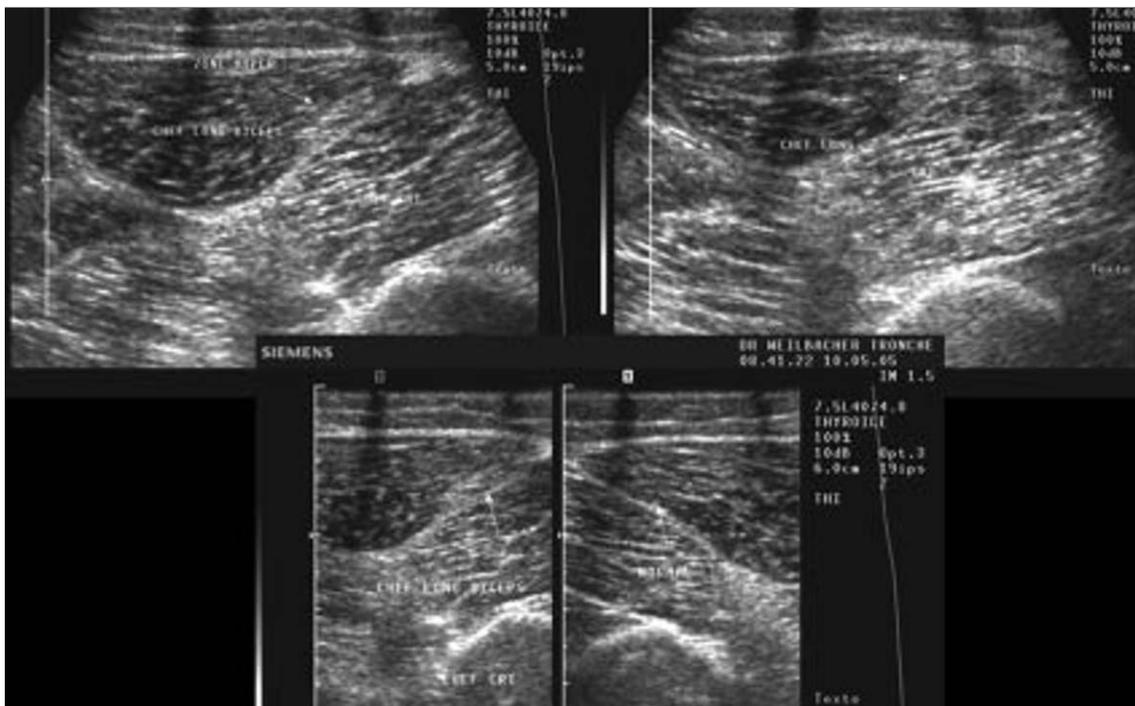


Fig. 8 : Aspect échogène fusant le long de l'aponévrose périphérique du chef long du biceps (accolée à celle du chef court) et gagnant la jonction myo-tendineuse.

Fig. 8: *Echogenic aspect extending along the peripheral aponeurosis of the long biceps femoris (joining the brevis) near the myo-tendinous junction.*

des tendons et surtout un flou circonscrivant ces structures. À un stade plus évolué et étendu, une plage hétérogène mêlant, hyper-échogénicité et hypoéchogénicité, traduisant l'hématome, est observée. L'étendue lésionnelle est souvent importante ce qui s'explique par l'amarrage des fibres musculaires sur le squelette fibreux ; on peut schématiquement représenter cette lésion comme une banane que l'on épluche, avec une certaine difficulté pour amorcer la procédure et une grande facilité pour la terminer. L'importance de l'étendue est certes à prendre en compte, mais ne préjuge pas à elle seule de l'évolution de la lésion. Il est important de déceler des épanchements péri-musculaires et surtout inter-aponévrotiques.

Quels sont les sites à explorer tout particulièrement ?

1. Au niveau de la cuisse

Le tendon commun du muscle semi-tendineux ou du chef long du biceps est souvent concerné (*fig. 7*) tout comme la jonction myo-tendineuse du muscle semi-membraneux, avec deux repères anatomiques utiles qui sont le triangle de Cohen (8) et le S inversé de Sans au sein du muscle semi-tendineux. Lors de douleurs survenant en postéro-latéral et en distalité lors d'accélération, on recherchera une plage échogène bordant l'aponévrose



Fig. 9 : Lésion hétérogène au niveau de la jonction myo-tendineuse du long adducteur.

Fig. 9: *Heterogeneous lesion at the level of the myo-tendinous junction of the adductor longus.*



Fig. 10 : Infiltrat échogène de la jonction myo-aponévrotique distale du gastrocnémien médial signant la désinsertion.

Fig. 10: *Echogenic infiltration of the distal myo-aponeurotic junction of the medial gastrocnemius: muscle tear.*

séparant le chef court du chef long du biceps fémoral avec parfois une extension jusqu'à la jonction myo-tendineuse (fig. 8). À ce niveau, les lésions récidivent fréquemment d'où l'intérêt d'un diagnostic initial. Les lésions du muscle droit antérieur, comme nous l'avons vu précédemment, siègent aussi bien en regard de l'aponévrose centro-musculaire (prolongement du tendon indirect) que de l'aponévrose périphérique (prolongement du tendon direct) (9). La jonction myo-tendineuse distale semble plus souvent épargnée. Enfin, une connaissance anatomique parfaite est nécessaire pour faire le bilan des lésions touchant les adducteurs. Le long adducteur, en raison de son véritable tendon et de son prolongement intramusculaire est le principal intéressé ; on s'attachera à rechercher un épaississement de l'aponévrose centro-musculaire qui paraît irrégulière avec parfois une véritable désorganisation architecturale (fig. 9). Le court adducteur est rarement lésé alors qu'au niveau du grand adducteur la jonction myo-tendineuse postérieure constitue un site de faiblesse qu'il faudra étudier avec attention.

2. Au niveau de la jambe

Le traumatisme le plus connu est bien sûr le « tennis leg » qui correspond à une désinsertion myo-aponévrotique distale du gastrocnémien médial ; elle va se manifester par un infiltrat échogène (fig. 10) associé ou non à une zone hypoéchogène de rupture fibrillaire pouvant aller jusqu'à la rétraction musculaire. Les coupes dans le plan axial transverse permettront de faire la distinction entre rupture partielle (la plus fréquente) et rupture complète, alors que les coupes dans le plan sagittal apprécieront la rétraction (10). Ces désinsertions peuvent s'accompagner d'une rupture de l'aponévrose expliquant les épanchements inter-aponévrotiques observés (fig. 11). Surtout, tout épanchement inter-aponévrotique devra être ponctionné avec une compression post-ponction. Des lésions plus difficiles à diagnostiquer sont rencontrées en profondeur, au sein du muscle soléaire ; ce dernier présente un squelette fibreux très développé d'où la difficulté pour mettre en évidence les lésions de petites tailles. On recherchera de même un flou péri-aponévrotique échogène (fig. 12) ou une désorganisation architecturale profonde. Un site

souvent douloureux est très piégeant : il s'agit de l'aponévrose séparant les deux gastrocnémiens qui présente une orientation parallèle au faisceau ultrasonore avec des fibres musculaires dont l'orientation peut générer des artefacts d'anisotropie par lequel une modification de la direction du faisceau ultrasonore paraît donc indispensable. Parfois, seul est individualisé un épanchement inter-aponévrotique sans désinsertion musculaire associée ; il s'agit alors, en ayant bien sûr écarté une atteinte profonde du soléaire, d'une authentique lésion de glissement inter-aponévrotique. Les diagnostics différentiels seront : la phlébite, la rupture du kyste poplité, la pathologie tumorale étant rare dans ce tableau aigu.

3. Au niveau du bras

Il s'agit de la classique atteinte du biceps brachial distal mais qui s'exprime le plus souvent par une désinsertion distale de son amarrage osseux, la rétraction musculaire restant peu évidente en cas de persistance de l'expansion aponévrotique du biceps. L'atteinte de la jonction myo-tendineuse reste possible mais plus rare. Elle se traduira par la même séméiologie traumatique qu'au membre inférieur avec un flou échogène circonscrivant l'origine aponévrotique intramusculaire du tendon.

4. Au niveau de la paroi abdominale

Les muscles grands droits de l'abdomen constituent un site de prédilection des lésions traumatiques indirectes en particulier lors de la pratique du tennis, avec une atteinte opposée au côté dominant du joueur. Le muscle apparaît hypertrophié, avec une désorganisation hétérogène fréquente et pseudo-nodulaire, à proximité des aponévroses (fig. 13).

Peut-on corrélater les anomalies échographiques aux différents stades cliniques ?

Les classifications actuellement utilisées sont basées essentiellement sur l'examen clinique avec comme référence les classifica-

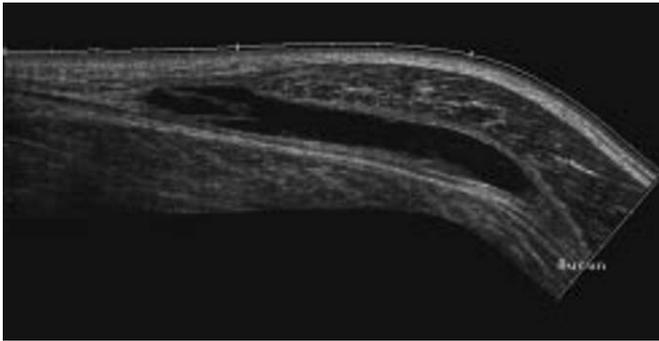


Fig. 11 : Volumineux épanchement liquidien interaponévrotique entre le gastrocnémien médial et le soléaire en profondeur.

Fig. 11: *Large intera-aponeurotic collection between the medial gastrocnemius and the soleus (deeper located).*

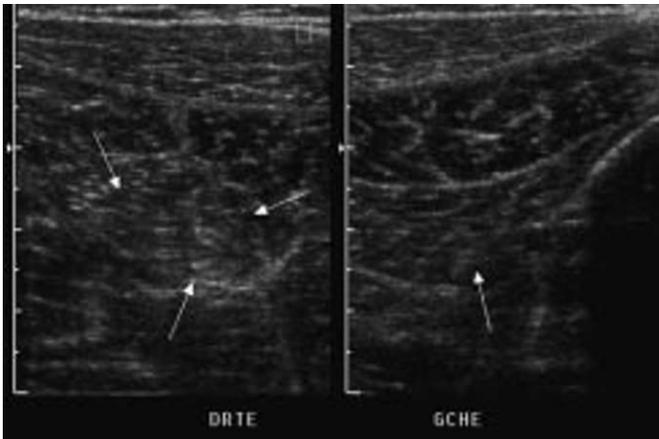


Fig. 12 : Petite désorganisation échogène profonde au sein du soléaire correspondant à une désinsertion myo-aponévrotique centro-musculaire.

Fig. 12: *Small echogenic disorganization within the soleus corresponding to a centro-muscular myo-aponeurotic tear.*



Fig. 13 : Aspect pseudo-nodulaire hétérogène associé à une augmentation du volume musculaire typique d'une désinsertion myo-aponévrotique du muscle grand droit de l'abdomen.

Fig. 13: *Heterogeneous pseudo-nodular aspect associated to an increase in the muscle volume, typical of a myo-aponeurotic tear of the muscle rectus abdominis.*

tions de Rodineau ou d'Andrivet en passant par celles de Durey ou Benezis. La plus récente, décrite par Rodineau (11) est scindée en 5 stades de 0 à 4 (stade 0 : atteinte réversible de la fibre musculaire sans lésion du tissu conjonctif de soutien ; stade 1 : atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires sans atteinte du tissu conjonctif de soutien ; stade 2 : atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires avec atteinte du tissu conjonctif de soutien ; stade 3 : atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires avec atteinte du tissu conjonctif et hématome intramusculaire localisé ; stade 4 : rupture partielle ou totale du muscle) ; elle se base sur des lésions histologiques et une expérience clinique personnelle ; Il est bien sûr possible d'appliquer cette classification aux découvertes échographiques, seuls les stades 0 et 1 ne comportant pas de traduction échographique. C'est ainsi qu'un stade 2 se manifestera en échographie soit par un épaississement hyperéchogène local aux contours flous de l'aponévrose principale ou périmusculaire, soit par une petite désorganisation architecturale hétérogène sans hématome franc. Le stade 3 correspond à la présence d'une collection au sein du remaniement architectural alors que le stade 4 traduit une désinsertion complète avec moignon en battant de cloche. Les progrès du matériel échographique et des échographistes ostéo-articulaires ont permis de constater que la plupart des lésions retrouvées siègent au niveau des jonctions myo-aponévrotiques ou myo-tendineuses et que bien qu'exprimant une même entité histologique de désinsertion, elles ne présentent pas le même pronostic (lésion centro-musculaire et myo-tendineuse). Il paraît donc licite d'évaluer une classification pronostique échographique dont pourra se servir le clinicien en vue d'un traitement le plus efficace (réduisant les risques de récurrence) mais le plus raisonnable en terme de délai. D'après une expérience personnelle, on constate aux environs du 7^e jour une hyperhémie avec des flux de faible résistance ; le muscle normal, au repos, présente une vascularisation modérée et surtout à haute résistance ; le retour à une vascularisation à haute résistance pourrait constituer un élément supplémentaire (associé à un examen clinique satisfaisant) de reprise de l'activité sportive. Des protocoles d'études sont toutefois nécessaires pour valider cette hypothèse.

Le radiologue a-t-il sa place dans l'arsenal thérapeutique ?

Devant toute lésion musculaire, la recherche d'un hématome ou d'un épanchement est primordial. Il sera nécessaire de le ponctionner en cas de volume significatif et bien sûr en phase de liquéfaction. Cette ponction s'effectue sous repérage échographique après asepsie stricte à l'aide d'une aiguille IM dont le calibre sera fonction de l'échogénicité de l'épanchement (*fig. 14*). Afin de savoir si un hématome est ponctionnable, on peut s'aider de la pression exercée sur la zone d'intérêt : si l'hématome est dépressible, la ponction sera efficace alors que dans le cas contraire, cette ponction sera décevante. La ponction va réduire d'autant les berges de désinsertion, facilitant ainsi la détersion du foyer fibrino-cruorique, le risque principal étant le retard de cicatrisation et la réduction des espaces de glissement intermusculaire source de douleurs sourdes plus ou moins chroniques se déclenchant surtout au cours de l'effort. Après toute ponction, une compression raisonnée est effectuée pendant 24 à 48 h.

Les douleurs chroniques post-traumatiques

Devant un tableau de douleurs chroniques, il convient de rechercher, par l'interrogatoire, plusieurs éléments qui permettront d'orienter l'examen clinique : quel a été le traumatisme initial : violent ou passé inaperçu ? le délai de reprise a-t-il été respecté ? les douleurs surviennent-elles à l'occasion d'un effort sportif ou sont-elles permanentes ?

On s'attachera dès lors à mettre en évidence des lésions séquellaires (12) : une zone cicatricielle hypertrophique, de localisation vicieuse (en regard du nerf sciatique pour les lésions du chef long du biceps fémoral) voire de véritables calcifications parfois identifiées au sein d'une zone cicatricielle aberrante (fig. 15). On comprend alors la perte du pouvoir élastique de cette zone jonctionnelle facilitant ainsi les douleurs chroniques et les récives. Les collections liquidiennes persistantes seront ponctionnées pour faciliter la poursuite de la cicatrisation. Les épreuves dynamiques serviront à éliminer une hernie musculaire qui survient essentiellement après rupture aponévrotique initiale (fig. 16). Lors de la reprise précoce du sport, notamment après un traumatisme direct, de véritables calcifications musculaires à développement longitudinal pré-diaphysaire peuvent apparaître. Elles disparaissent totalement en 12 mois, mais expliquent dans certains cas les douleurs résiduelles. Les myosites ossifiantes constituent une entité de diagnostic moins aisée car le traumatisme initial passe souvent inaperçu et parfois seule la biopsie, avec étude histologique, permet d'écarter une tumeur musculaire agressive. L'échographie va retrouver au stade initial une hyperéchogénicité circonscrivant une zone hypoéchogène qui va donner naissance aux ossifications à la phase dite « consolidée ». Le problème vasculaire, représenté par la phlébite, constitue un piège classique et peut survenir très précocement en raison de la perte de l'effet pompe musculaire, avec développement d'une thrombose profonde. Elle devra systématiquement être recherchée. Enfin, les conséquences des désinsertions anciennes importantes peuvent se traduire par une atrophie musculaire avec nette infiltration graisseuse ; elle se manifeste en échographie par un muscle de petite taille par rapport au côté controlatéral avec une perte de l'aspect fibrillaire remplacé par une hyperéchogénicité globale liée au remplacement des fibres musculaires par du tissu graisseux.



Fig. 15 : Cicatrice calcifiante du tendon commun au chef long du biceps fémoral et au semi-tendineux.

Fig. 15: *Calcifying scar of the common tendon of the long head of the biceps femoris and the semitendinosus.*

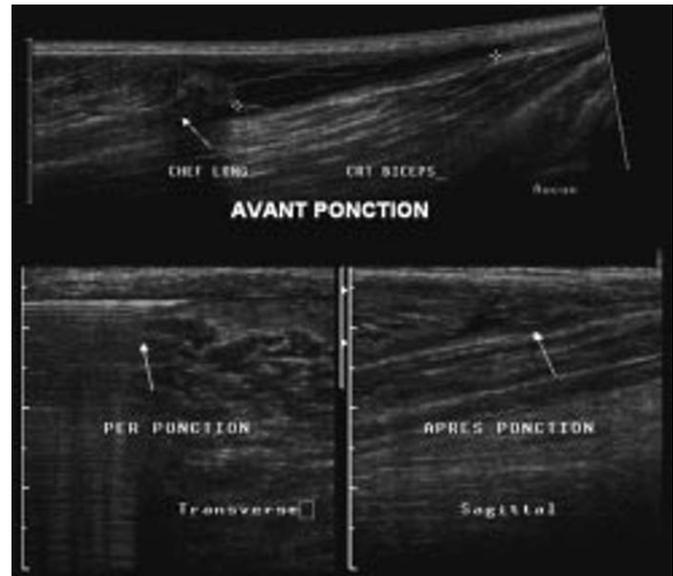


Fig. 14 : Ponction sous guidage échographique d'un hématome survenu sur une désinsertion myotendineuse importante du chef long du biceps fémoral avec rétraction.

Fig. 14: *Puncture under sonographic guidance of a hematoma related to a large myo-tendinous tear of the long head of the biceps femoris with retraction.*

Enfin, devant des douleurs chroniques, l'échographie permettra d'éliminer une pathologie non traumatique, tumorale ou inflammatoire voire neurogène.

La pathologie musculaire non traumatique

Elle regroupe la pathologie tumorale, infectieuse et neuromusculaire.

Les tumeurs musculaires sont rares et d'origines histologiques diverses : graisseuse, conjonctive, nerveuse, vasculaire. L'échographie représente l'examen de première intention en cas de

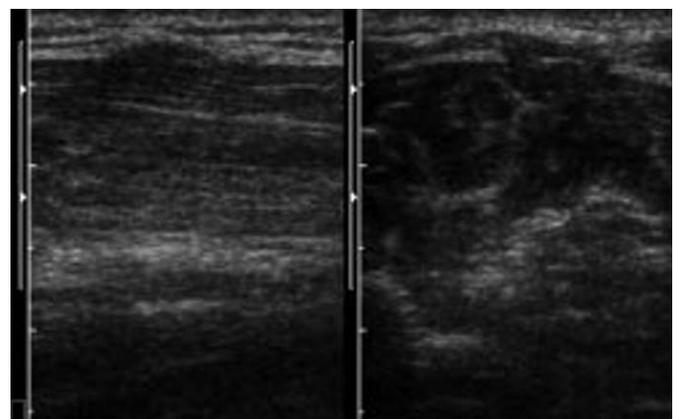


Fig. 16 : Hernie musculaire au travers de l'aponévrose périphérique.

Fig. 16: *Muscular hernia through the peripheral aponeurosis.*

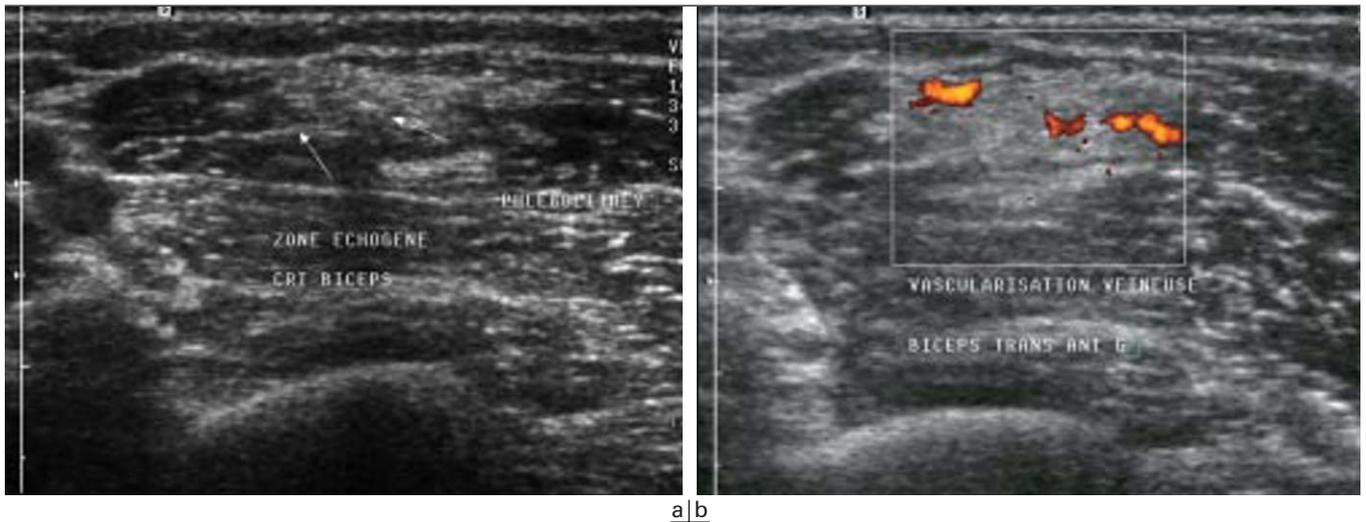


Fig. 17 : a-b Formation échogène mal limitée du biceps brachial, pseudo-nodulaire avec phlébolithes et hypervascularisation mixte : tumeur vasculaire type hémangiome musculaire suspecté.

Fig. 17: a-b Ill-defined echogenic lesion within the biceps brachii, pseudo-nodular with phleboliths and mixed hypervascularisation: suspected vascular tumour (muscular hemangioma).

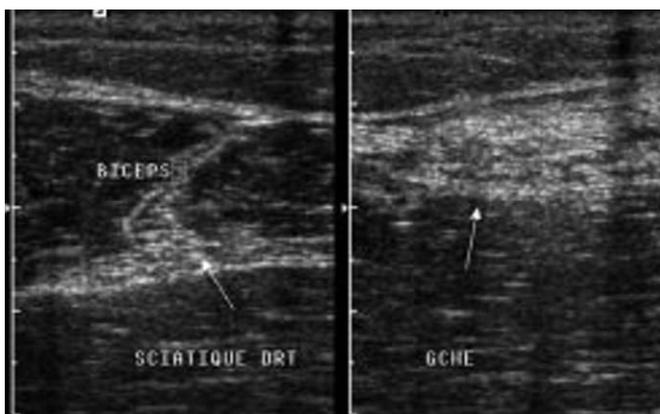


Fig. 18 : Amyotrophie et aspect échogène global du muscle témoin de son infiltration graisseuse.

Fig. 18: Amyotrophy and diffuse echogenic aspect of the muscle corresponding to fatty infiltration.

tuméfaction des tissus mous. Elle va permettre de localiser le processus occupant, d'en déterminer ses contours, ses rapports avec les structures de voisinage, notamment articulaire et ostéopériostées, sa vascularisation (sensibilisée par le couplage à l'injection intraveineuse de bolus de contraste) et la présence ou non d'une composante kystique et/ou calcique. Un aspect hyperéchogène bien limité avec un développement dans l'axe des fibres oriente plus vers une lésion peu agressive (fig. 17a et b). Cependant, en aucun cas elle ne permettra d'établir une histologie lors de lésion charnue. L'imagerie par résonance magnétique sera alors d'une aide précieuse pour améliorer la caractérisation tissulaire. Après concertation multi-disciplinaire, l'échographie peut permettre une ponction et/ou une biopsie échoguidée en vue d'un bilan anatomo-pathologique.

L'échographie a-t-elle une place dans le suivi post-opératoire des lésions musculaires tumorales ?

Elle peut bien sûr constituer l'une des techniques de surveillance en sachant qu'elle doit être réalisée par le même opérateur et qu'une première échographie de référence post-opératoire semble indispensable. Néanmoins, l'IRM reste le gold standard dans le cadre de la surveillance tumorale post-opératoire.

L'atteinte infectieuse ou inflammatoire (13) est une des rares myosites virales ou bactériennes dont l'aspect est variable en fonction de la présence ou non d'un abcès. Globalement, on constate une inversion de l'échogénicité musculaire habituelle avec des fibres musculaires hyperéchogènes et des septas hypoéchogènes. En cas d'abcès une masse plus ou moins hypoéchogène sera visualisée avec des contours flous et une paroi épaisse.

Les atteintes d'origine neuromusculaire se traduisent la plupart du temps par une amyotrophie avec infiltration graisseuse hyperéchogène (fig. 18). Quelques cas particuliers sont à connaître et ont fait l'objet récemment d'une publication par l'équipe Nancéenne de Blum (14), telle l'hypertrophie musculaire neurogène qui survient le plus souvent dans un contexte ancien de hernie discale ou de canal lombaire étroit. Le muscle est hypertrophié, douloureux avec de façon inconstante une infiltration graisseuse.

Conclusion

Une connaissance anatomique précise, des bases séméiologiques sérieuses rendent l'échographie des muscles abordable. Elle permet grâce à son coût peu onéreux, son accessibilité de résoudre la plupart des problèmes musculaires. Elle va, d'autre part, faciliter les ponctions biopsies et permettre le suivi évolutif des lésions traumatiques. Il convient toutefois d'en connaître les limites (tant techniques que personnelles), et de ne pas hésiter à passer la main, en particulier en cas de présentation atypique, à ce qui reste la technique de référence : l'IRM.

Références

1. Garret WE, Safran AV et al. Biomechanical comparison of stimulated and non stimulated skeletal muscle pulled to failure. *Am J Sports Med* 1987;15:448-54.
2. Hasselman CT, Best TM, Seaber AV et al. A threshold and continuum of injury during active stretch of rabbit skeletal muscle. *Am J Sports Med* 1995;23:65-73.
3. Tidball JG, Salem G, Zernicke R. Site and mechanical conditions for failure of skeletal muscle in experimental strain injuries. *J Appl Physiol* 1993;74:1280-6.
4. Peetrons P. Ultrasound of muscles. *Eur Radiol* 2002;12:35-43.
5. Dupont P. Réparation et cicatrisation musculaire. *Sport Med* 1997; 90:19-21.
6. Brasseur JL, Tardieu M, Lazennec JY. L'écho-anatomie des lésions musculaires aiguës et chroniques. *Feuillets de Radiologie* 1999;39:181-91.
7. Thelen P. Traumatisme musculaire récent. Apport de l'imagerie. *Sport Med* 1997;90:25-7.
8. Cohen M, Sarrat P, Carrasset S, Coste J, Prou E. Les lésions proximales des muscles ischio-jambiers: étude échographique des lésions hautes des ischio-jambiers. Communication JFR 2001.
9. Hasselman C, Best T, Charles Hughes IV, Martinez S, Garrett W. An explanation for various rectus femoris strain injuries using previously undescribed muscle architecture. *Am J Sports Med* 1995; 23:493-9.
10. Bianchi S, Martinoli C, Abdelwahab F, Derchi L, Damiani S. Sonographic evaluation of tears of the gastrocnemius medial head (Tennis Leg). *J Ultrasound Med* 1998;17:157-62.
11. Rodineau J. Évaluation des lésions musculaires récentes et essai de classification. *Sport Med* 1997;90:28-30.
12. Peyre M, Besch S. Complication des traumatismes musculaires. Classification des lésions anciennes, évaluation clinique et paraclinique: indication thérapeutique. *Sport Med* 1997;90:65-8.
13. Peetrons P. Les muscles: in atlas échographique du système locomoteur tome 1: le membre supérieur. Sauramps ed 2000 : 199-200.
14. Zabel JP, Peutot A, Chapuis D, Batch T, Lecocq J et Blum A. Hypertrophie musculaire neurogène: à propos de trois cas, imagerie et revue de la littérature. *J Radiol* 2005;86:133-41.

cas clinique

Histoire de la maladie

Jeune homme âgé de 25 ans, footballeur professionnel ayant présenté un traumatisme direct du quadriceps, il y a 4 semaines et qui décrit des douleurs sourdes, mais non invalidantes lui permettant la poursuite des entraînements.



Fig. 1

Questions

- 1) Que retrouvez-vous sur l'échographie réalisée en coupe sagittale (fig. 1) ?
- 2) Qu'elle est votre diagnostic ?

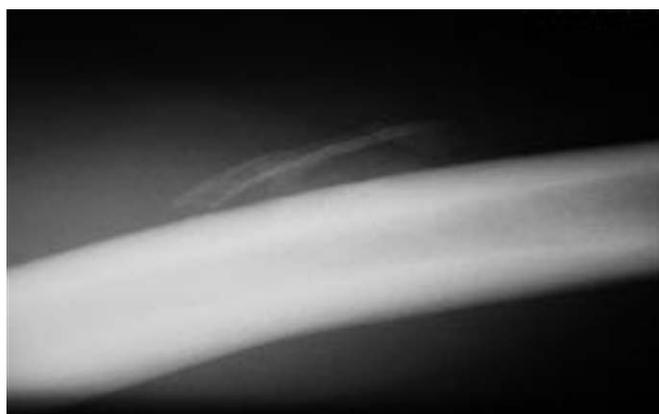


Fig. 2

Réponses

- 1) Formation échogène, linéaire avec cône d'ombre postérieur parallèle à la diaphyse fémorale.
- 2) Il s'agit d'un ostéome post-traumatique, bien visualisé sur le cliché de radiologie (fig. 2) conventionnel dont la caractéristique prin-

cipale est son développement proche de la diaphyse, avec un développement parallèle à la diaphyse. Il survient en cas de traumatisme direct, lorsque la reprise est trop précoce. Son évolution se fait sans traitement vers la régression spontanée dans les douze mois.

Références

- Garret WE, Safran AV et al. Biomechanical comparison of stimulated and non stimulated skeletal muscle pulled to failure. *Am J Sports Med* 1987;15:448-54.
- Hasselmann CT, Best TM, Seaber AV et al. A threshold and continuum of injury during active stretch of rabbit skeletal muscle. *Am J Sports Med* 1995;23:65-73.
- Tidball JG, Salem G, Zernicke R. Site and mechanical conditions for failure of skeletal muscle in experimental strain injuries. *J Appl Physiol* 1993;74:1280-6.
- Peetrons P. Ultrasound of muscles. *Eur Radiol* 2002;12:35-43.
- Dupont P. Réparation et cicatrisation musculaire. *Sport Med* 1997;90:19-21.
- Brasseur JL, Tardieu M, Lazennec JY. L'écho-anatomie des lésions musculaires aiguës et chroniques. *Feuillets de Radiologie* 1999;39:181-91.
- Thelen P. Traumatisme musculaire récent. Apport de l'imagerie. *Sport Med* 1997;90:25-7.
- Cohen M, Sarrat P, Carrasset S, Coste J, Prou E. Les lésions proximales des muscles ischio-jambiers: étude échographique des lésions hautes des ischio-jambiers. Communication JFR 2001.
- Hasselmann C, Best T, Charles Hughes IV, Martinez S, Garrett W. An explanation for various rectus femoris strain injuries using previously undescribed muscle architecture. *Am J Sports Med* 1995;23:493-9.
- Bianchi S, Martinoli C, Abdelwahab F, Derchi L, Damiani S. Sonographic evaluation of tears of the gastrocnemius medial head (Tennis Leg). *J Ultrasound Med* 1998;17:157-62.
- Rodineau J. Évaluation des lésions musculaires récentes et essai de classification. *Sport Med* 1997;90:28-30.
- Peyre M, Besch S. Complication des traumatismes musculaires. Classification des lésions anciennes, évaluation clinique et paraclinique: indication thérapeutique. *Sport Med* 1997;90:65-8.
- Peetrons P. Les muscles: in atlas échographique du système locomoteur tome 1: le membre supérieur. Sauramps ed 2000 : 199-200.
- Zabel JP, Peutot A, Chapuis D, Batch T, Lecocq J et Blum A. Hypertrophie musculaire neurogène: à propos de trois cas, imagerie et revue de la littérature. *J Radiol* 2005;86:133-41.

cas clinique

Histoire de la maladie

Jeune homme âgé de 25 ans, footballeur professionnel ayant présenté un traumatisme direct du quadriceps, il y a 4 semaines et qui décrit des douleurs sourdes, mais non invalidantes lui permettant la poursuite des entraînements.



Fig. 1

Questions

- 1) Que retrouvez-vous sur l'échographie réalisée en coupe sagittale (fig. 1) ?
- 2) Qu'elle est votre diagnostic ?

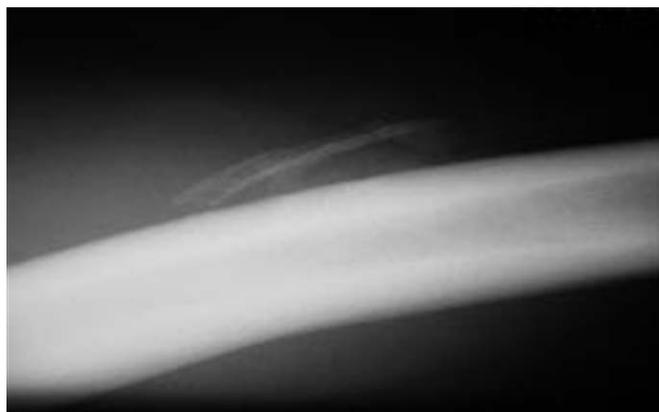


Fig. 2

Réponses

- 1) Formation échogène, linéaire avec cône d'ombre postérieur parallèle à la diaphyse fémorale.
- 2) Il s'agit d'un ostéome post-traumatique, bien visualisé sur le cliché de radiologie (fig. 2) conventionnel dont la caractéristique prin-

cipale est son développement proche de la diaphyse, avec un développement parallèle à la diaphyse. Il survient en cas de traumatisme direct, lorsque la reprise est trop précoce. Son évolution se fait sans traitement vers la régression spontanée dans les douze mois.

Échographie des nerfs périphériques

C Martinoli (1), S Bianchi (2), M Cohen (3) et M Graif (4)

Abstract

Ultrasound of peripheral nerves.

J Radiol 2004;86:1869-78

With the recent advances in broadband transducer technology and refinements in scanning technique, an increasing number of nerves and related pathologic conditions can be identified by sonography. High-resolution sonography can support clinical and electrophysiologic testing for detection of a variety of nerve abnormalities, including entrapment neuropathies, trauma, infectious disorders and tumours. In addition, different procedures such as regional anaesthesia and percutaneous treatment of painful neuromas can be effectively guided by real time sonography. This article addresses the normal US appearance of peripheral nerves and discusses the potential role of this technique to image nerve disorders in specific clinical settings.

Key words: Peripheral nerves. Ultrasound. Tumour. Carpal tunnel syndrome.

Résumé

Grâce aux progrès technologiques récents et à l'amélioration de la procédure d'examen, l'échographie permet actuellement d'explorer un nombre croissant de nerfs ainsi que certaines de leurs pathologies. L'échographie de haute résolution peut être un complément au diagnostic clinique et électrophysiologique dans différentes atteintes nerveuses périphériques telles que les compressions intra-canalaires, les traumatismes, les infections et les tumeurs. En imagerie interventionnelle, certaines procédures d'anesthésie régionale ainsi que le traitement percutané des névromes peuvent être guidées par échographie en temps réel. Cet article décrit l'aspect échographique normal des nerfs périphériques et discute l'intérêt potentiel de cette méthode dans quelques neuropathies cliniques.

Mots-clés : Nerf périphérique. Échographie.

Grâce à l'amélioration des petites sondes de haute fréquence atteignant 15 MHz et à l'utilisation de procédés de focalisation superficielle performants, l'échographie est une technique qui tend à se développer dans l'évaluation des nerfs périphériques (1-7). La dernière génération de transducteurs permet d'accéder à de subtils détails anatomiques permettant de décrire diverses modifications pathologiques. Hormis l'utilisation d'un matériel adapté, l'échographie des nerfs nécessite une connaissance approfondie de l'anatomie ainsi qu'une corrélation des images avec l'histoire clinique et électrophysiologique du patient. Pratiquée par un opérateur entraîné, elle peut être très contributive tout en restant non invasive et peu onéreuse. L'échographie présente quelques avantages sur l'IRM comme une résolution spatiale supérieure, la possibilité d'explorer de longs segments nerveux en un seul examen et l'étude dynamique des nerfs.

L'objet de cet article est de rappeler l'aspect échographique normal et pathologique des nerfs périphériques dans quelques neuropathies fréquentes.

Les nerfs sont des structures déformables dont la section peut être ronde ou ovale selon la pression exercée par les structures adjacentes. Au niveau des articulations, les nerfs présentent souvent un changement de direction lors de la traversée de tunnels ostéo-fibreux. Dans leur trajet intra-canalair, les nerfs peuvent présenter à l'état normal, un aspect plus homogène et hypoéchogène en raison d'un assemblage serré des fascicules (9).

Certaines variations anatomiques et anomalies congénitales des nerfs peuvent être visualisées en échographie. Parmi celles décrites dans la littérature, on peut citer la division précoce du nerf médian au poignet, l'élargissement fusiforme de la partie distale du nerf médian par du tissu fibro-adipeux (hamartome fibrolipomateux) et l'hypertrophie des nerfs dans le syndrome de Charcot-Marie-Tooth (10, 11).

Écho-anatomie et technique d'examen

L'échographie de haute résolution permet une visualisation directe des nerfs et de leur structure interne composée d'éléments hypoéchogènes axonaux (fascicules) au sein d'un environnement hyperéchogène, l'épinèvre (8). En utilisant des fréquences supérieures à 15 MHz, les aspects échographiques et histologiques

Compressions intra-canalaires

Les nerfs peuvent être lésés par une pression extrinsèque prolongée survenant typiquement lors de la traversée de tunnels ostéo-fibreux ou dans leur cheminement entre des muscles. Différents facteurs semblent jouer un rôle dans la compression nerveuse : facteurs anatomiques, positions vicieuses, mouvements répétitifs et désordres systémiques (polyneuropathies). La pression extrinsèque entraîne une démyélinisation, une dégénérescence axonale, une congestion veineuse intra-neurale et un œdème qui peuvent soit régresser après suppression de la compression, soit évoluer vers une fibrose intra-neurale, responsable d'une diminution permanente de la fonction nerveuse et d'une atrophie des muscles innervés. À un stade de début, l'examen clinique et

(1) Cattedra "R" di Radiologia — DICMI. Università di Genova. Largo Rosanna Benzi 8. I-16132 Genova, Italy. (2) Fondation et Clinique des Grangettes, 7, chemin des Grangettes, 1224 Chêne-Bougeries, Switzerland. (3) Hôpital Saint-Joseph, 26, boulevard de Louvain, 13008 Marseille. (4) Department of Radiology, The Tel Aviv "Sourasky" Medical Center, The Sackler faculty of Medicine, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel.
Correspondance : C Martinoli
E-mail : martinoli@zeus.newnetworks.it

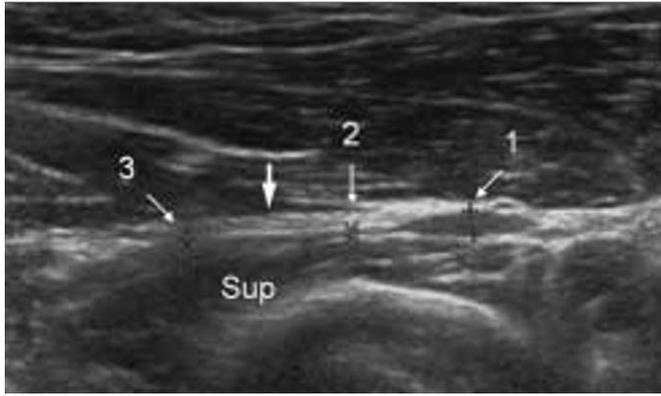


Fig. 1 : Coupe sagittale obtenue sur le versant antéro-latéral du coude chez un homme de 48 ans présentant une douleur sous l'épicondyle latéral et une diminution de force dans l'extension des doigts. Noter le nerf interosseux postérieur (calipers) cheminant sous l'arcade de Frohse (flèche large) pour entrer dans le muscle supinateur (Sup). L'échographie montre la compression du nerf par l'arcade et les modifications secondaires de taille du nerf. Sous l'arcade, au niveau de la compression, le nerf est aminci (2). En proximal (1) et distal (3), le nerf est épaissi.

Fig. 1: *Sagittal sonogram obtained over the antero-lateral aspect of the elbow in a 48-year-old man with a history of tenderness distal to the lateral epicondyle and weakness of extension of the fingers. Note the posterior interosseous nerve (callipers) running below the Frohse arcade (large arrow) to enter the supinator muscle (Sup). Ultrasound shows compression on the nerve by the arcade and the secondary changes in nerve size. Under the arcade, at the site of compression, the nerve appears thinned (2). Note also proximal (1) and distal (3) swelling.*

l'électromyogramme sont souvent les seuls éléments positifs. Quand l'atteinte progresse, l'échographie peut objectiver des modifications de forme et d'échostructure du nerf.

L'aspect le plus caractéristique est un amincissement brutal avec diminution focale de l'épaisseur du nerf au point de compression et l'élargissement fusiforme sur 2 à 4 cm de longueur, en amont du point de compression. Par la mise en évidence de ces modifications, l'échographie est une méthode précise pour identifier le niveau de compression. Bien que l'amincissement du nerf soit logiquement le principal signe de compression, l'analyse quantitative de l'épaisseur du nerf en amont de la compression par la formule de l'ellipse (diamètre antéro-postérieur maximal \times diamètre transverse maximal $\times \pi/4$) est considérée comme le meilleur critère pour établir le diagnostic de la majorité des syndromes canaux.

Le nerf comprimé peut devenir uniformément hypoéchogène avec perte de l'aspect fasciculaire au niveau et en amont de la compression. Un hypersignal intra-neural en mode Doppler couleur ou puissance peut également être observé, témoignant de perturbations locales de la micro-vascularisation.

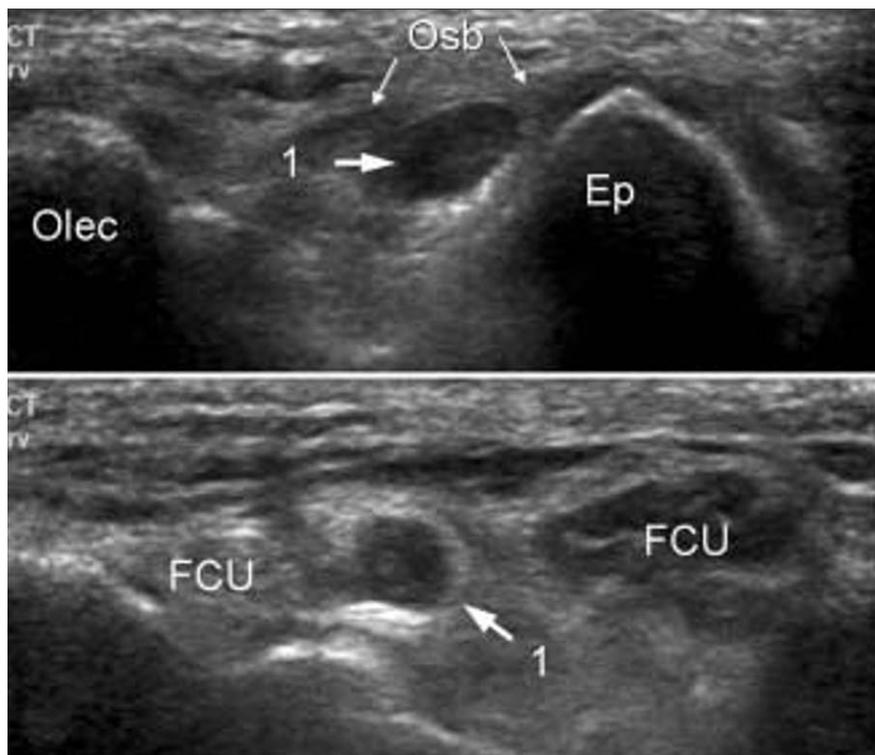
Les principaux sites de compression nerveuse affectant le membre supérieur et le membre inférieur accessibles à l'échographie sont : l'incisure coracoïde et l'échancrure spino-glénoïdienne pour le nerf supra-scapulaire, l'espace quadrilatère pour le nerf axillaire, la gouttière radiale de l'humérus pour le nerf radial, la traversée du supinateur au coude pour le nerf interosseux postérieur, le versant radial du poignet pour la branche superficielle du nerf radial, le tunnel cubital et la loge de Guyon pour le nerf ulnaire, le tiers moyen de l'avant-bras pour le nerf interosseux antérieur, le canal carpien pour le nerf médian, la région postérieure de la hanche et de la cuisse pour le nerf sciatique, le tunnel fibulaire pour le nerf fibulaire commun et le tunnel tarsien pour le nerf tibial. Nous présentons dans cet article une description synthétique de ces syndromes.

Au niveau de l'épaule, le nerf supra-scapulaire peut être comprimé contre la paroi de l'incisure coracoïde ou de l'échancrure spino-glénoïdienne par un kyste communiquant avec l'articulation gléno-humérale par une déchirure du bourrelet glénoïdien. Le nerf supra-scapulaire peut être visualisé en échographie, adjacent à l'artère supra-scapulaire (12). Une ponction du kyste peut être réalisée sous guidage échographique (13).

L'espace quadrilatère est situé dans la région postéro-inférieure de l'épaule. Il est limité par des muscles extrinsèques et contient le nerf axillaire. Un étirement du membre supérieur ou la présence de bandes fibreuses dans l'espace quadrilatère peuvent entraîner une compression. Le nerf axillaire est très petit pour être visualisé en échographie, mais l'existence d'une atrophie sélective des muscles qu'il innerve, en l'absence de rupture tendineuse, est un argument fort pour une lésion nerveuse (12).

Au niveau du tiers moyen du bras, le nerf radial chemine au contact de la diaphyse humérale dans la gouttière radiale. À ce niveau, le nerf peut être comprimé par une fracture humérale déplacée, un cal hypertrophique ou du matériel d'ostéosynthèse (14, 15). L'échographie est en mesure de montrer le nerf étiré et déplacé, hypoéchogène et épaissi. Sur le versant latéral du coude, le nerf radial se divise en une branche superficielle sensitive et une branche profonde motrice appelée nerf interosseux postérieur. L'échographie peut suivre la naissance des deux branches terminales du nerf radial et visualiser le nerf interosseux postérieur lors de sa traversée du muscle supinateur entre le chef superficiel et le chef profond sous l'arcade de Frohse. À ce niveau, le nerf interosseux postérieur peut être comprimé par un syndrome de masse, la présence de bandes fibreuses ou l'arcade elle-même (fig. 1). Les lésions de la branche superficielle du nerf radial au niveau du tiers distal de l'avant-bras (syndrome de Wartenberg) peuvent être décelées en échographie et contribuer au diagnostic différentiel avec une ténosynovite de De Quervain.

À la hauteur du coude, le nerf ulnaire traverse le tunnel cubital formé par l'olécrane, l'épicondyle médial et recouvert par le fascia d'Osborne. À la partie distale du tunnel cubital, le nerf est en rapport avec une arcade aponévrotique reliant le chef huméral et le chef ulnaire du muscle fléchisseur ulnaire du carpe. La définition anatomique du tunnel cubital peut être étendue en proximité jusqu'à l'arcade de Struther située dans le tiers inférieur du muscle triceps brachial. Le nerf ulnaire peut donc être comprimé en différents points de son trajet intra-canalair par augmentation de la pression dans le tunnel cubital (fig. 2), des ostéophytes, un épaississement du ligament collatéral médial, des variations anatomiques musculaires, une formation kystique, une déformation post-fracturaire du coude (16, 17). Une surface du nerf en coupe axiale supérieure à 7,5 mm² à la hauteur de l'épicondyle médial est considérée comme un signe en faveur d'un syndrome

a
b**Fig. 2 :**
a-b

Coupe transverse de la région postéro-médiale du coude chez une femme de 46 ans se plaignant de paresthésies du 4^e et du 5^e doigt de la main gauche. Les images montrent un aspect caractéristique de compression du nerf ulnaire au niveau du tunnel cubital. Le nerf ulnaire (1) apparaît épaissi dans le tunnel cubital à la suite de micro-traumatismes. Les fascicules ne sont plus visibles en raison de l'hypoéchogénéicité du tissu conjonctif intra-neural. Sur la coupe a, le nerf est situé dans la gouttière osseuse formée par l'olécrane (Olec) et l'épicondyle médial (Ep), fermée par le fascia d'Osborne (Osb). Sur la coupe b, le nerf chemine dans le tunnel cubital entre les deux chefs du fléchisseur ulnaire du carpe (FCU).

Fig. 2:
a-b

Transverse sonogram obtained over the postero-medial aspect of the elbow in a 46-year-old woman with a history of numbness and tingling in the fourth and fifth fingers of the left hand. Images show the typical appearance of the ulnar nerve following local entrapment. The ulnar nerve (1) appears swollen due to chronic microtrauma inside the cubital tunnel. Note that the nervous fascicles are no longer visible due to the hypoechoic appearance of the internal connective tissue. In a) the nerve lies inside the cubital groove made by the olecranon (Olec), medial epicondyle (Ep) and the Osborne retinaculum (Osb). In b) it runs inside the cubital tunnel between the two heads of the flexor carpi ulnaris (FCU).

canalaire (5, 18). Au poignet, le nerf ulnaire chemine entre le pisiforme et l'hamulus de l'hamatum dans la loge de Guyon. Les kystes (fig. 3), les muscles accessoires et les anévrismes (fig. 4) de l'artère ulnaire sont les causes les plus fréquentes de syndrome canalaire à ce niveau (5).

Au niveau du bras, le nerf médian chemine au contact de l'artère brachiale. Cette proximité est susceptible d'entraîner une compression par un hématome ou un faux anévrisme (cathétérisation percutanée de l'artère brachiale dans le cadre d'une angiographie). L'échographie peut dans ce cas montrer la cause de la compression et guider la ponction évacuatrice de l'hématome (19). Plus en distalité dans l'avant-bras, le nerf interosseux antérieur peut être comprimé par des bandes fibreuses ou une hypertrophie musculaire intéressant le muscle rond pronateur. Ce syndrome canalaire décrit sous le nom de syndrome de Kiloh-Nevis est rare. Il est évoqué en échographie sur l'existence d'une atrophie des muscles innervés par le nerf interosseux antérieur (20). La compression du nerf médian au niveau du canal carpien est le plus fréquent des syndromes canaux. On lui décrit des causes anatomiques (étroitesse canalaire, présence d'une artère médiane persistante (fig. 5), variation anatomique musculaire ou tendineuse). Il a également été évoqué une susceptibilité du nerf à la pression (diabète, neuropathies) ainsi que des causes systémiques et endocriniennes (grossesse, hypothyroïdie, amylose). Une surface du nerf médian supérieure à 9 ou 10 mm² mesurée au niveau du canal carpien proximal (sur la ligne scaphoïde/pisiforme) est considérée comme le meilleur critère de diagnostic pour le syn-

drome du canal carpien (9, 21, 22). D'autres auteurs ont proposé la valeur limite de 15 mm² (23). L'étude dynamique peut également montrer une diminution de mobilité du nerf, comprimé en arrière du retinaculum des fléchisseurs lors de la flexion et de l'extension des doigts (11, 18). Mais ce signe est difficilement quantifiable. Différentes pathologies entraînant un effet de masse intra-canalaires peuvent être identifiées en échographie telles que la ténosynovite des fléchisseurs (fig. 6), les kystes mucoïdes, l'amylose, les variations musculaires et les modifications des rapports articulaires du poignet (5, 24, 25). Il existe un intérêt croissant pour l'évaluation échographique des échecs de la chirurgie du syndrome du canal carpien. L'interprétation de ce type d'examen peut être difficile car il n'existe pas à notre connaissance d'étude publiée décrivant l'aspect post-opératoire normal du nerf médian. Toutefois, une position plus palmaire du nerf (par rapport aux repères osseux) peut être interprétée comme un signe indirect de section réussie du ligament annulaire. L'existence d'une fibrose péri-neurale peut être évoquée sur une relative fixité du nerf lors d'un examen dynamique avec flexion et extension des doigts.

Le nerf sciatique est le plus souvent comprimé sur le versant postérieur de la hanche et de la cuisse par un syndrome de masse tel qu'un hématome ou un lipome (26). Dans le creux poplité, le nerf sciatique se divise en nerf tibial et nerf fibulaire commun. La compression du nerf fibulaire commun survient généralement avant sa division, au niveau du tunnel fibulaire lorsque le nerf s'enroule autour du col de la fibula. La compression du

nerf fibulaire peut résulter d'un syndrome de masse (ex : kyste arthro-synovial provenant de l'articulation tibio-fibulaire proximale) ou être secondaire à une fracture de la fibula, une luxation, une contention de la jambe (plâtre ou résine).

La compression du nerf tibial dans sa partie proximale est rare. Sur le versant médial de la cheville, le nerf traverse le tunnel

tarsien constitué par la malléole médiale, le calcaneum et le retinaculum des fléchisseurs. Au dessous de la malléole, le nerf se divise en deux branches plantaires latérale et médiale ainsi qu'un petit nerf calcanéen. Le tronc du nerf tibial est habituellement comprimé dans la région rétro-malléolaire alors que ses branches de division le sont dans la partie distale du tunnel

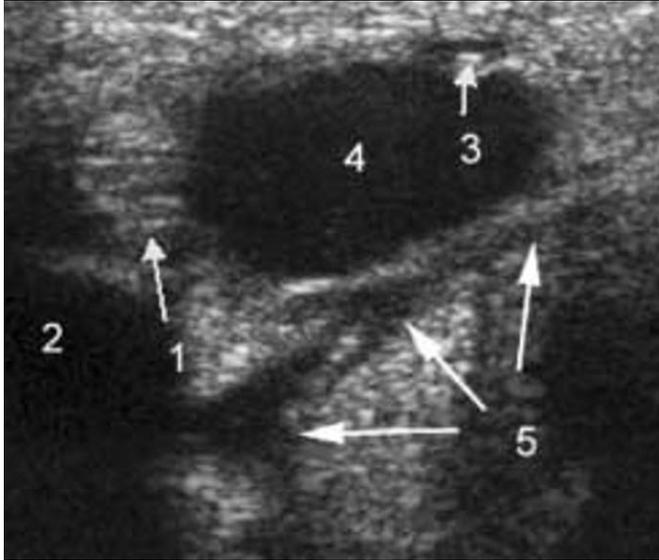
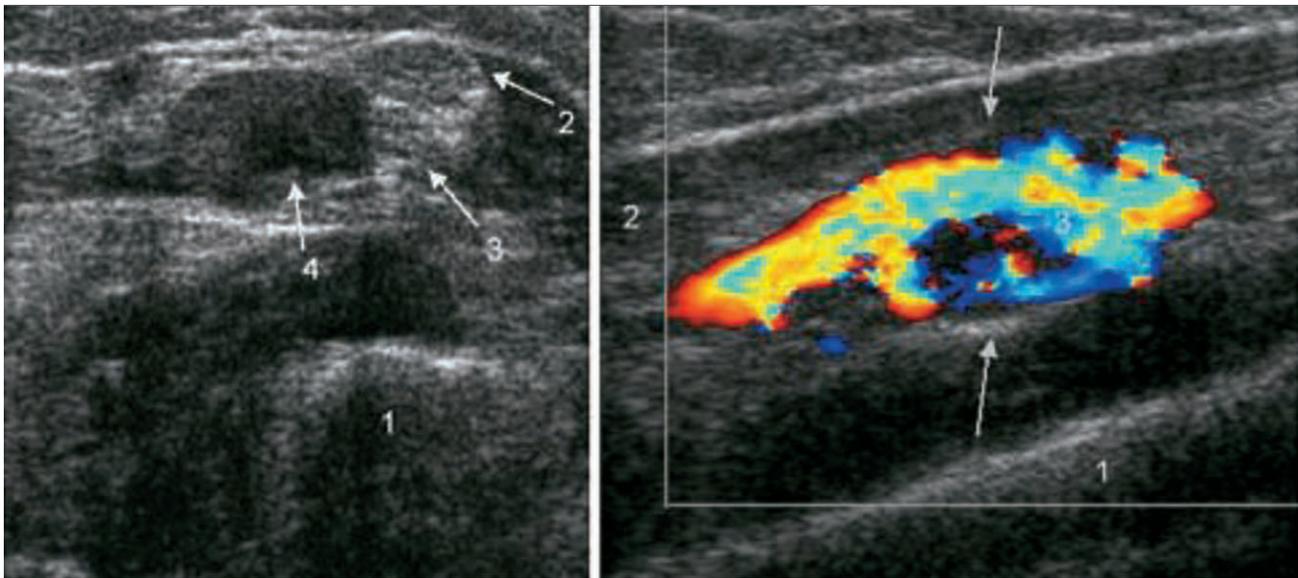


Fig. 3 : Syndrome clinique et électromyographique de compression du nerf ulnaire gauche au niveau de la loge de Guyon. Coupe échographique axiale de la loge de Guyon gauche. Le nerf ulnaire (1) est difficile à localiser en raison d'un syndrome de masse (4) occupant la quasi-totalité de la loge de Guyon dont on voit la limite postérieure : ligament annulaire du carpe (5). Le nerf est refoulé vers le pisiforme (2) et l'artère ulnaire (3) est refoulée et comprimée vers l'avant et le versant radial du poignet. Le contenu totalement transsonore de la masse (4), le renforcement postérieur ainsi que la paroi fine et bien limitée permettent d'affirmer la nature kystique de la masse.

Fig. 3: *Guyon tunnel syndrome of the left wrist proved by EMG. Transverse sonogram obtained over the left Guyon tunnel. The tunnel contains a hypoechoic mass lesion (4) with posterior enhancement, thin wall and well defined borders corresponding to a ganglion. The ulnar nerve (1) is displaced toward the pisiform (2). The ulnar artery (3) is displaced and compressed anteriorly. 5 = transverse carpal ligament.*



a|b

Fig. 4 : Syndrome clinique et électromyographique de compression du nerf ulnaire droit.

a Coupe échographique axiale palmaire du tiers distal de l'avant-bras droit. En avant de l'ulna (1), le nerf ulnaire droit (3) est visible entre le tendon fléchisseur ulnaire du carpe (2) et une formation hypoéchogène à centre anéchogène (4).

b Coupe échographique sagittale palmaire du tiers distal de l'avant-bras droit. En avant de l'ulna (1) et en arrière du fléchisseur ulnaire du carpe (2), la masse apparaît en continuité avec l'artère ulnaire. Le mode doppler couleur montre qu'il s'agit d'un anévrysme de l'artère ulnaire partiellement thrombosé.

Fig. 4: *Clinical and EMG findings of right ulnar nerve compression.*

a *Transverse anterior sonogram obtained over the distal third of the right forearm. The ulnar nerve (3) is seen running anteriorly to the ulna (1) located between the flexor carpi ulnaris tendon (2) and a hypoechoic mass with anechoic centre (4).*

b *Sagittal anterior sonogram obtained over the distal third of the right forearm. The mass is located anteriorly to the ulna (1) and posteriorly to the flexor carpi ulnaris tendon (2). The relations with the ulnar artery and colour Doppler allow the diagnosis of partially thrombosed ulnar artery aneurysm.*

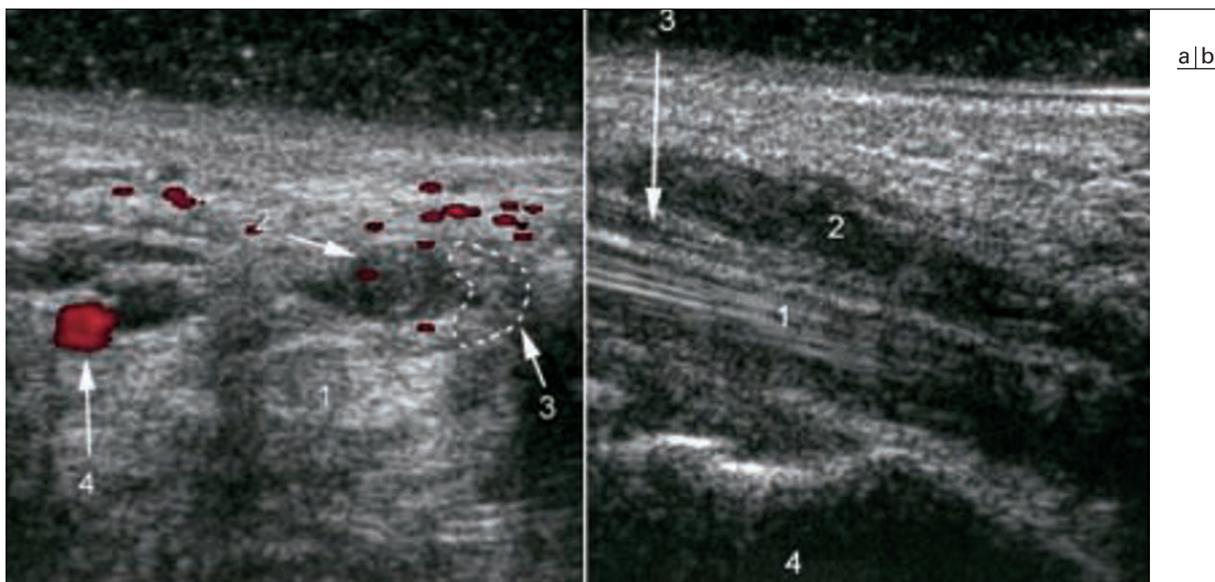


Fig. 5 : Syndrome clinique et électromyographique du canal carpien gauche.

- a** Coupe échographique axiale palmaire du canal carpien gauche montrant en avant des tendons fléchisseurs (1), le nerf médian (3) refoulé et déformé (pointillés) par une formation hypoéchogène arrondie (2) dont la nature est difficile à affirmer. Toutefois, la localisation et d'autre part l'existence d'une paroi échogène et d'une lumière contenant un matériel échogène évoquent une formation vasculaire thrombosée. L'artère ulnaire (4) est perméable.
- b** Coupe échographique sagittale palmaire du canal carpien gauche. Elle confirme l'existence d'une thrombose d'une artère médiane persistante de gros calibre. Le bord latéral du nerf médian (3) est vu partiellement entre l'artère thrombosée (2) et les tendons fléchisseurs (1) avant du capitatum (4).

Fig. 5: *Clinical and EMG findings of left carpal tunnel syndrome.*

- a** *A transverse anterior sonogram obtained over the carpal tunnel shows the flexor tendons (1) and the median nerve (3) displaced by a nonspecific rounded hypoechoic mass. The location and overall appearance are compatible with a thrombosed vascular lesion. The ulnar artery (4) is normal.*
- b** *Sagittal anterior sonogram obtained over the carpal tunnel shows distal persistent median artery with internal thrombus. The lateral aspect of the median nerve (3) is partially evident located between the thrombosed artery (2) and the flexor tendons anteriorly to the capitate (4).*

tarsien. Différents facteurs accessibles à l'échographie peuvent entraîner une compression, parmi lesquels on peut citer la ténosynovite des tendons médiaux de la cheville, le kyste de l'articulation talo-calcaneenne, la présence de cloisons aponévrotiques, des variations musculaires ou tendineuses et des fragments fracturaires (5). La compression se traduit par un aspect épaissi et hypoéchogène du nerf.

Traumatismes des nerfs

Les traumatismes des nerfs sont secondaires à un mécanisme de traction, de contusion ou de pénétration. Ces différents types de lésions peuvent être isolés ou associés.

Les traumatismes par traction ou étirement sont généralement secondaires à des entorses ou des déchirures de structures de l'appareil locomoteur. Ils peuvent également être occasionnés par une hyper-sollicitation. L'exemple type est celui de l'étirement du plexus brachial lors de traumatismes éloignant la tête de l'épaule. Dans les lacérations nerveuses complètes, l'échographie montre une interruption des racines avec rétraction distale (27, 28). Une collection anéchogène extradurale de liquide cérébrospinal, le pseudo-méningocèle, peut se développer en dehors du foramen. Lorsqu'un étirement entraîne une rupture partielle d'un nerf, un névrome post-traumatique peut se développer et

apparaître sous la forme d'un épaississement irrégulier et hypoéchogène sur le trajet du nerf concerné (28).

Les traumatismes par compression surviennent plus volontiers dans des territoires où le nerf chemine au contact de surfaces osseuses exposées aux traumatismes externes. Ces lésions sont souvent spontanément résolutive et sans traduction échographique. Des traumatismes mineurs mais répétés modifient la structure interne du nerf et son aspect échographique. L'instabilité du nerf ulnaire dans le tunnel cubital en est un exemple caractéristique. La friction répétée du nerf contre la crête de l'épicondyle médial durant la flexion du coude peut entraîner des lésions chroniques et un déficit fonctionnel (29). L'échographie montre un nerf épaissi et hypoéchogène (29). L'examen dynamique en flexion/extension du coude (*fig. 7*) met en évidence la luxation lors de la flexion et sa réduction lors de l'extension (30). Un autre exemple de contusion nerveuse répétée est celui des nerfs interdigitaux à la hauteur des têtes métatarsiennes. Ces lésions surviennent plus fréquemment au niveau du 2^e et du 3^e espace interosseux et conduisent à la constitution d'une masse fusiforme hypoéchogène, allongée selon le grand axe des métatarsiens, connue sous le nom de névrome de Morton (31-33). L'échographie possède une sensibilité de 95 à 100 % et une spécificité de 83 % dans le diagnostic de névrome de Morton (34). Les coupes longitudinales montrent la continuité de cette formation hypoéchogène avec le nerf interdigital. La coexistence d'une bursite inter-métatarsienne avec un névrome peut expliquer son échostructure parfois mixte hypo et anéchogène (35).

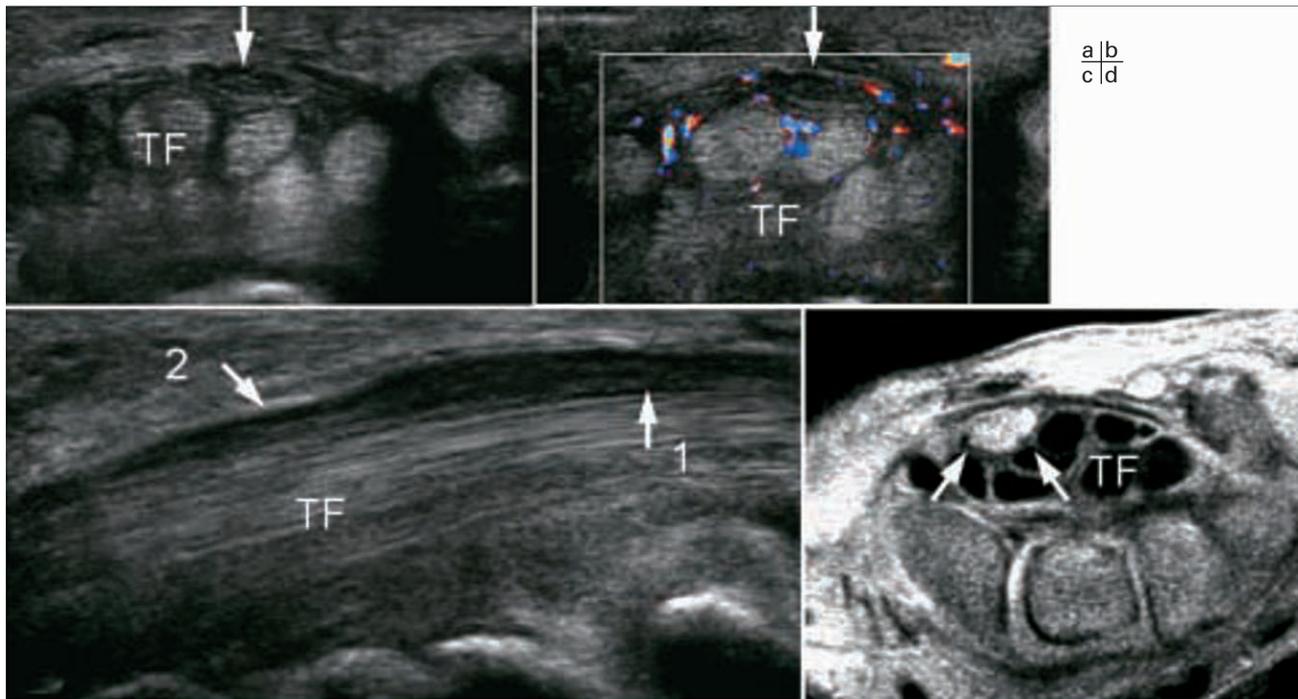
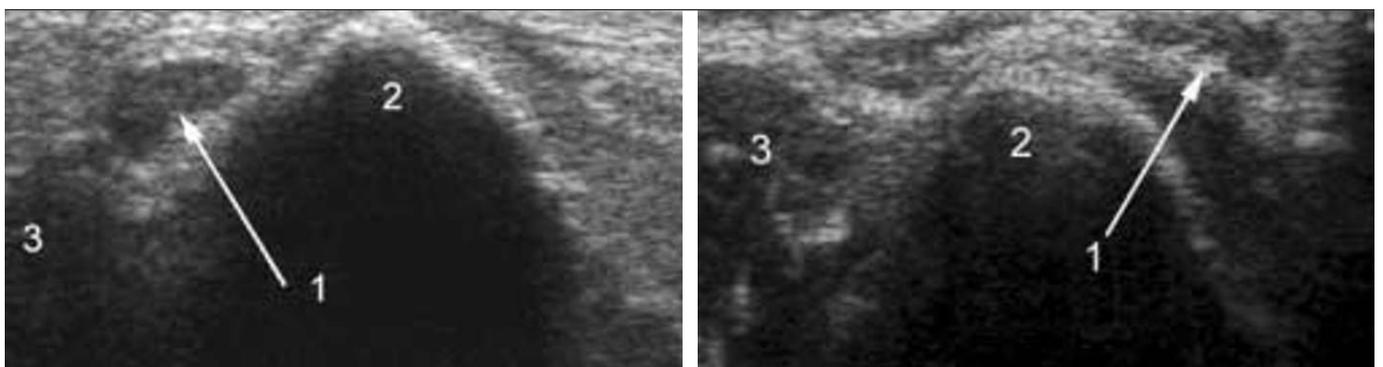


Fig. 6 : Coupe transverse sans et avec doppler couleur du versant palmaire du poignet chez une femme de 57 ans se plaignant de paresthésies des trois premiers doigts.

- a-b Les coupes montrent les tendons fléchisseurs (TF) traversant le canal carpien. La présence d'une couronne hypoéchogène péri-tendineuse témoigne d'une ténosynovite (a). En mode doppler couleur (b), on observe de multiples hypersignaux dus à une hyperhémie de la synoviale. Sur les deux images, le nerf médian est superficiel par rapport aux tendons (flèches).
- c Coupe sagittale du canal carpien passant par le nerf médian montrant l'épaississement proximal du nerf (1) et son amincissement en arrière du retinaculum des fléchisseurs (2).
- d Chez le même patient, coupe IRM T1 gado SatFat montrant le rehaussement du nerf médian en avant des tendons fléchisseurs dans la concavité du retinaculum.

Fig. 6: *Transverse and transverse colour-Doppler sonograms obtained over the palmar aspect of the wrist in a 57-year-old woman with a history of numbness and tingling in the first three fingers.*

- a-b Images show the flexor tendons (TF) running inside the carpal tunnel. In a) tenosynovitis of the flexor tendon sheath appears as a hypoechoic area located among tendons (a). In figure b) Colour Doppler shows multiple flow signals consistent with hyperaemia of the synovium. In both images note the superficial median nerve (arrows).
- c Sagittal sonogram obtained at the level of the carpal tunnel over the median nerve depicts proximal swelling of the nerve (1) and thinning under the transverse carpal ligament (2).
- d In the same patient T1-weighted fat sat transverse post-gadolinium MR image shows contrast enhancement of the median nerve running between the TF and the concave transverse carpal ligament.



a|b

Fig. 7 : Patient examiné pour épicondylalgies médiales du coude droit, sans antécédent traumatique. Existence d'un ressaut douloureux en flexion du coude avec douleurs de type électrique irradiant dans le 4^e et le 5^e doigt.

- a Coupe échographique axiale du tunnel cubital droit à la hauteur de la gouttière épitrochléo-olécraniennne réalisée coude en extension. Le nerf ulnaire (1) est normalement positionné dans la gouttière, en arrière de l'épicondyle médial (2) et en dedans du triceps brachial (3).
- b Coupe échographique axiale réalisée au même niveau, coude en flexion. Le nerf ulnaire (1) est luxé en avant de l'épicondyle médial (2). Triceps brachial (3).

Fig. 7: *A patient evaluated because of non-traumatic pain at the medial aspect of the right elbow. Physical examination shows local snapping associated with tingling of the fourth and fifth fingers. Clinical and EMG findings of left carpal tunnel syndrome.*

- a A transverse sonogram obtained over the right cubital tunnel with the elbow extended. The ulnar nerve (1) lies inside the tunnel, posterior to the medial epicondyle (2) and lateral to the triceps tendon (3).
- b A corresponding transverse sonogram obtained with the elbow flexed. The ulnar nerve (1) is dislocated anteriorly to the medial epicondyle (2). Triceps tendon (3).

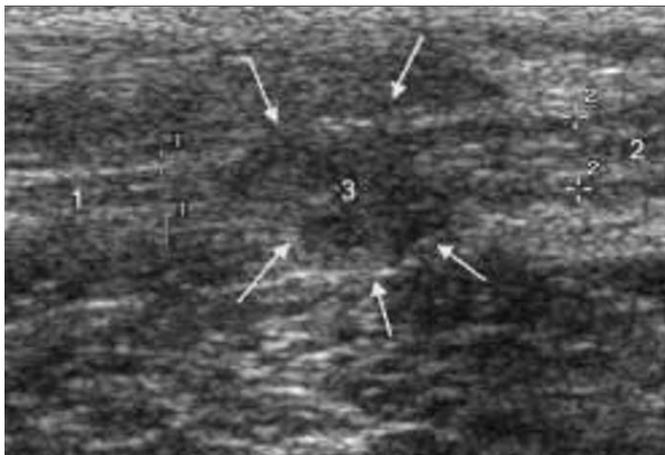


Fig. 8 : Examen réalisé chez un patient présentant des signes cliniques et électromyographiques de souffrance du nerf médian 18 mois après suture d'une plaie du nerf médian droit. Coupe échographique sagittale du tiers inférieur de l'avant-bras droit. Entre le segment proximal du nerf médian (1) et son segment distal (2), il existe une formation hypoéchogène de contour polylobé, de bords nets et d'échostructure homogène (3). Cet aspect est en faveur d'un névrome post-opératoire au niveau de la suture. La présence d'éléments rectilignes anéchogènes centraux peut être interprété comme des fascicules en continuité entre les deux segments.

Fig. 8: A US examination performed in a patient with clinical and EMG findings of median nerve lesion. The patient reported previous surgical repair (18 months) of a tear of the right median nerve. Sagittal sonogram obtained over the distal third of the right forearm. US shows a hypoechoic mass with polylobulated and well-defined margins presenting as a homogeneous structure (3). The mass is connected at its cranial and distal pole with the median nerve (1, 2). The overall appearance is compatible with a neuroma at the site of the surgical suture. Please note some anechoic internal bands corresponding to nerves fascicles connecting the two ends of the nerve.

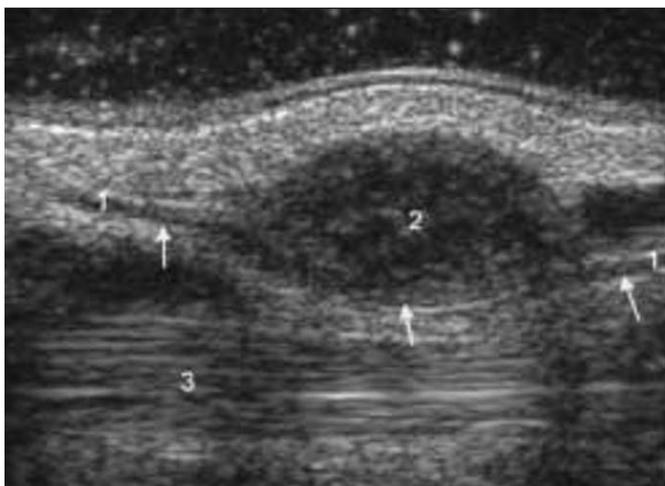


Fig. 9 : Tuméfaction douloureuse du tiers distal de l'avant-bras. Coupe échographique sagittale réalisée sur le bord radial. Présence d'une masse (2) ovalaire, de contours bien limités, d'échostructure mixte à prédominance hypoéchogène. L'étude minutieuse de son pôle proximal et distal montre que la masse est raccordée à une structure fasciculée correspondant à la branche sensitive du nerf radial. Le nerf est refoulé par la formation (flèches). Le diagnostic de tumeur neurogène est hautement probable. Le caractère excentré de la lésion est plutôt en faveur d'un schwannome.

Fig. 9: A US examination performed in a patient with a painful mass of the forearm. Sagittal sonogram obtained over the radial border shows a well delimited oval mass (2) with mixed echostructure. Accurate evaluation of the proximal and distal pole shows its connection with sensory branches of the radial nerve. The nerve is displaced by the mass (arrows) that corresponds very probably to a nerve tumour. The eccentric position relative to the nerve suggests a Schwannoma.

Les traumatismes pénétrants peuvent entraîner une section partielle ou complète du nerf. À la suite de la plaie nerveuse débute une régénérescence des cellules de Schwann et des axones qui tend à restaurer la continuité du nerf. Une masse hypoéchogène dans la zone lésionnelle traduit l'existence d'un processus de cicatrisation désorganisée appelé de névrome post-traumatique. Dans les sections complètes, le névrome terminal apparaît sous la forme d'une petite masse hypoéchogène en continuité avec les deux extrémités du nerf atteint (25, 36). Un névrome peut également se développer sur la suture d'un nerf réparé chirurgicalement (fig. 8). Habituellement, le diamètre transverse du névrome est supérieur à celui du nerf. Ses contours sont bien limités, sauf en cas d'adhérence à un tissu cicatriciel périphérique entraînant une irrégularité et un aspect imprécis de ses bords. Dans le cadre d'un bilan préopératoire, l'échographie peut être informative sur le siège exact des extrémités du nerf sectionné. L'aspect échographique des lésions iatrogènes des nerfs périphériques a été décrite pour le nerf radial, le nerf fémoral et le nerf sciatique (26, 27, 35, 37).

Pathologie infectieuse

Les nerfs périphériques peuvent être atteints par la mycobactérie de la lèpre. Dans la maladie de Hansen, des épisodes de névrite aiguë peuvent conduire à la production de cellules inflammatoires et d'un granulome épithéloïde pouvant entraîner des altérations nerveuses définitives. Le segment de nerf affecté est alors épaissi et douloureux (38). Les sites où les nerfs sont augmentés de volume lors de la lèpre sont similaires à ceux des compressions canalaire avec une préférence pour le nerf ulnaire au niveau du tunnel cubital et pour le nerf fibulaire commun au niveau du col de la fibula. Habituellement l'augmentation de volume du nerf est présente sur un segment plus long que dans les compressions canalaire (6).

Tumeurs neurogènes

On distingue deux formes bénignes, le schwannome (ou neurinome) et le neurofibrome, que l'on oppose à la tumeur maligne

des gaines des nerfs périphériques. Le diagnostic échographique d'une tumeur neurogène est basé sur la présence d'une masse solide hypoéchogène en continuité avec le nerf (39-41). La visualisation du raccordement de la tumeur avec le nerf demande un examen méticuleux dans la mesure où le nerf peut être déformé et étiré par la masse. L'aspect échographique est très similaire quel que soit le type histologique. En règle générale, le schwannome se présente comme une masse ronde, d'échostructure plus ou moins homogène (fig. 9), excentrée par rapport au nerf (42). Le plus souvent il existe un hypersignal doppler intra-lésionnel (43). Inversement, le neurofibrome est intimement intriqué dans la structure du nerf ce qui lui donne un aspect fusiforme. Il prend parfois un aspect en cocarde sur des coupes transverses avec un centre discrètement hyperéchogène. Il ne présente généralement pas d'hypersignal en mode doppler (44). Chez les patients porteurs d'une neurofibromatose de type I, les neurofibromes peuvent siéger dans le plan cellulaire sous-cutané bien que de nombreux neurofibromes soient localisés plus profondément. Dans la neurofibromatose plexiforme, un chapelet de neurofibromes sur un segment de nerf est perceptible à la palpation et détectable en échographie (41). Occasionnellement, certaines tumeurs extrinsèques comme les hémangiomes et les lymphomes peuvent disséquer les fascicules et s'étendre dans le tissu neural. Il s'agit de lésions rares qui ne doivent pas être confondues avec les schwannomes et les neurofibromes qui sont plus fréquentes. Très comparable aux tumeurs neurogènes, le kyste intra-neural est une lésion fusiforme située dans le tissu conjonctif entre l'épinièvre et les fascicules. Il présente un contenu mixoïde et une paroi fibreuse (45). Le kyste intra-neural siège typiquement dans les troncs nerveux du genou, particulièrement au niveau du nerf fibulaire commun. Le kyste peut être ou non en continuité avec l'articulation tibio-fibulaire proximale. Son échostructure est généralement hypoéchogène, parfois cloisonnée. Ses contours et sa taille peuvent se modifier avec le temps.

Procédures interventionnelles écho-guidées

Récemment, l'échographie a démontré son intérêt comme moyen de guidage des anesthésies régionales des membres. Dans cette application, l'intérêt est de vérifier la progression de l'aiguille en temps réel et d'éviter une injection intra-neurale. Différentes techniques ont été décrites pour réaliser sous contrôle échographique un bloc du plexus brachial, du plexus lombaire, du nerf crural, du nerf inguinal ou pudendal (46-48). Dans le traitement des névromes douloureux (névrome de Morton, névrome d'amputation), l'infiltration écho-guidée de stéroïdes, de phénol ou d'alcool, semble selon la littérature, donner de bons résultats avec régression rapide des symptômes (49, 50).

Références

- Fornage BD. Peripheral nerves of the extremities: imaging with US. *Radiology* 1988;167:179-82.
- Keberle M, Jennett M, Kenn W et al. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *Eur Radiol* 2000;10:1043-50.
- Martinoli C, Bianchi S, Derchi LE. Tendon and nerve sonography. *Radiol Clin North Am* 1999;37:691-711.
- Martinoli C, Bianchi S, Derchi LE. Ultrasonography of peripheral nerves. *Seminars US CT MR* 2000;21:205-13.
- Martinoli C, Bianchi S, Gandolfo N et al. US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs. *RadioGraphics* 2000;20:199-217.
- Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M et al. US and MR imaging of peripheral nerves in leprosy. *Skeletal Radiol* 2000;29:142-50.
- Thain LMF, Downey DB. Sonography of peripheral nerves: technique, anatomy, and pathology. *Ultrasound Quarterly* 2002;18:225-45.
- Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE et al. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. *Radiology* 1995;197:291-6.
- Chen P, Maklad N, Redwine M et al. Dynamic high-resolution sonography of the carpal tunnel. *AJR* 1997;168:533-7.
- Chen P, Massengill A, Maklad N et al. Nerve territory-oriented macrodactyly: unusual cause of carpal tunnel syndrome. *J Ultrasound Med* 1996;15:661-4.
- Martinoli C, Schenone A, Bianchi S et al. Sonography of median nerve in Charcot-Marie-Tooth disease. *AJR* 2002;178:1553-6.
- Martinoli C, Bianchi S, Prato N et al. US of the shoulder: non-rotator cuff disorders. *RadioGraphics* 2003;23:381-401.
- Chiou HJ, Chou YH, Wu JJ et al. Alternative and effective treatment of shoulder ganglion cyst: ultrasonographically guided aspiration. *J Ultrasound Med* 1999;18:531-5.
- Bodner G, Buchberger W, Schocke M et al. Radial nerve palsy associated with humeral shaft fracture: evaluation with US: initial experience. *Radiology* 2001;219:811-6.
- Bodner G, Huber B, Schwabegger A et al. Sonographic detection of radial nerve entrapment within a humerus fracture. *J Ultrasound Med* 1999;20:131-6.
- Nakamichi K, Tachibana S. Restricted motion of the median nerve in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg* 1995;20:460-4.
- Puig S, Turkof E, Sedivy R et al. Sonographic diagnosis of recurrent ulnar nerve compression by ganglion cysts. *J Ultrasound Med* 1999;18:433-6.
- Chiou HJ, Chou YH, Cheng SP et al. Cubital tunnel syndrome: diagnosis by high-resolution ultrasonography. *J Ultrasound Med* 1998;17:643-8.
- Chuang YM, Luo CB, Chou YH et al. Sonographic diagnosis and treatment of a median nerve epineural hematoma caused by brachial artery catheterization. *J Ultrasound Med* 2002;21:705-8.
- Hide IG, Grainger AJ, Naisby GP et al. Sonographic findings in the anterior interosseous nerve syndrome. *J Clin Ultrasound* 1999;27:459-64.
- Buchberger W, Judmaier W, Birbamer G et al. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *AJR* 1999;159:793-8.
- Buchberger W, Schon G, Strasser K et al. High-resolution ultrasonography of the carpal tunnel. *J Ultrasound Med* 1991;10:531-7.
- Lee D, van Holsbeeck MT, Janevski PK et al. Diagnosis of carpal tunnel syndrome. Ultrasound versus electromyography. *Radiol Clin North Am* 1999;37:859-72.
- Bertolotto M, Rosenberg I, Parodi RC et al. Case report: fibroma of tendon sheath in the distal forearm with associated median nerve neuropathy: US, CT and MR appearance. *Clin Radiol* 1996;51:370-2.
- Duncan I, Sullivan P, Lomas F. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *AJR* 1999;173:681-3.
- Graif M, Seton A, Nerubali J et al. Sciatic nerve: sonographic evaluation and anatomic-pathologic considerations. *Radiology* 1991;18:405-8.
- Peer S, Bodner G, Mairer R et al. Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. *AJR* 2001;177:415-9.

28. Shafiqhi M, Gurunluoglu R, Ninkovic M et al. Ultrasonography for depiction of brachial plexus injury. *J Ultrasound Med* 2003;22:631-4.
29. Jacobson JA, Jebson PJJ, Jeffers AW et al. Ulnar nerve dislocation and snapping triceps syndrome: diagnosis with dynamic sonography — report of three cases. *Radiology* 2001;220:601-5.
30. Okamoto M, Abe M, Shirai H et al. Morphology and dynamics of the ulnar nerve in the cubital tunnel: observation by ultrasonography. *J Hand Surg* 2000;25:85-9.
31. Read JW, Noakes JB, Kerr D et al. Morton's metatarsalgia: sonographic findings and correlated histopathology. *Foot Ankle Int* 1999;20:153-61.
32. Redd RA, Peters VJ, Emery SF et al. Morton neuroma: sonographic evaluation. *Radiology* 1989;171:415-7.
33. Sobiesk GA, Wertheimer SJ, Schulz R et al. Sonographic evaluation of interdigital neuromas. *J Foot Ankle Surg* 1997;36:364-6.
34. Quinn TJ, Jacobson JA, Craig JG, van Holsbeeck MT. Sonography of Morton's neuromas. *AJR* 2000;174:1723-8.
35. Bodner G, Harpf C, Gardetto A et al. Ultrasonography of the accessory nerve: normal and pathologic findings in cadavers and patients with iatrogenic accessory nerve palsy. *J Ultrasound Med* 2002;21:1159-63.
36. Simonetti S, Bianchi S, Martinoli C. Neurophysiological and ultrasound findings in sural nerve lesions following stripping of the small saphenous vein. *Muscle Nerve* 1999;22:1724-6.
37. Gruber H, Peer S, Kovacs P et al. The ultrasonographic appearance of the femoral nerve and cases of iatrogenic impairment. *J Ultrasound Med* 2003;22:163-72.
38. Fornage BD, Nerot C. Sonographic diagnosis of tuberculoid leprosy. *J Ultrasound Med* 1987;6:105-7.
39. Beggs I. Sonographic appearances of nerve tumors. *J Clin Ultrasound* 1999;27:363-8.
40. Hoddick WK, Callen PW, Filly RA, et al. Ultrasound evaluation of benign sciatic nerve sheath tumors. *J Ultrasound Med* 1984;3:505-7.
41. Hughes DG, Wilson DJ. Ultrasound appearances of peripheral nerve tumors. *BJR* 1986;59:1041-3.
42. Lin J, Martel W. Cross-sectional imaging of peripheral nerve sheath tumors: characteristic signs on CT, MR imaging, and sonography. *AJR* 2001;176:75-82.
43. King AD, Ahuja AT, King W et al. Sonography of peripheral nerve tumors of the neck. *AJR* 1997;169:1695-8.
44. Lin J, Jacobson JA, Hayes CW. Sonographic target sign in neurofibromas. *J Ultrasound Med* 1999;18:513-7.
45. Murphey MD, Smith WS, Smith SE et al. Imaging of musculoskeletal neurogenic tumors: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics* 1999;19:1253-80.
46. Kapral S, Krafft P, Eibenberger K et al. Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesth Analg* 1994;78:507-13.
47. Kovacs P, Gruber H, Piegger J et al. New, simple ultrasound-guided infiltration of the pudendal nerve: Ultrasonographic technique. *Dis Colon Rectum* 2001;44:1381-5.
48. Ootaki C, Hayashi H, Amano M. Ultrasound-guided infraclavicular brachial plexus block: an alternative technique to landmark-guided approaches. *Reg Anesth Pain Med* 2000;25:600-4.
49. Ernberg LA, Adler RS, Lane J. Ultrasound in the detection and treatment of a painful stump neuroma. *Skeletal Radiol* 2002;32:306-9.
50. Rasmussen MR, Kitaoka HB, Patzer GL. Nonoperative treatment of plantar interdigital neuroma with a single corticosteroid injection. *Clin Orthop* 1996;326:188-93.

Suite en page suivante.

Histoire de la maladie

Patient âgé de 29 ans présentant des douleurs postéro-médiales de la cheville gauche irradiant dans le talon. Il n'existe pas d'antécédent de pathologie de l'appareil locomoteur. La pression de la région rétro-malléolaire interne déclenche une douleur sourde comparable à la douleur spontanée. Les radiographies de face et de profil de la cheville montrent un aspect ostéo-articulaire normal notamment du carrefour postérieur.

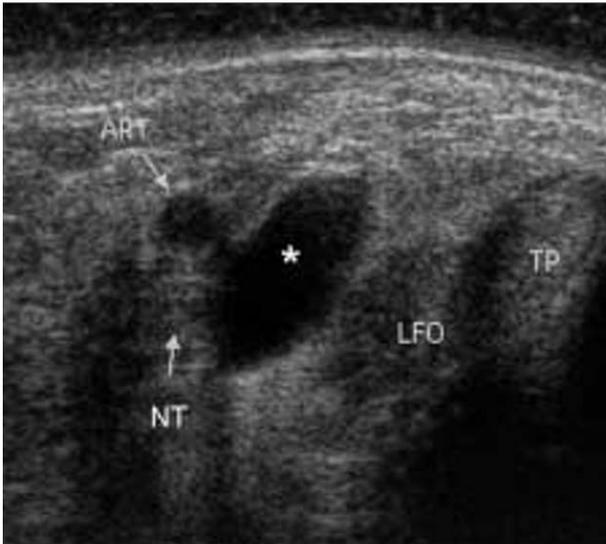


Fig. 1 : Coupe axiale rétro-malléolaire interne.

Fig. 1: Axial sonograms.

Questions

Quel est votre diagnostic (*fig. 1 et 2*) ?

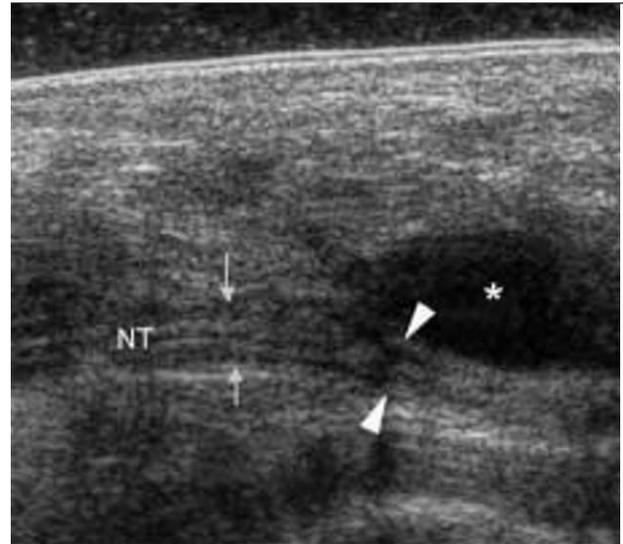


Fig. 2 : Coupe longitudinale rétro-malléolaire interne.

Fig. 2: Longitudinal sonograms.

Réponses

En arrière de la malléole interne (MI) on reconnaît le tendon tibial postérieur (TP), le tendon long fléchisseur des orteils (LFO), l'artère tibiale postérieure (ART) et le nerf tibial (NT) en avant de l'artère. Il existe une masse ovale (astérisque) de 18 mm de grand axe, transsonore avec renforcement postérieur en faveur d'un kyste mucoïde ou synovial au contact du pédicule vasculo-nerveux tibial. La coupe longitudinale (*fig. 2*) montre le nerf tibial (NT) avec son aspect fasciculaire caractéristique. L'épaisseur du nerf, normale dans sa partie proximale (flèches pleines) diminue brutalement en arrière de la masse kystique (têtes de flèches) qui comprime le nerf à l'entrée du tunnel tarsien.

Apport du Doppler couleur en ostéo-articulaire

E Lefebvre* (1), R Bargoin (2) et D Montagnon (3)

Abstract

Value of Color Doppler in musculoskeletal disorders

J Radiol 2005;86:1879-91

In the field of bone and joint diseases, Doppler US signal can now be assessed both qualitatively and quantitatively owing to recent technical improvements. Doppler parameters must be optimized in order to limit intra and inter observer variability. Thus, we propose the systematic use of standard references. First, this review will describe normal anatomical findings on Doppler US. Then, we shall go through each anatomical region detailing not only diagnostic signs and applications, but also the therapeutic impact for patient management.

Key words: Tendons. Ultrasound. Doppler.

Résumé

Les progrès techniques permettent actuellement une étude qualitative et quantitative des signaux Doppler en ostéo-articulaire. Les réglages Doppler doivent être parfaitement optimisés pour éviter une trop grande variabilité des résultats aussi nous conseillons l'utilisation d'un étalon. Après un descriptif anatomo-Doppler normal seront ensuite développées par région anatomique, les multiples applications diagnostiques et ses implications thérapeutiques en pratique courante.

Mots-clés : Tendon et gaine. Échographie. Doppler.

L'imagerie Doppler couleur a amélioré le diagnostic des lésions abdominales ou gynéco-obstétricales par la prise en compte des modifications vasculaires et ou hémodynamiques au sein des territoires explorés.

Pour la pathologie ostéo-articulaire, les études sont plus récentes car il a fallu attendre le développement des sondes à haute fréquence pour améliorer suffisamment la qualité 2D et Doppler, permettant l'étude des flux superficiels et des flux lents nécessaires à l'étude des tissus superficiels.

Le codage Puissance ou Énergie, ou le Doppler couleur (DC) demande une grande rigueur dans son application et son interprétation. Dans cette revue, nous montrerons comment le DC permet d'apporter des informations nouvelles en terme de physiologie et de caractérisation des tissus en rappelant les conditions techniques nécessaires. Il ne sera pas évoqué au cours de cet article la pathologie vasculaire qui peut accompagner des lésions ostéo-articulaires.

Conditions techniques

1. Les réglages

Les sondes matricielles paraissent actuellement les plus performantes. Les réglages cherchent à obtenir une information couleur la plus riche et la plus fine possible tout en restant interprétable et différentiable des artefacts. Voici les principales règles qui peuvent être proposées :

- la vitesse couleur doit être la plus basse possible adaptée au calibre du vaisseau (artère, artériole) sans aliasing (*fig. 1*) ;
- la fréquence couleur doit être la plus haute possible et adaptée à la profondeur examinée mais il ne faut pas hésiter à essayer

toutes les bandes d'émission avec une focalisation du faisceau sur la zone étudiée (*fig. 2*) ;

- le gain couleur doit être suffisant et doit se situer à la limite de l'apparition d'un bruit de fond avec un filtre de paroi réglé au plus bas ;
- suivant le matériel, on utilisera le mode doppler le plus informatif soit le doppler couleur soit le doppler énergie voire le doppler convergent (bidirectionnel) qui précise le sens d'écoulement des flux. Le 4D couleur donne une cartographie couleur volumique mais compte tenu de la taille de la sonde, elle n'est actuellement utilisable que sur des zones planes et assez larges comme la hanche, le genou. Il n'est pas approprié pour l'exploration des doigts.

2. Les pièges

Ils sont nombreux mais se regroupent autour de 2 grands types :

- les artefacts couleur exagérant la vascularisation réelle liés aux mouvements et aux réglages excessifs ;
- un signal couleur trop pauvre sous-évaluant la vascularisation réelle lié à :
 - des réglages insuffisants ou un seuillage des filtres bas trop élevé,
 - une fréquence doppler trop importante par rapport à la profondeur d'exploration,
 - une pression trop forte de la sonde sur les vaisseaux,
 - une focalisation non adaptée à la profondeur étudiée.

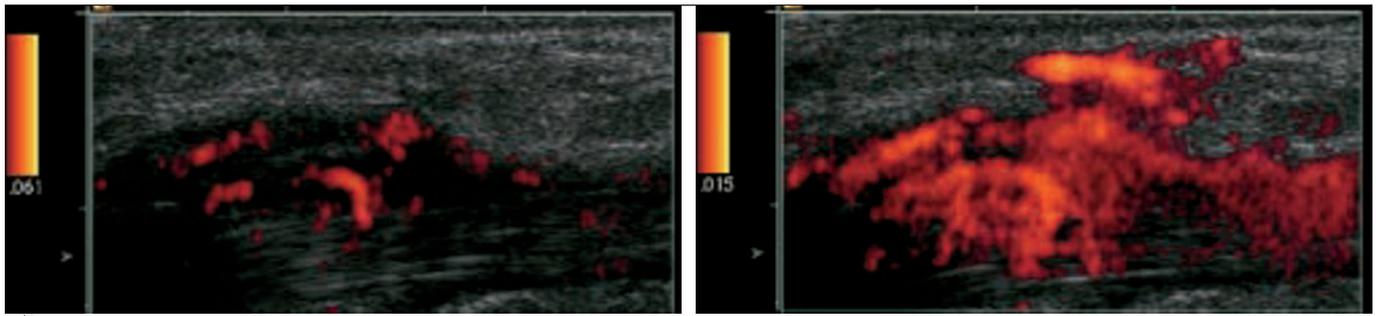
Que doit-on voir ?

Voici les critères d'évaluation des capacités minimales nécessaires de votre matériel pour être utilisé de façon pertinente en échodoppler musculo-tendineux. La recherche de ces critères permettra aussi d'optimiser vos réglages pour les 3 champs d'exploration les plus utilisés en pathologie ostéo-articulaire :

- champ superficiel de 0 à 2 cm ;

* E Lefebvre, coauteur du cas clinique avec L Creste.

(1) Centre médical Roosevelt, 45, boulevard Roosevelt, 41100 Vendôme. (2) Centre de Radiologie, 112, allée de la gare, 77350 Le Mée sur Sein. (3) Institut Radiologique Mutualiste, 3, rue Le Verrier, 42100 Saint-Étienne.
Correspondance : E Lefebvre



a|b

Fig. 1 : Coupes longitudinales rétro malléolaires internes. Les 2 clichés sont identiques, seule l'échelle de vitesse Doppler est différente.

a Échelle de vitesse maximum de 6 cm/sec.

b Échelle de vitesse maximum de 1,5 cm/sec. Ces images donnent une imagerie Doppler énergie de la gaine du tendon jambier postérieur.

Fig. 1: Longitudinal sections of internal tuberosity. Both images are identical, only the Doppler velocity scale is different.

a Maximum of 6 cm/sec.

b Maximum of 1,5 cm/s. This image allows Power Doppler analysis and demonstrates synovitis within the posterior tibialis tendon.

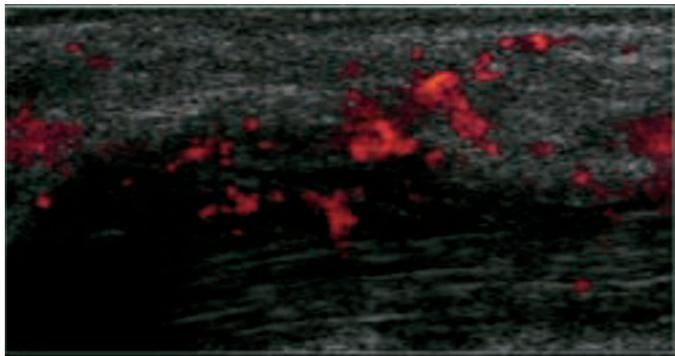
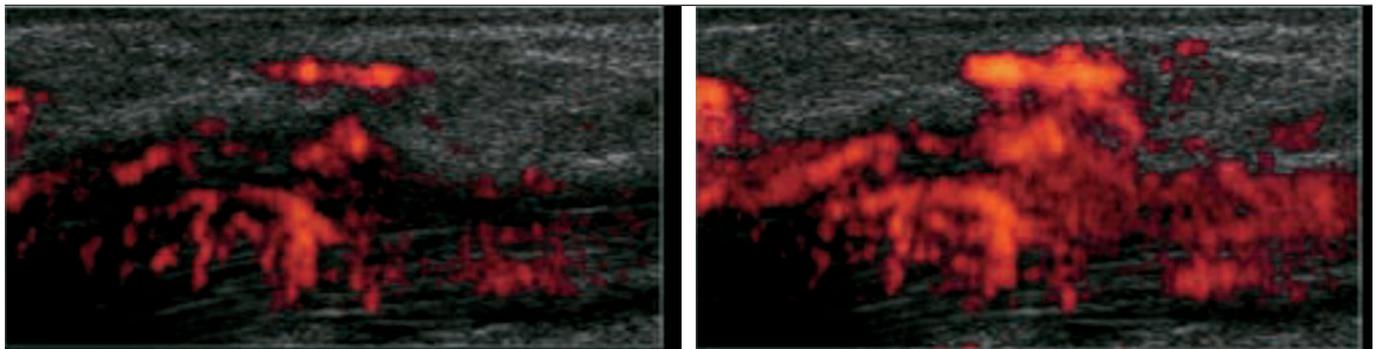
a|b
c|

Fig. 2 : Coupes longitudinales rétro malléolaires internes. Les 3 clichés sont identiques, seule la fréquence Doppler est différente.

a Fréquence à 7 Mhz.

b Fréquence à 8,5 Mhz.

c Fréquence à 14 Mhz.

Dans ce cas, l'imagerie doppler énergie de la gaine du tendon jambier postérieur la plus pertinente est de 8,5 Mhz.

Fig. 2: Longitudinal section of the internal tuberosity of the ankle 3 similar views using 3 Power Doppler frequencies.

a 7 Mhz.

b 8.5 Mhz.

c 14 Mhz.

The best analysis is at 8.5 Mhz which demonstrates synovitis of the posterior tibialis tendon.

- champ moyen de 3 à 5 cm ;
- champ profond de 6 à 10 cm.

Le champ superficiel (fig. 3a Test 1) est le plus utilisé (main, poignet, coude, épaule, cheville...). L'étalon humain sera la pulpe du pouce de l'examineur (température de la main de plus de 30 °C). Sonde contre la pulpe recouverte de gel et sans appui : on doit voir l'artère pulpaire sur plus de 5 mm et des collatérales sur plus de 2 mm ainsi que des lacs veineux dans les plans hypodermiques superficiels avec un gain maximum sans artefact « de bruit de saturation ».

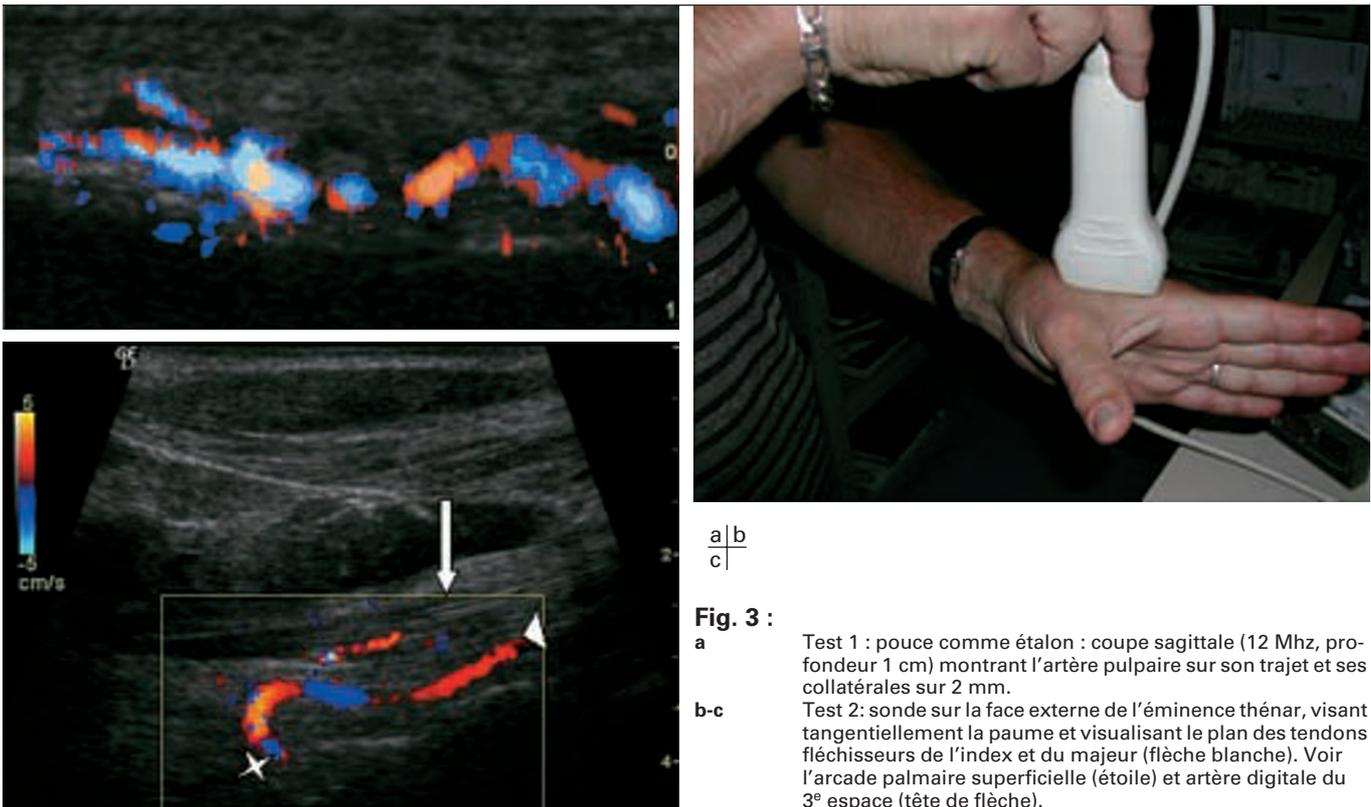
Pour le champ moyen (fig. 3b, c Test 2), la main de l'examineur reste la référence : il faut placer la sonde sur la face externe de l'éminence thénar, viser tangentielllement la paume et visualiser le plan des tendons fléchisseurs de l'index et du majeur (reconnus

facilement en mobilisant ses doigts), le DC devant identifier l'arcade palmaire et une collatérale digitale.

Pour le champ profond, on prendra avec une sonde barrette courbe le réglage qui permet de voir la vascularisation rénale jusqu'à 3 mm de la capsule rénale sur un patient sans surpoids corporel.

Intérêt des produits de contraste ultrasonore ?

Les produits injectables utilisables en doppler peuvent aider dans l'étude des zones profondes (cuisse de sportif) tels le Léovist® (Schering) en augmentant le signal doppler ou le SonoVue® (Bracco), le signal 2D vasculaire avec un programme spécifique



a	b
c	

Fig. 3 :

- a** Test 1 : pouce comme étalon : coupe sagittale (12 Mhz, profondeur 1 cm) montrant l'artère pulpaire sur son trajet et ses collatérales sur 2 mm.
- b-c** Test 2: sonde sur la face externe de l'éminence thénar, visant tangentiellement la paume et visualisant le plan des tendons fléchisseurs de l'index et du majeur (flèche blanche). Voir l'arcade palmaire superficielle (étoile) et artère digitale du 3^e espace (tête de flèche).

Fig. 3:

- a** Test 1: distal thumb used as a standard reference: Doppler showing the distal digital artery and collaterals over 2 mm.
- b-c** Test 2: probe over the lateral end of the thenar eminence with palmar angulation showing the flexor tendons of the second and third fingers (white arrow). The superficial palmar arcade (star) and 3rd digital artery (arrowhead) are demonstrated.

harmonique avec une inversion de pulse. Les premières études montrent peu de différences significatives avec la cartographie vasculaire obtenue par Doppler (1, 2).

Sémiologie écho-Doppler couleur

Le principal signe sémiologique recherché est l'hyperhémie ou l'hypervascularisation. Voici quelques règles pour vous aider :

- un vaisseau d'un calibre inférieur à 0,3 mm est difficile à caractériser sur son flux artériel ou veineux peu pulsatile, utiliser la compression douce. Une néo angiogenèse (sur un tendon peigné) est de basse résistance car il y a de nombreux shunts alors que sur une bourse inflammatoire les index sont plus élevés (le lit artériel est présent mais moins développé). L'angiogenèse est plus rapide et abondante quand il y a une origine inflammatoire alors que dans les lésions d'origine mécanique l'angiogenèse est rarement décelable ;
- certains tissus ne présentent aucune vascularisation visible à l'état physiologique avec notre technologie actuelle, l'apparition d'une vascularisation est donc considérée comme pathologique. Ces tissus sont le tendon, la corticale osseuse, la bourse et le paquet graisseux péri-tendineux. Pour ces deux derniers, la vascularisation est non visible spontanément mais joue un rôle important dans la vascularisation et revascularisation du tendon adjacent en cas de lésion. Sur la synoviale saine, on retrouve exceptionnellement quelques spots colorés sur le cul de sac supérieur du genou et sur la face palmaire métacarpo-phalangienne

de l'index et du majeur ou la carpo-métacarpienne du pouce (3). Sur l'enthèse, il existe assez souvent des artéfacts de clignotement (crissement au Doppler Pulsé) mais aussi des spots vasculaires en périphérie des enthèses les plus volumineuses correspondant aux artères nourricières. Voir des spots vasculaires sur la jonction myotendineuse est fréquent comme pour le biceps brachial, le tendon quadriceps et le tendon d'Achille. Sur les muscles, de nombreuses artères et veines peuvent être vues principalement dans le périmysium (fascia intermusculaire). Lors des traumatismes à type de déchirure, de très nombreux vaisseaux siègent dans le foyer de réparation ;

- l'examen sera systématiquement bilatéral dans les mêmes conditions de réglage, les différences de vascularisation seront bien sûr considérées comme significatives ;
- on peut essayer de quantifier l'hyperhémie. Il existe plusieurs grilles de classification suivant le compartiment anatomique, nous en retiendrons deux :
 - sur une synoviale on peut faire le rapport de longueur, sur une coupe sagittale de la synoviale dans le grand axe de l'articulation, des spots colorés/longueur 2D de la capsule : l'on cote + si le rapport est inférieur à 50 % et ++ s'il est supérieur soit une cotation de 0 à 2+,
 - sur une bourse ou autour d'une calcification une classification avec une échelle de 0 à 3 est envisagée : grade 0 (pas de signal), grade 1 (points colorés de faible intensité), grade 2 (signal linéaire de visualisation de vaisseaux), grade 3 (plusieurs vaisseaux nets) ;
- En dehors des signaux vasculaires d'autres signaux colorés peuvent exister dont 2 sont particulièrement utiles. Le signe du clignotement, artefact de scintillements colorés sur des zones

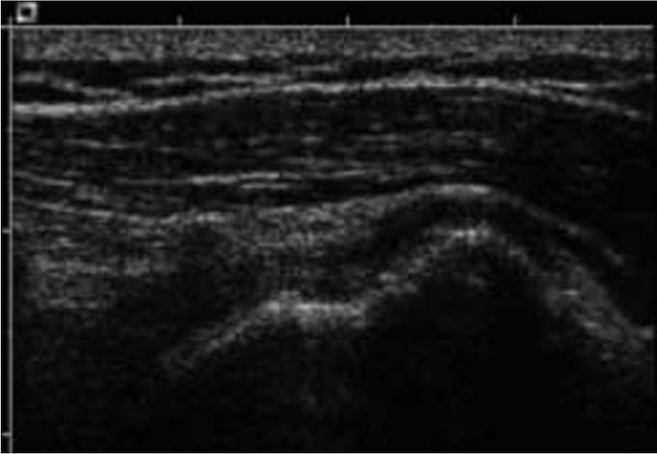


Fig. 4 : Coupe verticale antéro externe de l'épaule. Rupture complète du tendon supra épineux.

Fig. 4: *Sagittal US image of the shoulder. Full thickness tear of the supraspinatus tendon.*

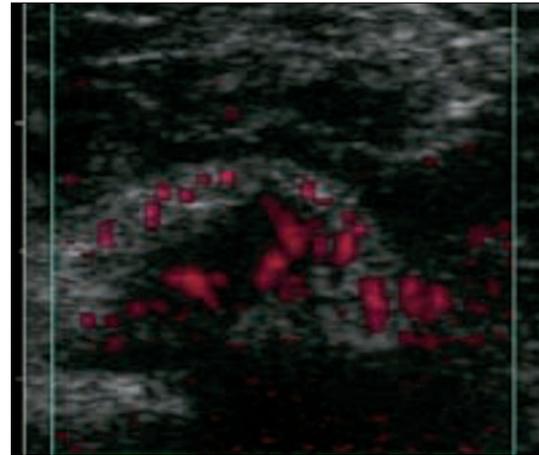
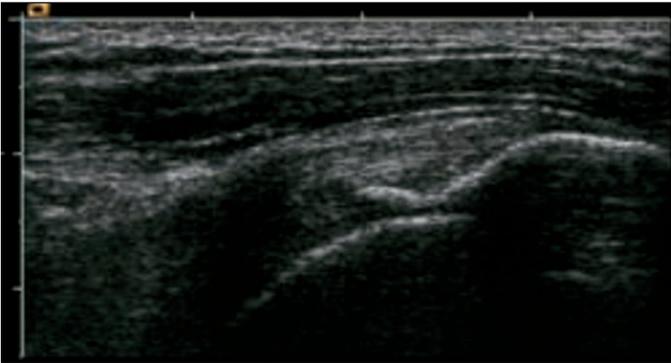


Fig. 5 : Coupe transversale antérieure de l'épaule. Tendinopathie du long biceps avec hypervascularisation. La symptomatologie clinique était liée à la tendinopathie bicipitale et non pas à la rupture.

Fig. 5: *Transverse view of the shoulder. Tendinosis of the long head biceps with hypervascularity. The clinical symptoms was probably due to the tendinosis of the long head biceps and not to the tear.*



a|b

Fig. 6 : Coupes verticales antérieures de l'épaule droite. Petit spicule calcifié du tendon supra épineux avec hypervascularisation périphérique, tendinopathie « active » expliquant la douleur clinique.

Fig. 6: *Sagittal view of the right shoulder. Small calcified spur of the supraspinatus tendon with peripheral hypervascularity, "active" tendinosis explaining the clinical pain.*

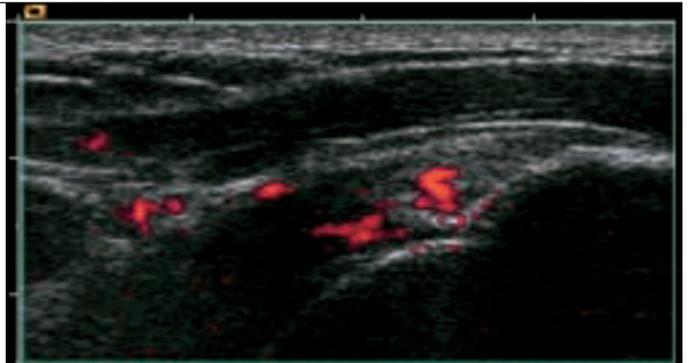
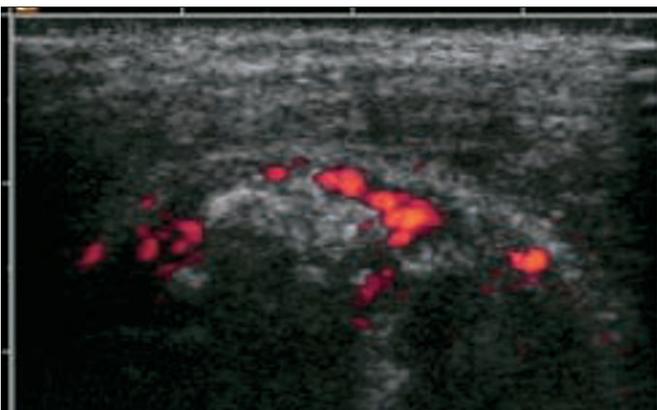


Fig. 7 : Coupe de l'épaule en regard d'une calcification du supra épineux DC++ autour de la calcification expliquant la symptomatologie douloureuse aiguë de ce patient.

Fig. 7: *View of the shoulder with a calcification of the supraspinatus. DC ++ around the calcification which explains this patient's exquisite pain.*



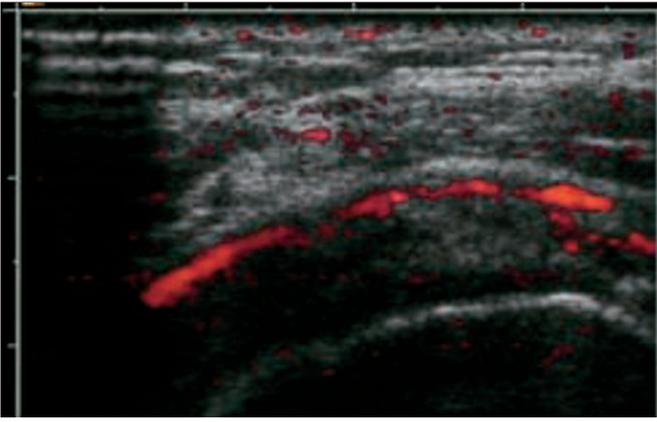
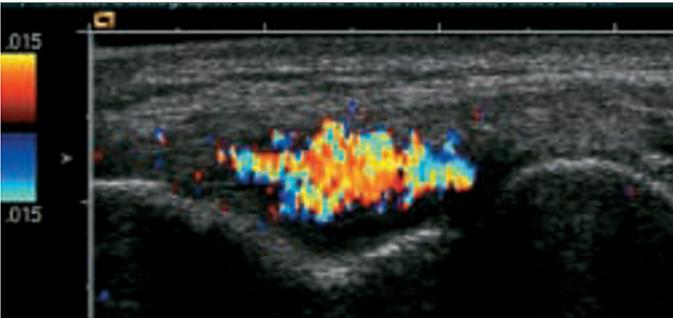


Fig. 8 : Coupe transversale antérieure de l'épaule. Bursite sous deltoïdienne très inflammatoire dans le cadre d'une migration d'une calcification.

Fig. 8: *Transverse view of the shoulder. Inflammatory subacromial bursitis due migration of a calcification.*



a|b

Fig. 9 : Coupes verticales externes des 2 coudes en regard de l'épicondyle. Épicondylite simple droite très douloureuse vascularisée. À gauche, tendon épicondylien normal.

Fig. 9: *External sagittal view of the right and left epicondyle. Very painful right epicondyle. Normal left tendon.*

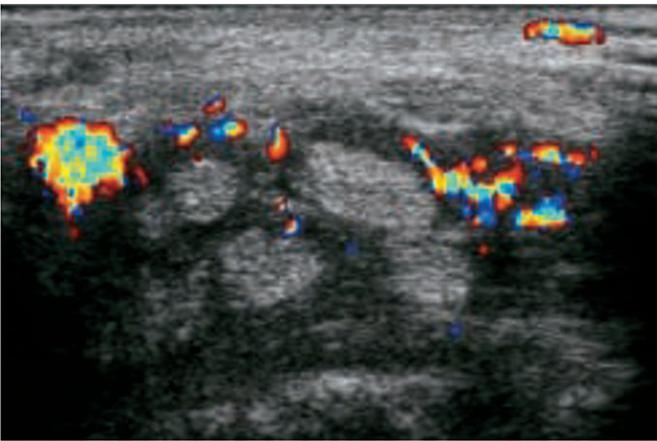


Fig. 10 : Coupe transversale du poignet. Ténosynovite des tendons fléchisseurs en regard du canal carpien dans le cadre d'une polyarthrite rhumatoïde.

Fig. 10: *Cross section of the wrist. Flexor tendon tenosynovitis with active rheumatoid arthritis.*

hyper échogènes cristallines avec des crissements au Doppler pulsé (DP), correspond sur des zones intra-tissulaires ou des interfaces « rugueuses » comme l'enthèse ou sur les parois d'une collection à des cristaux (apatite, acide urique...) (4). L'artefact de scintillement sur des zones hyper échogènes mobiles dans un liquide (indépendant du mouvement brownien créé par l'effet mécanique du doppler) au sein d'une collection ou d'une bursite traduit souvent la présence de cristaux comme le cholestérol.

- Doit-on utiliser des indices de Doppler pulsé ? En Doppler pulsé, les indices les plus utilisés sont suivant les écoles la vitesse systolique et la vitesse diastolique et l'index de résistance (IR) ou l'index de pulsatilité (IP). Une mesure est fiable si l'angle de mesure avec le vaisseau est inférieur à 30°. Compte-tenu du calibre

des vaisseaux et de la faible célérité systolique et diastolique, l'IR est plus adapté. Il faut toujours prendre ces mesures en périphérie des nodules ou des « masses » ou sur le plus gros tronc vasculaire extra capsulaire car, que ce soit pour un nodule vascularisé ou une synoviale hypertrophiée l'ouverture des micro shunts fait toujours chuter l'IR au centre de la lésion. En amont par contre, une variation de l'IR pourra être un reflet de la variation du nombre de micro shunts, mais il faut comparer les vitesses à celles mesurées sur la plus grosse artère régionale. Des études ont montré que l'IR est élevé dans les tendinopathies mécaniques et l'IR est bas par élévation de la vitesse diastolique dans les enthèses rhumatismales (néo angiogenèse avec des micro shunts). La mesure de ces indices se justifie en fait en présence de gros vaisseaux obliques

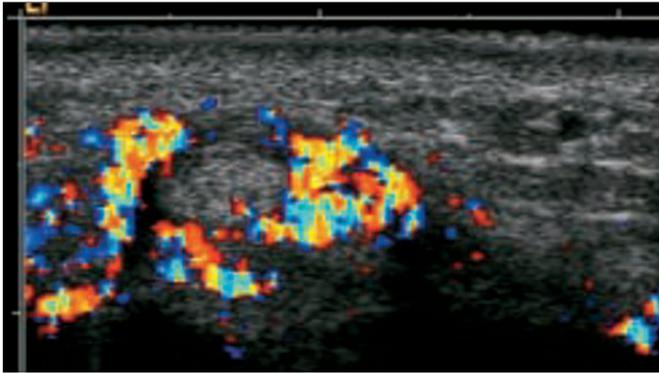


Fig. 11 : Coupe transversale de la main. Ténosynovite inflammatoire des tendons fléchisseurs dans le cadre d'une polyarthrite rhumatoïde.

Fig. 11: *Cross section of the hand. Flexor tendon inflammatory tenosynovitis with rheumatoid arthritis.*

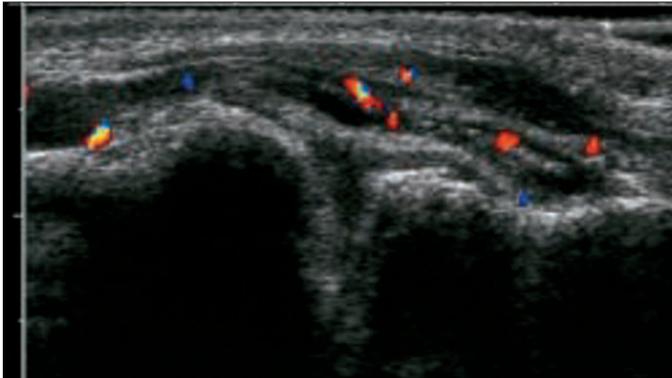


Fig. 12 : Coupes verticales des 2 articulations trapézo métacarpiennes des pouces.
a Doppler couleur négatif : aspect normal
b Doppler couleur très positif : atteinte inflammatoire à gauche DC++ avec une hypertrophie synoviale et des microgéodes débutantes dans le cadre évolutif d'une PR.

Fig. 12: *Sagittal view of the carpometacarpal joint of both thumbs.*

a DC - on the right synovitis

b DC ++ on the left synovial hypertrophy and micro geodes in active rheumatoid arthritis.

par rapport au faisceau Doppler et pour une surveillance spécifique. Sur un petit vaisseau les mesures sont peu reproductibles.

Réalisation pratique de l'examen

L'étude écho-doppler couleur (EDC) ne peut se concevoir qu'après un examen échographique préalable et complet guidé par la clinique et l'exploration radiographique si cela est nécessaire.

L'examen EDC devra être minutieux et comparatif avec le côté controlatéral.

Le DC est un complément ponctuel dans le cours de l'examen, son interprétation intégrera donc l'ensemble des données cliniques, biologiques, radiologiques et bien sûr échographiques.

Dans le cas d'un suivi pathologique comme dans la polyarthrite rhumatoïde (PR), des photos avec des repères (osseux, ligamentaires...) ainsi que le marquage des valeurs techniques permettent une bonne reproductibilité.

Intérêts pratiques

1. Le membre supérieur

1.1. L'épaule

La vascularisation de l'épaule est assurée par : d'une part des branches ascendantes provenant de l'artère circonflexe et d'autre

part, à la partie supérieure par une branche de l'artère acromio thoracique avec une zone toujours vascularisée dans la coulisse bicipitale ou sous le ligament huméral transverse ainsi que des collatérales musculaires.

Le DC peut apporter de nombreux renseignements intéressants dans l'étude des pathologies de l'épaule.

1.1.1. Conditions pratiques particulières

Il faut examiner le tendon qui nous intéresse dans la position la plus neutre possible sans tension ou position de conflit au risque « d'effacer » une hypervascularisation pourtant réelle.

1.1.2. La rupture

Le DC est négatif car il s'agit d'une pathologie mécanique, sa positivité orienterait vers un diagnostic différentiel (tendinopathie...). L'interprétation de la clinique pourra en être modifiée (fig. 4-5).

1.1.3. La tendinopathie

La découverte d'une hypervascularisation dans un tendon ou dans une zone d'un tendon d'aspect « sain » en 2D ou à type de tendinopathie chronique plus ou moins calcifié oriente vers une tendinopathie « active » et explique la symptomatologie douloureuse (fig. 6-7). La disparition du signal et de la douleur sous traitement anti-inflammatoire est habituelle. Il existe une bonne corrélation douleur-cartographie DC et traitement (5). De fines plaques calcifiées intra tendineuses, si elles sont peu enveloppées de signaux doppler grade 0 ou 1 diminueront bien à la ponction à l'aiguille fine ; celles classées grade 2 et 3 réagiront mieux au

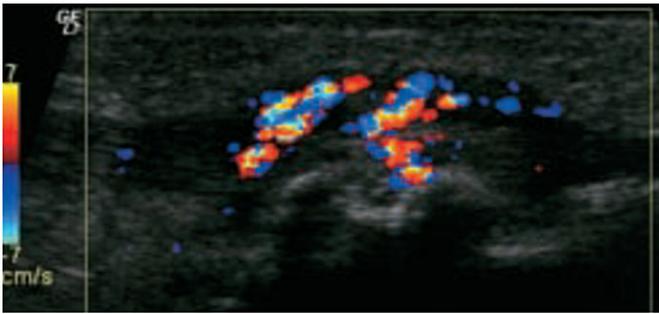


Fig. 13 : Coupe verticale antérieure du tendon rotulien d'un enfant. Syndrome d'Osgood-Schlatter.

Fig. 13: *Sagittal view of a child patellar tendon. Osgood-Schlatter Syndrome.*

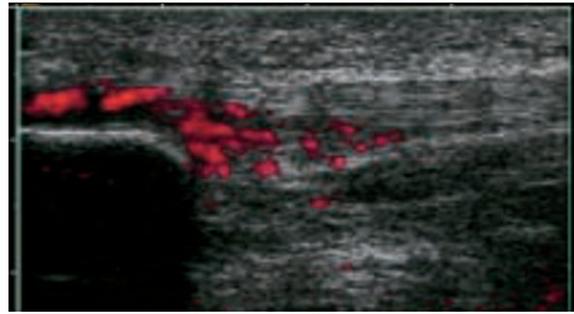
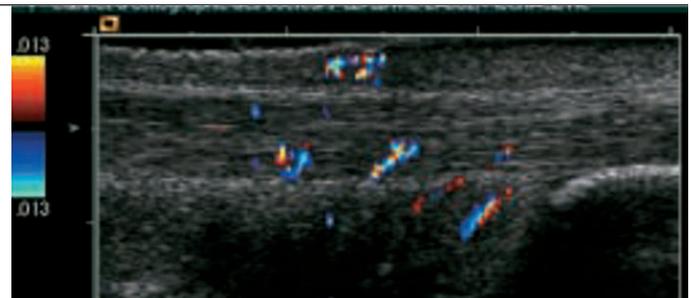
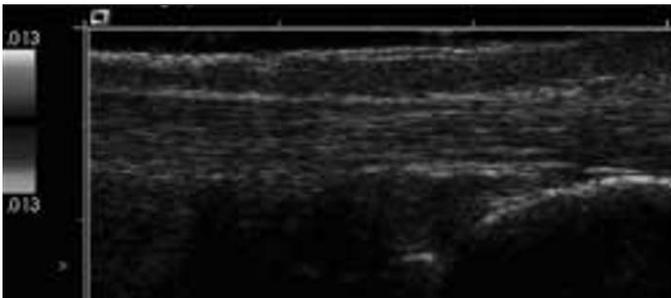


Fig. 14 : Coupe verticale antérieure sous rotulienne. Douleur prérotulienne post-jogging. Tendinopathie d'insertion.

Fig. 14: *Sagittal anterior patellar view. Post jogging pain. Patellar insertion tendinosis.*



a|b

Fig. 15 : Coupes verticales postérieures des tendons d'Achille droit et gauche. Aspect échographique normal mais hypervascularisation à gauche correspondant à la douleur clinique. Tendinopathie débutante.

Fig. 15: *Posterior views of the right and left Achilles' tendons. Normal US aspect but hypervascularity on the left corresponding to the clinical pain. Tendinosis.*

traitement médical d'après Chiou *et al.* (6). À long terme, des tendinopathies calcifiantes traitées par infiltration entraînent des épisodes douloureux subaigus avec une tendinopathie à tendon épaissi hypervascularisé focalement avec parfois des signaux DC liés à des artefacts de clignotement sur des micro-calcifications non visibles sur la radiographie.

Jusqu'à présent on considère la calcification comme quasi nécessaire à une tendinopathie, le DC nous permet de montrer qu'un certain nombre de tendinopathies ne présentent en fait pratiquement aucune anomalie à l'échographie 2D.

1.1.4. La bursite

La mise en évidence d'une hypervascularisation au niveau d'une bourse séreuse est importante, une cartographie couleur grade 0 orientant vers une origine mécanique (absence), grade 1 vers un conflit marqué (discrète), et grade 1 à 3 vers des étiologies beaucoup plus inflammatoires (marquées à très marquées) comme une migration d'une calcification ou une polyarthrite. Le DC peut permettre aussi de différencier un épaississement synovial inflammatoire (DC+) d'un épanchement avec des ponts solides fibrineux (DC-) (*fig. 8*).

1.1.5. La capsulite rétractile

Elle s'accompagne au début, lorsque la douleur prime sur l'enraidissement, d'une hypervascularisation de l'ensemble des tendons mais cette situation est temporaire le premier mois, elle correspond à la sémiologie retrouvée en IRM.

1.2. Le coude

Les artères visibles sont principalement les artères huméro-radio-ulnaires et les collatérales accompagnant les différents nerfs.

Le DC nous intéressera essentiellement dans l'étude des épicondylites (*fig. 9*), mais il pourra être aussi utile dans les épanchements et les bursites pour déterminer l'origine mécanique, inflammatoire ou infectieuse.

Dans le cas de l'épicondylite, s'il existe une hypervascularisation au sein du tendon hypertrophié de tendinopathie chronique, l'infiltration cortisonique se justifie et diminue efficacement la symptomatologie douloureuse. Dans le cas contraire, elle ne fait que fragiliser le tendon sans aucun bénéfice clinique.

1.3. Le poignet

L'étude du poignet est une situation assez fréquente que ce soit devant des tableaux de tendinopathie ou de syndrome du canal carpien.

Bien que le DC n'apporte que peu de renseignements dans le diagnostic positif de compression du nerf médian, il est essentiel de rechercher une artère médiane persistante normale ou thrombosée car sa présence peut être une cause secondaire de compression et surtout contre-indique une chirurgie laparoscopique. Il peut parfois exister une hypervascularisation du nerf dans les cas les plus sévères. La découverte d'une synovite des gaines des fléchisseurs des doigts au DC oriente vers une cause inflammatoire et donc vers un traitement médical de la compression (*fig. 10*).

Le DC peut aussi aider à différencier tendinopathie et ténosynovite sténosante échogène.

1.4. La main

Le DC est surtout intéressant dans l'étude des synovites des articulations métacarpo phalangiennes, inter phalangiennes proximales

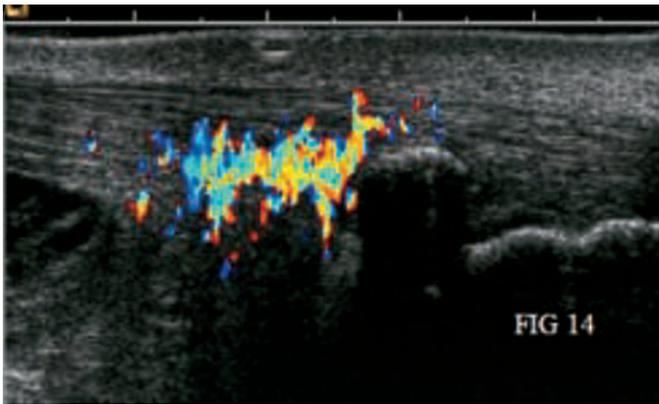


Fig. 16 : Tendinopathie calcifiante ancienne en phase aiguë. Coupes verticales postérieures de 2 tendons d'Achille douloureux.

Fig. 16: *Acute pain with chronic calcified tendinopathy. Sagittal posterior view of both painful Achille's tendons.*

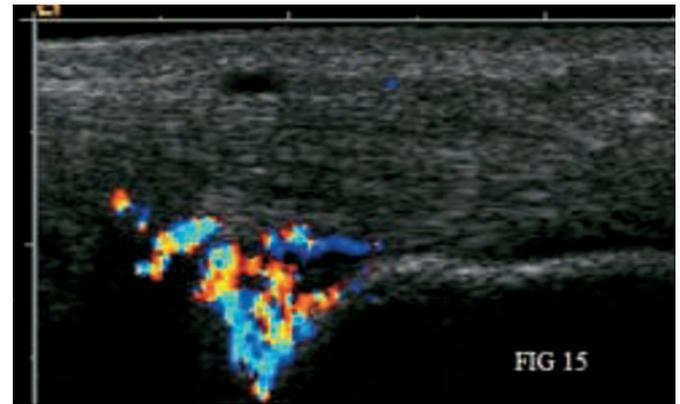
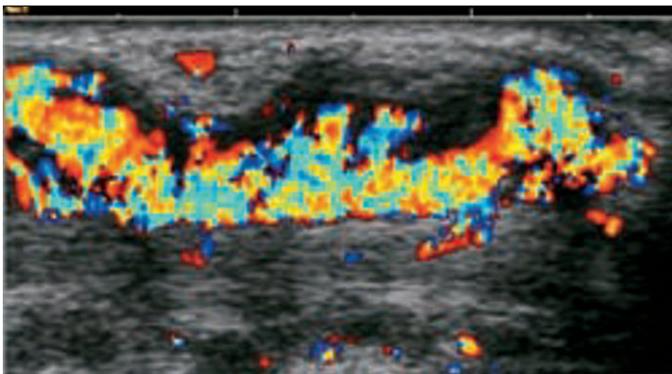


Fig. 17 : Bursite pré-achilléenne.

Fig. 17: *Achille's tendons bursitis.*



a|b

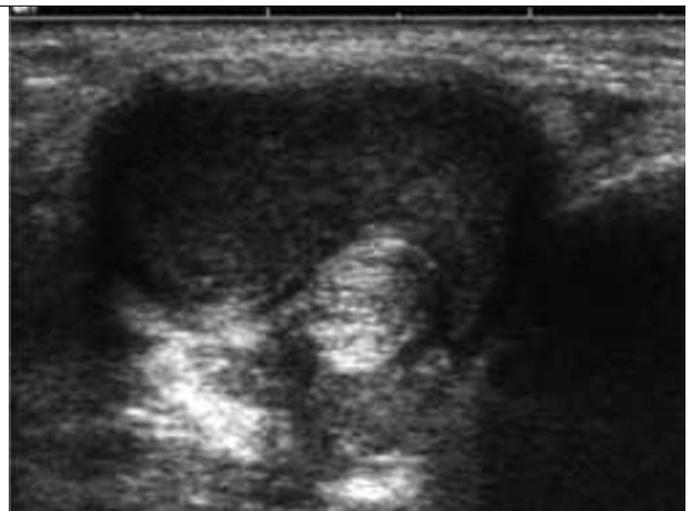


Fig. 18 : Coupes verticale (a) et transversale (b) rétro malléolaires internes. Synovite isolée hypertrophique de la gaine du tendon du jambier postérieur. Le tendon est normal. Il s'agit d'une polyarthrite rhumatoïde.

Fig. 18: *Sagittal (a) and transverse (b) views of the medial tuberosity of the ankle. Isolated hypertrophic synovitis of the posterior tibialis tendon sheath. The tendon is normal. Rheumatoid arthritis.*

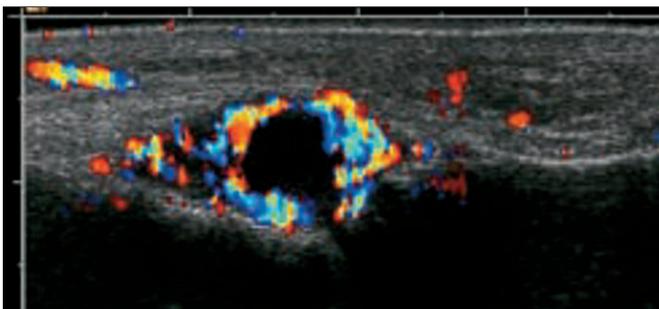


Fig. 19 : Coupe longitudinale de l'articulation métatarso-phalangienne du gros orteil. Épanchement artériel hypervascularisation en couronne de la synoviale sans anomalie des contours osseux. Crise de goutte.

Fig. 19: *Longitudinal section of the metatarsophalangeal joint of the first toe. Acute episode of gout with synovial hypervascularization.*

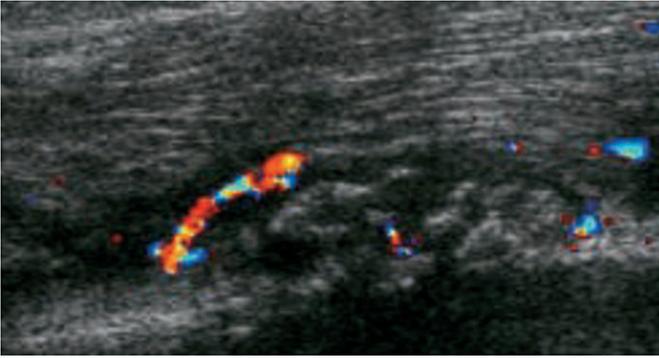


Fig. 20 : Coupe verticale du fémur. Lésion sous périostée ostéoblastique irrégulière avec une hypervascularisation périostée. Métastase osseuse d'origine colique.

Fig. 20: *Sagittal scanning of the femur. Irregular osteoblastic lesion with hypervascular periostitis. Metastasis from colon carcinoma.*

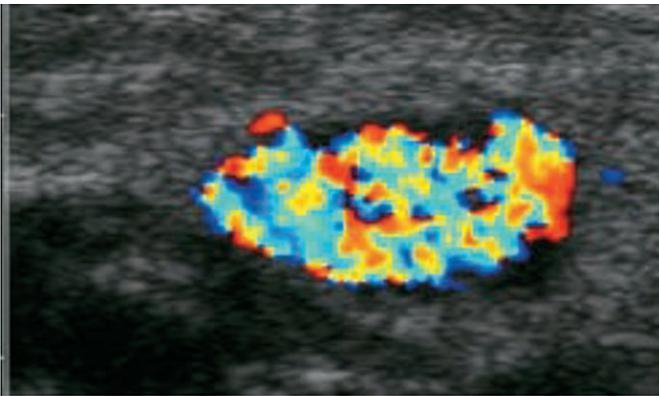


Fig. 22 : Coupe verticale externe du genou. Tumeur glomique.

Fig. 22: *Sagittal external view of the knee. Glomus tumor.*

et des ténosynovites. L'atteinte de ces articulations est souvent précoce dans la PR. L'échographie objective des synovites dont le caractère bilatéral et symétrique est évocateur. L'exploration des articulations métacarpo-phalangiennes et inter phalangiennes proximales est facile. L'épanchement articulaire est souvent écho-gène, hétérogène et se différencie d'une atteinte septique par la multiplicité des atteintes. L'épaississement synovial est souvent irrégulier avec des franges hypertrophiées « flottantes ». Le DC va quantifier la vascularisation par cartographie entre 0 et ++ par articulation. Le Doppler pulsé permet de déterminer la vitesse systolique, l'index de Résistance et le rapport avec l'artère terminale la plus proche. Des études sont en cours de validation pour des traitements utilisant l'éthancépt (Rémicade*) et l'infliximab (Embré*) en association avec le méthotrexate. Si la synoviale est cotée 0, cette synovite est peu évolutive à ce niveau. En fonction du nombre de sites touchés et de la cotation totale, un score (tenant compte du DC mais aussi des épanchements, de la taille des érosions) peut servir pour la surveillance et peut influencer l'institution d'un traitement local ou général (7, 8, 9). Dans le suivi thérapeutique, la régression des symptômes cliniques et biologiques est associée à la disparition de l'hypervascularisation au DC (10). La surveillance en EDC permet de détecter précocement une rechute par la réapparition des hyper signaux vasculaires.

Le DC synovial est aussi positif dans d'autres maladies inflammatoires (ex : rhumatisme psoriasique) et en pathologie infec-

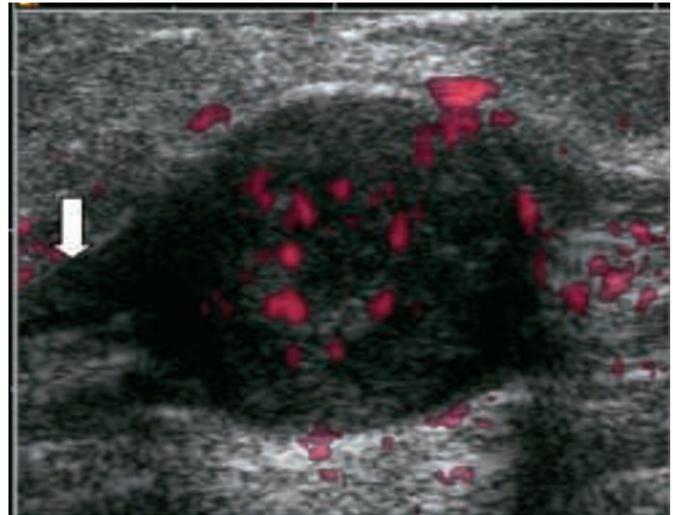


Fig. 21 : Coupe verticale postérieure de cuisse. Schwannome du sciatique poplité externe. Nerf normal fléché.

Fig. 21: *Posterior sagittal view of the thigh. Schwannoma of the lateral popliteal nerve.*

tieuse, mais il sera négatif dans les pathologies mécaniques arthrosiques. Dans les conflits avec les poulies, bien que les tendinopathies présentent une hypervascularisation, elle est en général moins intense. Une hypervascularisation des gaines digitales peut traduire des ténosynovites révélatrices d'une PR débutante ou d'une autre maladie inflammatoire (fig. 11-12).

2. Le membre inférieur

2.1. La hanche

La vascularisation de la hanche est bien visible en pédiatrie, elle est abondante près du col et dans la capsule en liaison avec les artères orbiculaires qui proviennent de collatérales de la circonflexe externe.

En pédiatrie, le DC est surtout utile dans 2 cas :

- la suspicion d'arthrite chez le nouveau-né ;
- plus tard pour différencier une synovite aiguë (ex : rhume de hanche) d'une synovite infectieuse.

Il existe un épanchement dans ces 3 cas du côté symptomatique, mais les flux synoviaux ou sous capsulaire sur le col fémoral sont nettement augmentés dans l'arthrite ou la synovite infectieuse avec un décollement périosté fréquent. Dans la synovite aiguë, il existe temporairement une hypervascularisation de la synoviale qui disparaît lorsque l'épanchement s'installe. Il est conseillé de faire une ponction articulaire au moindre doute en urgence s'il existe un épanchement avec cette hypervascularisation (11). L'arthrite rhumatoïde juvénile retrouve dans un contexte clinique particulier les signes d'une synovite à synoviale épaissie hypervascularisée.

Chez l'adulte, le DC n'apporte pour l'instant que peu de renseignements à ce niveau, sauf pour identifier une origine inflammatoire. Toutefois dans le cadre d'une infection ostéo-articulaire sur du matériel d'ostéosynthèse ou sur une prothèse l'apport de l'écho-doppler est souvent méconnu alors que le scanner ou l'IRM ne sont pas contributifs. L'abcès des parties molles au contact de l'os montre une coque hypervasculaire alors que la partie centrale n'est pas vascularisée ce qui le différencie d'un

hématome, d'un anévrisme avec son flux caractéristique ou d'un kyste mucoïde avasculaire.

La présence d'un épanchement intra-articulaire avec une synoviale vascularisée et des collections extra articulaires est en faveur d'une infection sur prothèse. Les hématomes vieillissants sont hyperéchogènes sans couronne vasculaire (12).

2.2. Le genou — la jambe

2.2.1. Syndrome de la bandelette ilio-tibiale ou de l'« essuie-glace »

Il correspond à une tendinite de la bandelette ilio-tibiale accompagnée dans 30 % des cas d'une bursite. Située entre la bandelette et le condyle latéral, c'est une collection circonscrite avec une hypervascularisation de l'espace entre la bandelette ilio-tibiale et le processus latéral remontant vers les fibres terminales du muscle vaste latéral, associé à un épaissement hypoéchogène de la bandelette ilio-tibiale au contact.

2.2.2. Le cal fracturaire

Depuis longtemps, des études sur les berges fracturaires ont trouvé des vaisseaux sur le périoste qui disparaissent normalement vers 3 mois en présence d'un cal osseux. L'absence de vaisseaux sur la zone de fracture sans cal osseux à la radiographie à 3 mois est en faveur d'une pseudarthrose, la persistance de vaisseaux est en faveur d'un simple retard de consolidation (13).

2.2.3. Syndrome d'Osgood-Schlatter

C'est une enthésopathie micro-traumatique souvent associée à une tendinopathie distale du tendon rotulien. Elle correspond rarement à une avulsion du bord antérieur de la tubérosité. Elle survient chez les adolescents actifs pratiquant des sports impliquant des extensions brutales comme le football et est bilatérale dans 50 % des cas. Le diagnostic est clinique. Le cliché simple de profil avec un rayonnement de faible énergie centré sur le compartiment antérieur confirme ce diagnostic en montrant une fragmentation du bord antérieur et distal de la tubérosité antérieure, sans anomalie de la physe et sans arrachement tubérositaire. L'échographie retrouve un épaissement souvent bilatéral du tendon rotulien sans remaniement de l'échostructure mais seul le côté douloureux est hypervascularisé avec des vaisseaux visibles dans l'enthèse du tendon rotulien et ascendant dans le tendon et en périphérie (fig. 13). Une étude faite sur 80 tendons rotuliens dont 30 présentaient ce syndrome clinique, objectivait le même aspect Doppler couleur. L'examen échographique élimine le diagnostic d'arrachement ou une atteinte des parties molles. L'information EDC est supérieure à celle fournie par les clichés radiographiques classiques et n'est pas source d'irradiation. Il doit rapidement devenir l'examen de première intention en cas de suspicion clinique.

2.2.4. Le syndrome du Jumper's knee

Il survient chez l'adolescent ou l'adulte jeune avec une prédominance masculine, caractérisé par des douleurs au niveau des insertions proximales et distales du tendon rotulien. L'enthésopathie supérieure du tendon rotulien est la plus fréquente des tendinopathies patellaires (fig. 14). Suite à des sauts répétés, l'atteinte microtraumatique entraîne un élargissement sur le versant profond de la partie centrale du tendon avec une néovascularisation périphérique prédominant aux 2 extrémités. C'est donc une tendinopathie sub-aiguë avec DC positif + survenant à un âge

plus tardif que les maladies de Sinding Larsen Johansson et d'Osgood-Schlatter.

2.2.5. La périostite

À la phase pré-radiologique, on retrouve le décollement périosté et une hypervascularisation.

2.3. La cheville

2.3.1. Le tendon calcanéen (tendon d'Achille)

À l'état physiologique, quelques spots colorés sont visibles dans la graisse de Kager ou en avant de la bourse préachilléenne, mais jamais dans le tendon (fig. 15).

Dans l'étude des tendinoses ou des enthésopathies, le DC permet de s'assurer de l'origine de la douleur : s'il est positif, le tendon peut être légitimement impliqué dans la symptomatologie clinique. Si le Doppler est négatif, il faut rester critique, les altérations échographiques peuvent persister longtemps après la guérison. Parfois les changements de structure sont minimes (fig. 15) ou bilatéraux, un DC positif incriminant alors le tendon hypervascularisé de même qu'autour d'une calcification (fig. 16).

Dans les ruptures, le Doppler couleur permet d'évaluer la présence ou l'absence de tendinopathie préexistante, il peut aider à différencier les zones hématiques organisées avasculaires des zones de tendinopathies habituellement hypervascularisées.

Enfin, le DC est aussi utile dans l'étude des bursites préachilléennes (mécaniques ou inflammatoires) (fig. 17).

L'aspect du tendon achilléen opéré dépend du type de reconstruction, mais il est toujours épaissi avec une perte de l'aspect fibrillaire dans le grand axe du tendon et une hétérogénéité plus ou moins échogène. En post-opératoire immédiat, aucune vascularisation n'est décelée en intra-tendineux, elle apparaît après un mois et s'accroît jusqu'au troisième mois avec un flux diastolique qui augmente progressivement. La vascularisation péri-tendineuse est toujours plus importante et ses modifications sont en parallèle avec la vascularisation intra-tendineuse. Une hypervascularisation péri-tendineuse focale doit attirer l'attention. Il s'agit vraisemblablement d'un facteur de mauvais pronostic comme l'apparition d'un spectre résistif en cas de suture tendineuse ou d'un tendon localement aminci. De même, il existe une bonne corrélation entre la persistance de la douleur et la présence d'une hypervascularisation intratendineuse à 6 mois (14).

2.3.2. Les autres tendons de la cheville

Ils sont entourés d'une gaine synoviale, leur atteinte donnera donc des ténosynovites. Le DC permettra, comme nous l'avons vu au niveau du poignet ou de la main, d'aider à la différenciation des pathologies d'origine mécanique ou inflammatoire.

Dans l'enthésite rhumatismale, les lésions prédominent sur les tendons tibiaux antérieur, postérieur et court fibulaire avec des lésions en 2D ainsi que des hyper signaux nombreux sur l'enthèse au contact de l'os. Dans l'enthésite « mécanique » les lésions et les hyper signaux sont plus en amont (environ 5 mm) vers le corps du tendon respectant la zone d'insertion osseuse (15) (fig. 18).

2.4. Le pied

De nombreuses pathologies touchant le pied peuvent bénéficier du DC. Nous n'en citerons que quelques-unes plus spécifiques :

- les tendinopathies et les ténosynovites qui présentent les mêmes caractéristiques qu'au niveau de la main ;

- l'aponévrosite plantaire qui correspond à un épaississement parfois vascularisé sur la face plantaire de son insertion ;
- la bursite inter métatarsienne (DC+) qui peut être différenciée du névrome de Morton (DC-) ;
- la synovite aiguë de la crise de goutte débutante de l'articulation métatarso-phalangienne du gros orteil qui présente une couronne hypervascularisée sans érosion osseuse (fig. 19).

3. La pathologie tumorale

Elle n'est pas fréquente mais peut toucher l'ensemble du système ostéo-articulaire. Le comportement DC de ces différentes lésions n'est en fait pas encore très bien connu en raison essentiellement de leur rareté et de leur diversité. La plus fréquente est la formation d'origine lipomateuse souvent très infiltrante (épaule, fesse) en échographie 2D paraissant « avasculaire » mais sans signe spécifique de caractérisation tissulaire.

Pour les lésions d'origine musculaire souvent découvertes au cours d'un épisode aigu à type d'hématome sans traumatisme important, il n'y a pas non plus de critère spécifique en dehors du fait de voir la lésion 2D, l'hypervascularisation DC n'ayant pas de valeur décisionnelle évidente actuellement.

L'hémangiome est plus caractéristique car c'est une masse très vascularisée au DC et déformable. Des phlébolithes (zones échogènes avec un cône d'ombre) sont très évocatrices de l'hémangiome.

D'autres tumeurs sont toutefois un peu plus typiques comme le schwannome (fig. 21) à la vascularisation peu dense mais constante situé sur le trajet du nerf ou les tumeurs glomiques (fig. 22) (hyperalgiques) à l'hypervascularisation intense de l'ensemble de la masse. Le neurofibrome est caractérisé par un aspect plus homogène centré sur l'axe du nerf à DC négatif. Pour les tumeurs articulaires comme la synovite villo-nodulaire pigmentaire qui se traduit le plus souvent par une tuméfaction douloureuse du genou, un épaississement synovial nodulaire est retrouvé, il est hypervasculaire (16).

Les métastases osseuses des os longs (fig. 20) montrent en générale au DC une hypervascularisation assez nette.

Conclusion

Le DC est le témoin d'hypervascularisation ou de l'angiogenèse donc de l'inflammation qui évolue au cours du temps. L'abondante littérature surtout dans les journaux rhumatologiques insiste sur les potentialités de cette technique vérifiée dans des études contrôlées pour tester de nouveaux médicaments anti-inflammatoires ou bloquant l'angiogenèse. Bien réglé, le DC est un outil d'orientation diagnostique aux multiples applications.

Références

1. Fiocco U, Ferro F, Cozzi L et al. Contrast medium in power Doppler ultrasound for assessment of synovial vascularity: comparison with arthroscopy. *J Rheumatol* 2003;30(10):2170-6.
2. Wamser G, Bohndorf K, Vollert K, Bucklein W, Schalm J. Power Doppler sonography with and without echo-enhancing contrast agent and contrast-enhanced MRI for the evaluation of rheumatoid arthritis of the shoulder joint: differentiation between synovitis and joint effusion. *Skeletal Radiol* 2003;32(6):351-9.
3. Terslev L, Torp-Pedersen S, Qvistgaard E, von der Recke P, Bliddal H. Doppler ultrasound findings in healthy wrists and finger joints. *Ann Rheum Dis* 2004;63(6):644-8.
4. Rahmouni A, Bargoin R, Herment A, Bargoin N, Vasile N. Color Doppler twinkling artifact in hyperechoic regions. *Radiology* 1996;199(1):269-71.
5. Chiou HJ, Chou YH, Wu JJ, Hsu CC, Huang DY, Chang CY. Evaluation of calcific tendonitis of the rotator cuff: role of color Doppler ultrasonography. *J Ultrasound Med* 2002;21(3):289-95.
6. Chiou HJ, Chou YH, Wu JJ et al. The role of high-resolution ultrasonography in management of calcific tendonitis of the rotator cuff. *Ultrasound Med Biol* 2001;27(6):735-43.
7. Teh J, Stevens K, Williamson L, Leung J, McNally EG. Power Doppler ultrasound of rheumatoid synovitis: quantification of the therapeutic response. *Br J Radiol* 2003;76(912):875-9.
8. Cimmino MA, Parodi M, Silvestri E, Garlaschi G. Correlation between radiographic, echographic and MRI changes and rheumatoid arthritis progression. *Reumatismo* 2004;56(1 Suppl 1):28-40.
9. Filippucci E, Farina A, Carotti M, Salaffi F, Grassi W. Grey scale and power Doppler sonographic changes induced by intra-articular steroid injection treatment. *Ann Rheum Dis* 2004;63(6):740-3.
10. Walther M, Harms H, Krenn V. Correlation of power Doppler sonography with vascularity the synovial tissue of the knee joints in patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 2001;44(2):331-8.
11. Strouse PJ, Di Pietro MA, Adler RS. Pediatric hip effusions: evaluation with power Doppler sonography. *Radiology* 1998;206(3):731-5.
12. Morvan G, Busson J, Wybier M, Mathieu P, Vuillemin-Bodaghi V. L'échographie des arthroplasties de hanche douloureuse. Actualités en échographie de l'appareil locomoteur. Montpellier : Sauramps ; 2004. p. 9-18.
13. Elanga M, Bouche B, Putz P, Dumont N. Ultrasonography and Doppler effect, an original method for the early and dynamic evaluation of bone callus. *Acta Orthop Belg* 1997;63(4):233-9.
14. Brasseur JL, Nicolaon L, Saillant G. Critères de reprises des activités sportives après chirurgie des tendons ; l'apport de l'échographie in J Rodineau et G Saillant : Panorama en médecine sportive. Paris : Masson ; 2002. p. 271-8.
15. Miquel A, Lesavre A, Micelli C, Menu Y. Échographie-Doppler des enthésites. Actualités en échographie de l'appareil locomoteur. Montpellier : Sauramps ; 2004. p. 167-74.
16. Yang PY, Wang CL, Wu CT, Wang TG, Hsieh FJ. Sonography of pigmented villonodular synovitis in the ankle joint. *J Clin Ultrasound* 1998;26(3):166-70.

Suite en page suivante.

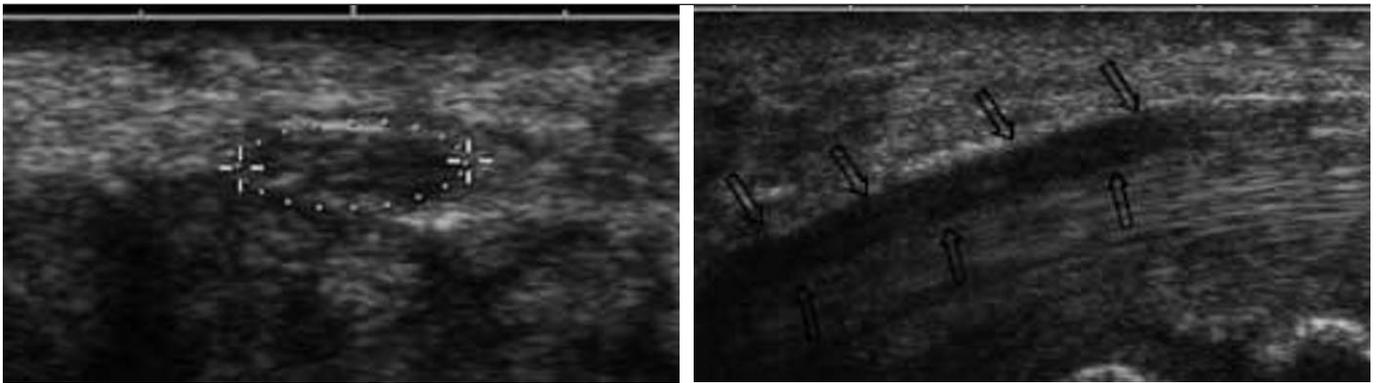
Histoire de la maladie

Le patient présente une symptomatologie clinique faisant évoquer un syndrome du canal carpien droit survenant au décours d'un week-end de motocross, avec à l'examen une tuméfaction de la paume de la main d'apparition apparemment récente. L'interrogatoire relève une chute de cyclomoteur avec plaie de la paume de la main 10 ans auparavant sans problème au décours. L'électromyogramme montre un aspect de syndrome du canal

carpien D et l'échographie révèle la présence de corps étrangers pyramidaux peu réverbérants. Le nerf médian présente un aspect normal (la section du nerf est de 8 mm^2).

Questions

1. Que déduisez vous de ces coupes (fig. 1 à 4) ?
2. Quel est votre diagnostic ?



a|b

Fig. 1 : Nerf médian au niveau du canal carpien en coupe transversale et en coupe longitudinale : aspect normal (la section du nerf est de 8 mm^2).

Fig. 1: *Median nerve inside the carpal tunnel on transverse section and longitudinal section: normal aspect (the section of the nerve is of 8 mm^2).*

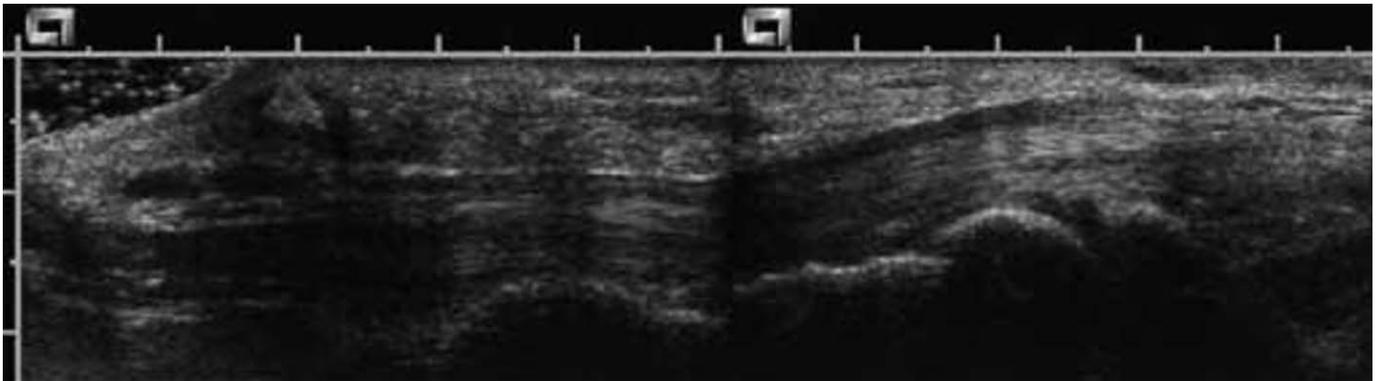


Fig. 2 : Coupe longitudinale de la paume de la main et du canal carpien (corps étranger avec son œdème comprimant le nerf médian).

Fig. 2: *Longitudinal section of the palm of the hand and carpal tunnel (Foreign body with œdema compressing the median nerve).*

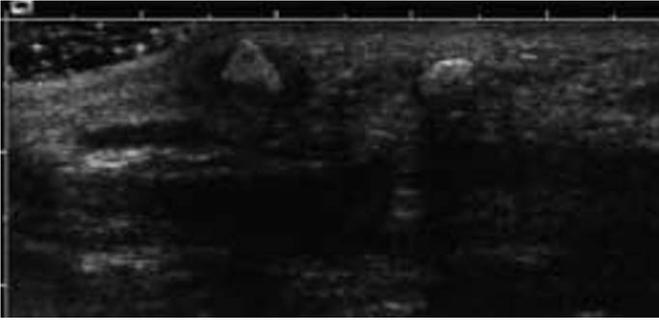


Fig. 3 : Deux corps étrangers avec et sans œdème de 3 à 4 mm.

Fig. 3: *2 foreign bodies, 3 and 4 mm in size, with and without edema.*

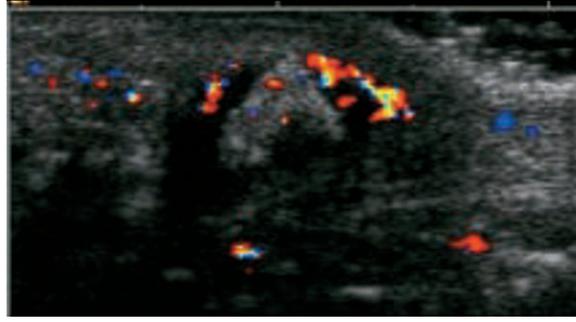


Fig. 4 : Réaction inflammatoire au Doppler couleur autour du corps étranger symptomatique.

Fig. 4: *Inflammatory reaction with DC around the symptomatic foreign body.*

Réponses

1. Il n'est mis en évidence aucun signe échographique en faveur d'un syndrome du canal carpien droit. En regard de la tuméfaction située dans la paume de la main, il existe une masse quadrangulaire hyperéchogène de 5 mm incluse dans une zone arrondie hypoéchogène avec une hypervascularisation au Doppler couleur, cet aspect fait évoquer un corps étranger. Cette masse est située juste au dessus du nerf médian entraînant manifestement une compression à la pression de la masse. À noter d'autres images de possible corps étranger, mais sans aspect hypoéchogène périphérique et sans vascularisation périphérique visible au DC.

2. Compression du nerf médian par un corps étranger ancien et son œdème secondaire dû à l'inflammation provoquée par traumatismes répétés de la poignée des gaz de la moto.

Échographie de la surface du squelette

G Morvan (1), JL Brasseur (2) et N Sans (3)

Abstract

Superficial US of the musculoskeletal system

J Radiol 2005;86:1892-1903

Although bones are not well imaged by US this imaging modality can be helpful in the assessment of bone surface and can be complementary to standard radiographs.

A focal irregularity of the hyperechoic cortical line indicates a fracture, a cortical avulsion, a local bulging of the cortex or a foreign body related or not to previous surgery. Subperiosteal collections either purulent or hemorrhagic are easily detected and can be aspirated under US guidance if an infection is suspected. US also allows diagnosis of epiphyseal fractures when involving the distal epiphysis of the metatarsals, radial head, humeral head (Hill-Sachs fracture) growing cartilages... US examination of joints can detect osteophytes and marginal erosions (allowing early diagnosis of rheumatoid arthritis together with visualization of hyperaemic pannus and joint effusion). Cortical continuity in a location where in normal conditions a joint space is found indicates a synostosis. In children US, by directly visualizing the cartilaginous component of the non ossified bones, allows detection and serial follow-up of many congenital malformation (pes equinus...). US may be obtained in all patients where standard radiographs are not diagnostic because of it is efficient, non-invasive and relatively inexpensive.

Key words: Ultrasound. Cortical surface. Fracture. Malformation.

Les ultrasons (US) qui se réfléchissent sur l'interface entre deux milieux d'impédance acoustique différente, génèrent un écho de retour. Aux fréquences utilisées en échographie diagnostique, si la différence d'impédance entre ces deux milieux est très importante – ce qui est le cas pour l'air où la vitesse de propagation des US est faible, ou pour l'os où elle est élevée – la quasi-totalité des US se réfléchit sur leur interface, rendant le milieu le plus éloigné de la sonde non analysable. L'os constitue donc une barrière infranchissable pour les US utilisés en échographie diagnostique. Les US de très basse fréquence, bien que transmis par l'os – la densitométrie échographique repose sur ce principe – ne sont pas utilisables pour l'imagerie diagnostique de l'appareil moteur. Il est donc nécessaire d'utiliser un gel de couplage pour empêcher toute interposition d'air entre la sonde et la peau et de limiter l'étude échographique aux parties molles situées entre la peau et le squelette et à la surface de ce dernier. Malgré cette importante restriction, l'étude échographique de la surface des os et des articulations peut cependant apporter nombre de renseignements utiles. Le but de ce travail est d'en fournir quelques exemples.

Résumé

Malgré la barrière que représente l'os pour les ultrasons, l'étude échographique de la surface squelettique est riche de renseignements et complémentaire des clichés simples.

Une irrégularité de la ligne hyperéchogène corticale est en faveur d'une fracture, de l'avulsion d'une enthèse, d'une saillie anormale de l'os, de la présence d'un corps étranger, chirurgical ou non. Les collections sous-périostées hématiques ou surtout purulentes (ostéomyélite aiguë) peuvent être précocement diagnostiquées et ponctionnées sous guidage échographique en cas de doute sur leur nature infectieuse. Le diagnostic des fractures épiphysaire est possible : épiphyse distale des métatarsiens, encoches de Malgaigne de la tête humérale, fractures de la tête du radius, décollements épiphysaires... Au niveau des articulations, les ostéophytes sont bien vus en échographie ainsi que les encoches osseuses (élément important en faveur du diagnostic précoce de la polyarthrite rhumatoïde en association avec une hypertrophie synoviale, une hyperhémie synoviale à l'échographie Doppler, un épanchement intra-articulaire...). La continuité de la corticale à l'endroit où devrait normalement exister un espace interosseux constitue un argument de poids pour le diagnostic de synostose. Enfin l'échographie, en visualisant la maquette cartilagineuse des os de l'enfant, facilite le diagnostic et le suivi sans irradiation de différentes malformations congénitales (pieds bots varus équin...). Cette richesse fait que l'échographie, si la radiographie n'amène pas le renseignement recherché, mérite d'être effectuée « dans la foulée » en raison de son efficacité, de son innocuité et de son coût modique.

Mots-clés : Ultrasons. Corticale. Fracture. Malformations.

Anomalies de surface de la corticale osseuse

Si l'on met à part les zones d'enthèses, la corticale osseuse est habituellement lisse et régulière et se présente en échographie comme une ligne hyperéchogène surplombant une zone vide d'échos (fig. 1). Une irrégularité de cette ligne de surface peut traduire l'existence d'une fracture, l'avulsion d'une enthèse, une saillie anormale de l'os (exostose), la présence d'un corps étranger, chirurgical ou non, au contact de l'os...

1. Fractures, fractures de contraintes

Dans un contexte traumatique, l'existence d'une discontinuité brutale de la ligne hyperéchogène corticale est en faveur d'une fracture, en particulier si celle-ci est accompagnée d'un hématome ou d'une suffusion hémorragique (plage hypoéchogène mal limitée) (fig. 2) ou, en cas de fracture intra-synoviale, d'une hémarthrose (fig. 3).

Une fracture corticale passe volontiers inaperçue sur les clichés simples si elle n'est pas déplacée, si le rayon incident ne lui est pas strictement tangent ou si elle est masquée par des superpositions, ce qui explique la méconnaissance de nombreuses petites fractures situées dans les zones anatomiques complexes, comme le carpe

(1) Cabinet d'Imagerie de l'Appareil Moteur, 5, rue Alfred-Bruneau, 75016 Paris.
(2) Cabinet d'Imagerie, 33, rue Paul-Bert, 93370 Montfermeil. (3) Service d'Imagerie Médicale, CHU Purpan, place du Docteur-Baylac, 31059 Toulouse.

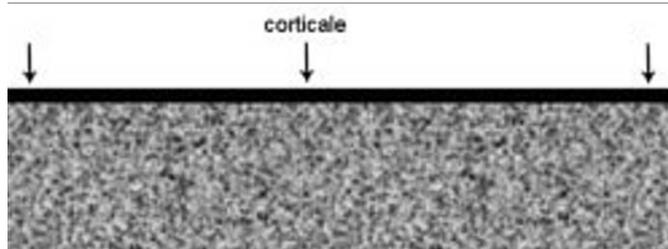
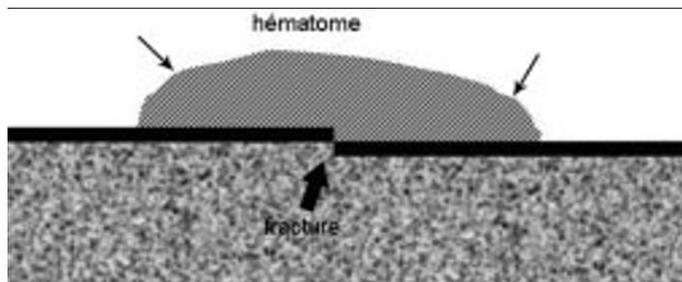


Fig. 1 : Corticale osseuse normale. Schéma.

Fig. 1: Schematic drawing of bone cortex.



a | b
c |

Fig. 2 :

a Fracture corticale avec hématome adjacent. Schéma.
b-c Fractures du processus latéral du talus et du corps du sca-phoïde, se traduisant toutes deux par une marche d'escalier (flèche) avec un hématome adjacent (flèche épaisse) sur la coupe frontale passant par la joue latérale du talus (b) et la face latérale du sca-phoïde (c). Ni l'une ni l'autre de ces deux fractures n'étaient visibles sur les clichés simples initiaux.



Fig. 2:

a Schematic drawing of a fracture of the cortex with adjacent haematoma.
b-c Fracture of the lateral process of the talus and body of the navicular appearing as an interruption of the cortex (arrow) and an adjacent haematoma (thick arrow) on the coronal plane obtained at the level of the lateral process of the talus (b) and lateral aspect of the navicular (c). These fractures were not diagnosed at standard radiographs.

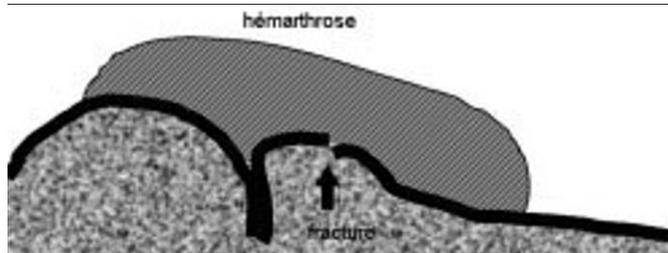


Fig. 3 : Fracture corticale intra-synoviale avec hémarthrose. Schéma. Ce type de fracture peut être observé notamment au niveau du coude et du genou.

Fig. 3: Intraarticular fracture with hemarthrosis. Drawing. These fractures are mainly observed at the elbow and knee.

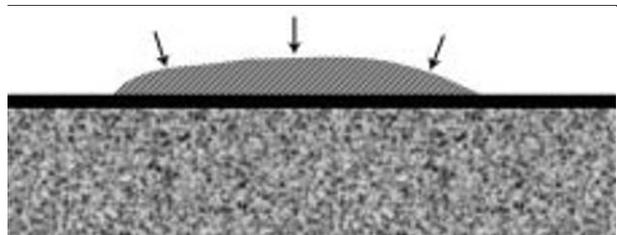
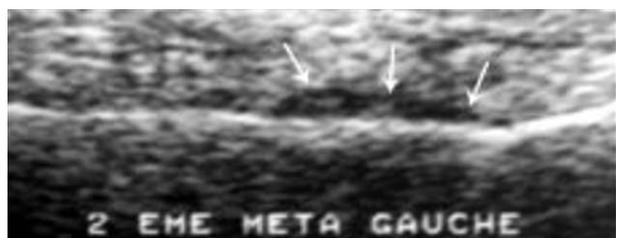


Fig. 4 : Hématome sous-périosté (flèches) en regard d'une fracture de fatigue. La fracture elle-même n'est pas visible.

a Schéma.
b-c Fracture de fatigue du 2^e métatarsien gauche. Douleur depuis 5 jours. Radiographie normale (b). Hématome sous-périosté à l'échographie (c) (flèches). Le cal est devenu visible sur la radiographie sept jours après.

Fig. 4: Subperiosteal haematoma (arrows) in insufficiency fracture. The fracture itself is not evident.

a Drawing.
b-c Insufficiency fracture of the second left metatarsal. Local pain for 5 days. Standard radiographs are normal (b). US shows a subperiosteal haematoma (c) (arrows). Standard radiographs obtained after a week showed the callus.

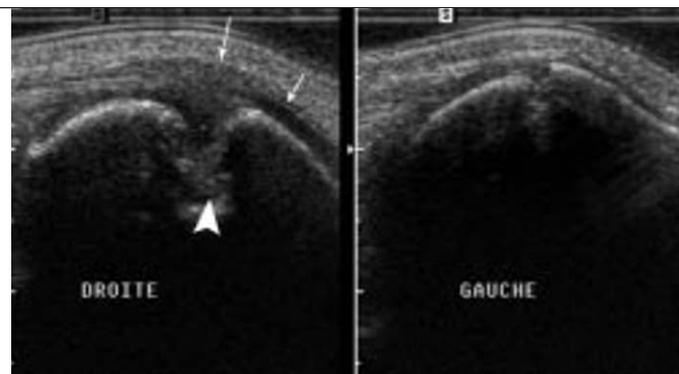
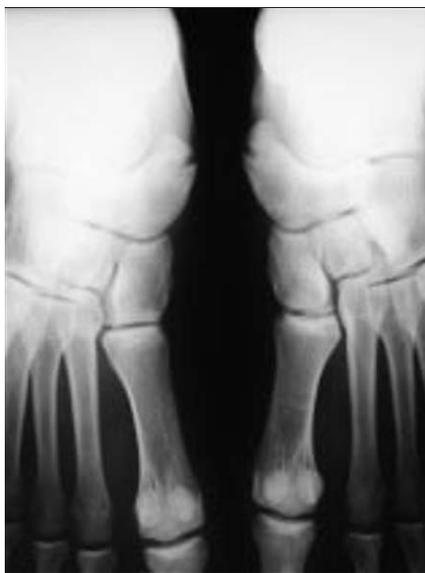


a | b
c |



Fig. 5 : Avulsion de l'enthèse du tendon supra épineux sur le processus majeur de la tête de l'humérus, visible sous forme d'un décroché de la corticale (flèches) sur la coupe sagittale passant par le trochiter. Les clichés simples étaient normaux.

Fig. 5: A sagittal sonogram obtained over the humeral greater tuberosity shows an avulsion of the supraspinatus tendon as an interruption of the cortex (arrows). Standard radiographs were normal.



a|b

Fig. 6 : Douleur médiale du médio-pied droit.

a Radiographie des pieds de face. Os naviculaire accessoire bilatéral.

b Coupe échographique axiale comparative passant par les os naviculaires. L'espace entre les os naviculaires accessoire et principal est plus important à droite (tête de flèche) qu'à gauche, et s'accompagne d'un œdème des parties molles adjacentes (flèches). Il y avait en IRM (non représentée) un hypersignal de l'os naviculaire accessoire droit.

Fig. 6: Pain at the medial aspect of the tarsal region.

a A-P standard radiograph shows an accessory navicular bone.

b Axial sonograms obtained over the navicular bones. The distance between the accessory navicular and the navicular is greater to the right (arrowheads). Note the associated soft tissue edema (arrows). MRI (not shown) demonstrated hyperintensity of the accessory navicular.

ou l'arrière-pied : fractures du scaphoïde (1-3), du triquetrum, du processus latéral du talus (4), des bases des métatarsiens, des côtes... L'échographie centrée sur la zone douloureuse peut monter une anomalie corticale non visible sur les radiographies (5). La fracture sera confirmée par des incidences complémentaires, au besoin centrées sous scopie, ou un examen TDM.

Les fractures de fatigue ne s'accompagnent habituellement pas d'interruption ou de décalage nets de la corticale. Le cal d'une fracture diaphysaire met une dizaine de jours pour devenir visible sur les clichés simples. Pour qu'une fracture en os spongieux (métaphyses, os courts...) donne sur les radiographies l'image caractéristique de bande opaque perpendiculaire aux lignes de forces, il est nécessaire que la sommation des micro-cals trabéculaires devienne suffisamment dense, ce qui demande également 10 à 15 jours. Bien avant ce délai, en fait pratiquement dès le début de la douleur, pour peu que la fracture soit assez superficielle, il existe souvent une réaction oedémato-inflammatoire sous-périostée en regard de la fracture, bien visible en échographie sous forme d'une plage hypoéchogène plaquée contre la cor-

ticale osseuse (fig. 4), qui permet d'affirmer, ou pour le moins d'évoquer fortement, compte tenu du contexte, le diagnostic de fracture de contrainte (6). Bien que ces dernières apparaissent constamment en IRM et fixent à la scintigraphie, le contexte clinique, la chronologie et la sémiologie échographique permettent souvent d'éviter ces examens coûteux, d'appliquer sans perte de temps une thérapeutique adaptée, et, au besoin, de contrôler le diagnostic au bout de 10 à 15 jours par une simple radiographie.

2. Avulsions de l'enthèse d'un tendon ou d'un ligament

Le diagnostic radiologique d'avulsion de l'enthèse d'un tendon ou d'un ligament (par exemple le tendon supra-épineux sur le tubercule majeur de la tête de l'humérus (7), le tendon court fibulaire sur l'extrémité proximale du 5^e métatarsien, les ligaments talo-fibulaire antérieur et calcanéo-fibulaire sur la malléole fibulaire, les ligaments dorsaux du carpe sur la face dorsale du triquetrum...) dépend de l'importance du déplacement du fragment

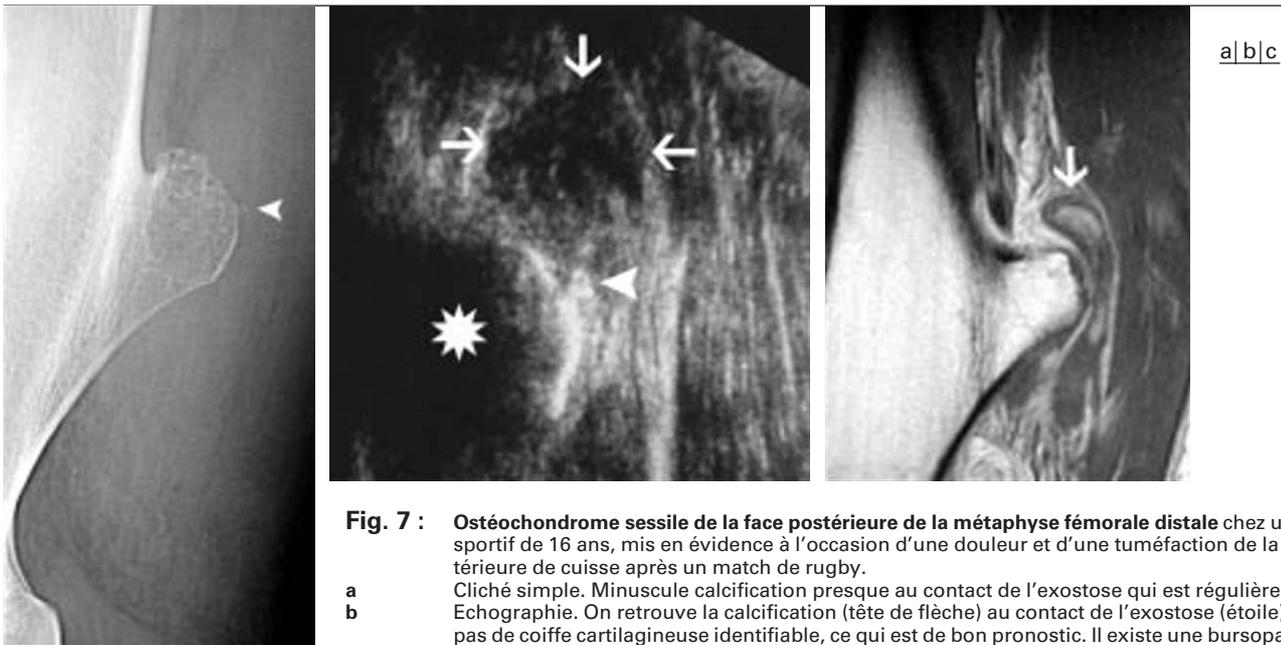


Fig. 7 : Ostéochondrome sessile de la face postérieure de la métaphyse fémorale distale chez un garçon sportif de 16 ans, mis en évidence à l'occasion d'une douleur et d'une tuméfaction de la loge postérieure de cuisse après un match de rugby.

a Cliché simple. Minuscule calcification presque au contact de l'exostose qui est régulière. **b** Echographie. On retrouve la calcification (tête de flèche) au contact de l'exostose (étoile). Il n'y a pas de coiffe cartilagineuse identifiable, ce qui est de bon pronostic. Il existe une bursopathie adjacente (flèches). Il n'y a donc pas d'éléments sémiologiques en faveur d'une dégénérescence sarcomateuse de l'exostose, mais d'une simple bursite mécanique de voisinage.

c Coupe IRM sagittale pondérée en T1 après injection de gadolinium. Confirmation de la bursite (flèche), de l'absence de coiffe cartilagineuse pathologique et plus généralement de signes en faveur d'une dégénérescence maligne de l'exostose. Exérèse chirurgicale. Confirmation anatomo-pathologique.

Fig. 7: *Solitary exostosis of the distal metaphysis (posterior aspect) of the femur in a 16-year-old man presenting with local pain and swelling after a rugby match.*

a *Standard radiograph. Tiny calcification near the regular appearing exostosis.*

b *Ultrasound. Images show the calcification (arrowheads) near the exostosis (star). No cartilaginous cap is detected. Note the adjacent bursitis (arrows). The examination does not show evidence of sarcomatous degeneration but does show frictional bursitis.*

c *Sagittal T1-weighted MRI image after gadolinium injection. Image confirms a bursitis (arrow), absence of cartilaginous cap or other signs for sarcomatous degeneration. Imaging data were confirmed after surgical resection of the exostosis.*

cortico-spongieux arraché et de sa tangence au rayon incident. Ceci explique que l'avulsion trochantérienne du tendon supra-épineux (accidents de ski...) ou celle du tendon court fibulaire sur le tubercule du cinquième métatarsien passent très fréquemment inaperçues, alors qu'elles apparaissent quasi-constamment en échographie sous forme d'un décroché cortical, souvent entouré d'une plage hypoéchogène (fig. 5).

3. Pathologie ossiculaire

Le caractère pathologique d'un ossicule (sésamoïdes divers) ou d'un os surnuméraire (os naviculaire accessoire notamment) peut être méconnu sur les clichés simples dans la mesure où la pathologie ne s'accompagne pas de remaniements structuraux importants. L'échographie, en mettant en évidence une irrégularité de surface de l'os, un écart anormal entre os surnuméraire et os principal ou une infiltration œdémateuse péri-osseuse attire l'attention sur une pathologie ossiculaire. Cette hypothèse diagnostique sera au besoin confirmée par un scanner ou une IRM (fig. 6).

4. Saillies anormales de l'os

Les saillies osseuses anormales peuvent être précisées, voire parfois mises en évidence, par l'échographie : ostéochondrome (8) (étude de l'épaisseur de la coiffe cartilagineuse, recherche de calcifications en son sein, de bursopathies de voisinage...) (fig. 7), exostose sous-unguëale...

5. Saillies anormales de matériel chirurgical ou de corps étrangers

Mise en évidence d'un corps étranger au contact de la surface du squelette (fig. 8), de la saillie anormale d'un matériel chirurgical (vis d'interférence, composante cotyloïdienne d'une prothèse totale de hanche, vis d'ostéosynthèse ou de fixation d'une prothèse, ciment acrylique de fixation d'une prothèse...) (9) (fig. 9). L'échographie montre non seulement la saillie anormale du matériel, qui peut passer inaperçue si le rayon directeur ne lui est pas tangent, si le matériel est radio-transparent (vis résorbables) ou s'il est masqué par d'autres structures opaques, mais également sa répercussion sur les structures molles avoisinantes (bursite, conflit tendineux...) (10, 11).

Anomalies du périoste

Les collections sous-périostées sont précocement et facilement visibles en échographie. Pour qu'elles deviennent visibles sur les clichés simples, il faut non seulement que l'os périosté néo-formé devienne suffisamment dense, mais encore que le rayon lui soit tangent. Les collections hématiques (hématome accompagnant une fracture, de fatigue ou non) (fig. 4) ou surtout purulentes (ostéomyélite aiguë, notamment de l'enfant)... peuvent ainsi être précocement diagnostiquées et ponctionnées sous guidage échographique en cas de doute sur leur nature infectieuse (12, 13).

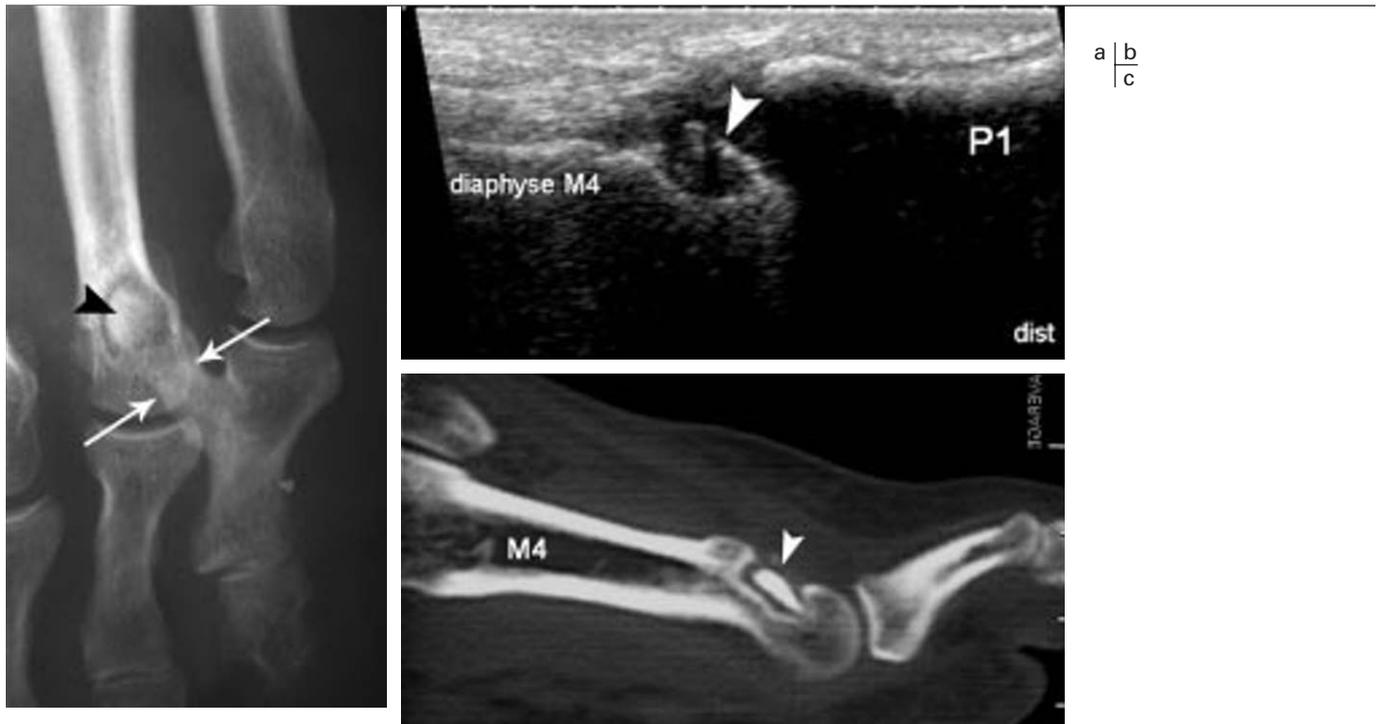


Fig. 8 : Fragment de verre passé inaperçu enfoui apparemment depuis longtemps dans la corticale dorsale du quatrième métatarsien.
a Cliché simple. Opacité arrondie se projetant sur la jonction méta-épiphyse distale de M4 (tête de flèches). Exostose en tourelle réactionnelle de la première phalange du 5^e orteil (flèche).
b Coupe échographique dans l'axe de M4. Structure hyperéchogène allongée au sein d'une lacune de la corticale dorsale de du quatrième métatarsien, entourée d'une zone hypoéchogène (tête de flèche).
c Coupe TDM correspondante, confirmant la présence d'un fragment de verre radio-opaque (tête de flèche) au sein d'une encoche bien corticalisée. Confirmation chirurgicale.

Fig. 8 : *A glass fragment located near the cortex of the fourth metatarsal. Chronic changes.*
a *Standard radiograph. Oval opacity projecting over the meta-epiphysis of the M4 (arrowheads). Reactive exostosis of the first phalanx of the fifth toe (arrow).*
b *Sonogram obtained over the fourth metatarsal. Hyperechoic structure located inside a cortex scalloping of the fourth metatarsal surrounded by a hypoechoic halo (arrowheads).*
c *Corresponding CT image confirms the radio-opaque glass fragment (arrowheads) inside the cortical scalloping. Surgical confirmation.*

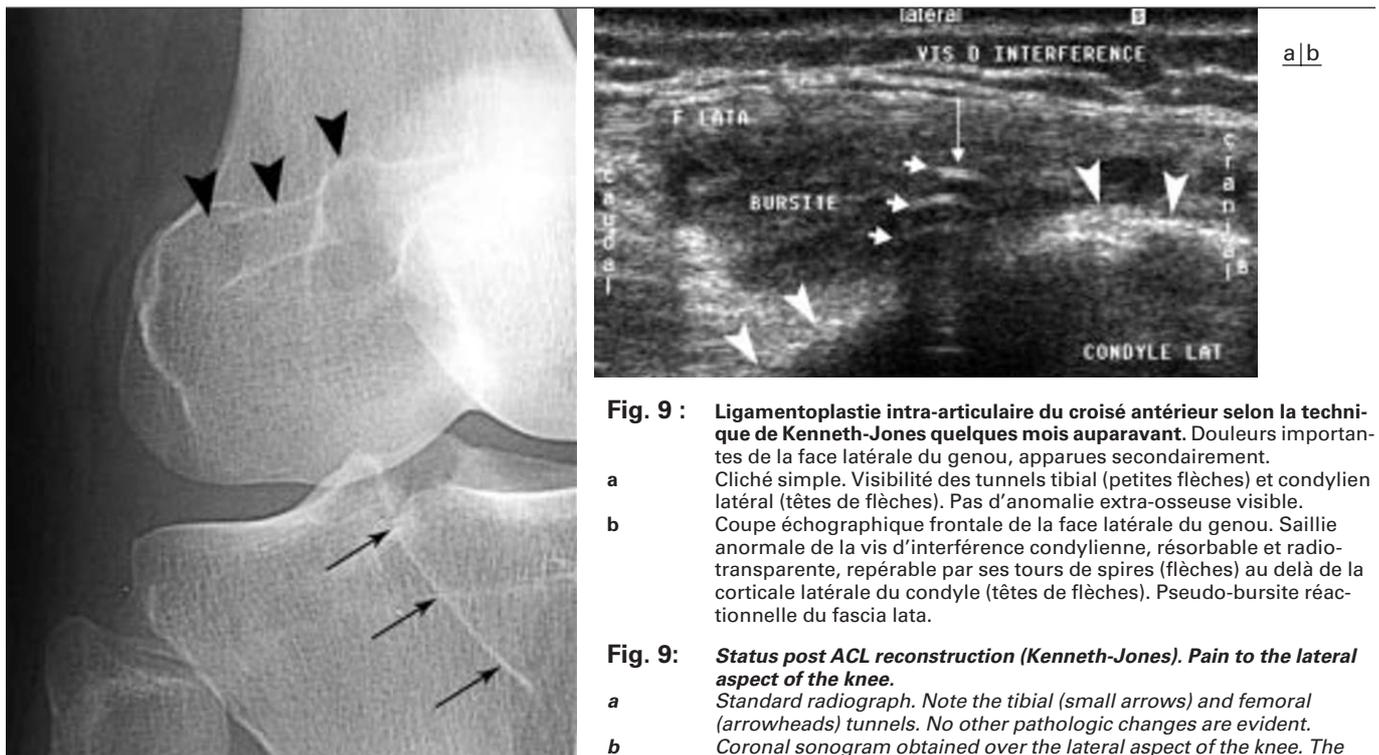


Fig. 9 : Ligamentoplastie intra-articulaire du croisé antérieur selon la technique de Kenneth-Jones quelques mois auparavant. Douleurs importantes de la face latérale du genou, apparues secondairement.
a Cliché simple. Visibilité des tunnels tibial (petites flèches) et condyliens latéraux (têtes de flèches). Pas d'anomalie extra-osseuse visible.
b Coupe échographique frontale de la face latérale du genou. Saillie anormale de la vis d'interférence condylienne, résorbable et radio-transparente, repérable par ses tours de spires (flèches) au delà de la corticale latérale du condyle (têtes de flèches). Pseudo-bursite réactionnelle du fascia lata.

Fig. 9 : *Status post ACL reconstruction (Kenneth-Jones). Pain to the lateral aspect of the knee.*
a *Standard radiograph. Note the tibial (small arrows) and femoral (arrowheads) tunnels. No other pathologic changes are evident.*
b *Coronal sonogram obtained over the lateral aspect of the knee. The radio transparent condylar screw (arrows) is seen protruding outside the cortex (arrowheads). Note the reactive fascia lata bursitis.*

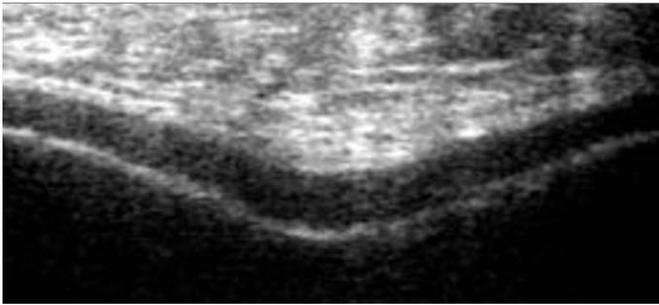


Fig. 10 : Coupe échographique axiale de la trochlée fémorale. Visibilité du cartilage de revêtement.

Fig. 10: *Transverse sonogram of the femoral trochlea shows the hyaline cartilage.*



Fig. 11 : Fracture par insuffisance osseuse de l'épiphyse distale du troisième métatarsien.

- a-c En un an, l'épiphyse de M3 (étoile) s'est condensée, est devenue plus irrégulière et l'interligne métatarso-phalangien s'est pincé.
- d La coupe échographique plantaire sagittale de la tête de M3 montre une déformation majeure de la tête de M3 (flèches), normalement régulièrement convexe, dont le tiers plantaire a disparu.

Fig. 11: *Insufficiency fracture of the third metatarsal.*
 a-c Over a year the epiphysis of the third metatarsal (star) became sclerotic and irregular. The joint line appears narrowed.
 d The plantar sagittal sonogram shows marked changes of the metatarsal head (arrows).

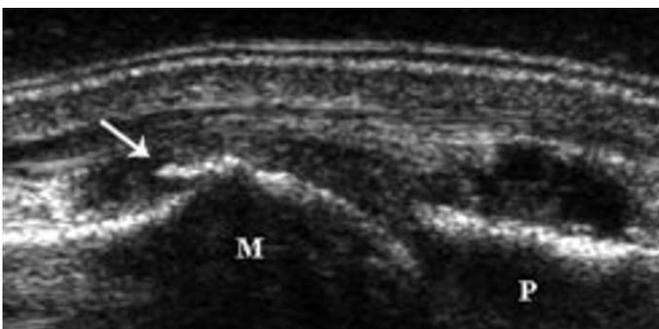


Fig. 12 : Coupe sagittale dorsale d'une articulation métatarso-phalangienne. Ostéophyte (flèche).

Fig. 12: *Dorsal sagittal sonogram of a metatarso-phalangeal joint shows an osteophyte (arrow).*

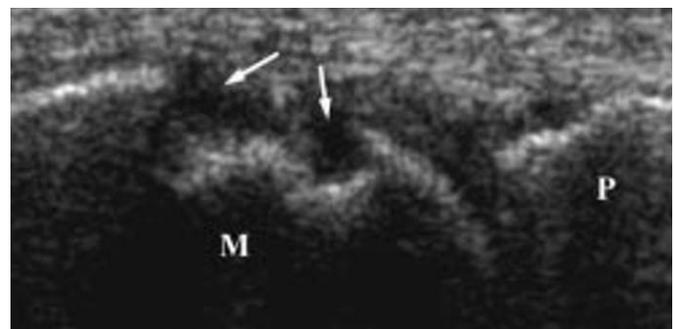


Fig. 13 : Coupe sagittale dorsale d'une articulation métatarso-phalangienne. Encoches osseuses à fond irrégulier dans le cadre d'une polyarthrite rhumatoïde (document Dr Michel Cohen).

Fig. 13: *Dorsal sagittal sonogram of a metatarso-phalangeal joint shows some marginal erosions in a RA patient (Courtesy of Dr Michel Cohen).*

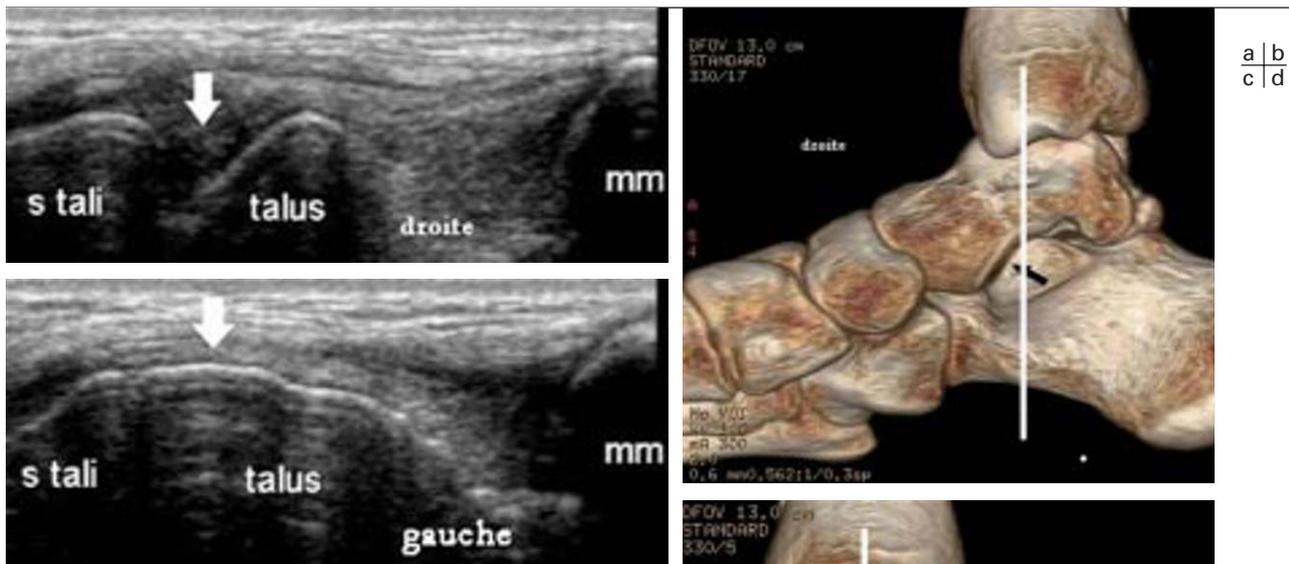


Fig. 14 : Synostose talocalcanéenne gauche.

- a Coupe échographique frontale passant par la face médiale de la cheville droite, normale. Mise en évidence d'une interruption physiologique de la ligne corticale entre le sustentaculum tali et le talus (flèche).
 b Correspondance TDM en 3D.
 c Même coupe à gauche. Continuité de la ligne corticale (flèche), sans défaut : synostose talo-calcanéenne.
 d Correspondance TDM en 3D.

Fig. 14: Talo-calcaneal synostosis.

- a Coronal sonogram obtained on the medial aspect of the normal right ankle shows an interruption of the cortical line between the sustentaculum tali and the talus (arrow).
 b Corresponding 3D CT.
 c Sonogram corresponding to (a) obtained over the left ankle shows a continuous cortical line confirming a talo-calcaneal synostosis.
 d Corresponding 3D CT.

Anomalies de surface des articulations

Bien que, dans des conditions anatomiques favorables, l'échographie puisse mettre en évidence le revêtement cartilagineux épiphysaire sous forme d'une bande hypoéchogène (fig. 10), cette technique ne permet pas actuellement une analyse suffisamment détaillée pour être considérée comme un moyen d'étude fiable du cartilage.

Il est parfois possible en échographie, lorsque l'anatomie s'y prête, d'objectiver une anomalie des contours épiphysaires, difficile à affirmer sur les clichés simples. Le diagnostic des fractures épiphysaires distales des métatarsiens (fig. 11), des encoches de Malgaigne de la tête humérale, des fractures de la tête du radius en sont des exemples. Ceci implique cependant de pouvoir aborder échographiquement l'épiphyse sur toute sa surface en mobilisant l'articulation, ce qui n'est pas toujours anatomiquement possible. Les ostéophytes sont bien vus en échographie (fig. 12), de même que les encoches synoviales (fig. 13), s'ils siègent dans une zone abordable par les ultrasons. En mettant précocement en évidence ces anomalies, qui n'apparaissent sur les clichés simples que si le rayon incident leur est strictement tangent, ce qui est loin d'être toujours le cas, l'échographie peut apporter un critère sémiologique déterminant pour la caractérisation d'une arthropathie atypique. L'échographie s'est ainsi affirmée comme étant un examen performant dans le cadre du diagnostic précoce de la poly-

arthrite rhumatoïde (14, 15), mais également des spondylarthropathies en explorant les enthèses (16). Des signes échographiques associés : hypertrophie synoviale, hyperhémie synoviale à l'échographie Doppler, épanchement intra-articulaire... peuvent contribuer à étayer le diagnostic.

Enfin, la continuité de la corticale à l'endroit où devrait normalement exister un espace interosseux constitue un argument de poids pour le diagnostic de synostose. Le diagnostic de synostose talo-naviculaire (fig. 14), très souvent méconnue sur les clichés simples, en est un bon exemple, surtout chez l'enfant dont le squelette est encore immature.

Squelette immature

1. Maquette cartilagineuse

Les os de l'enfant, encore cartilagineux ou ossifiés seulement en partie, sont mal analysables sur les clichés simples. L'échographie, capable de visualiser la maquette cartilagineuse squelettique, notamment des extrémités, où les os apparaissent comme des plages hypoéchogènes régulières, permet de juger de la taille, de la forme et de la position respective des os. Elle peut faciliter le diagnostic et le suivi, sans irradiation, de différentes malformations congénitales (pieds bots varus équin...) (fig. 15).

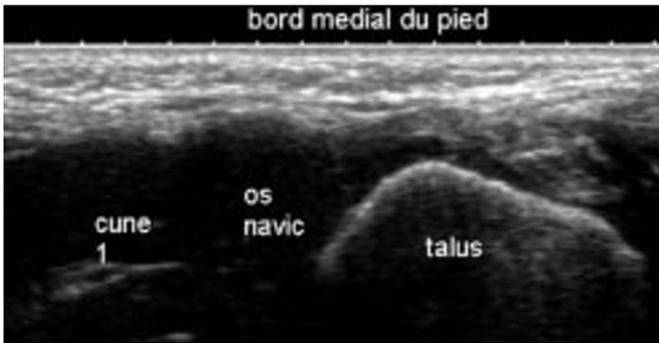


Fig. 15 : Petite fille de 1 an. Pied bot talus équien en cours de traitement orthopédique. Coupe échographique axiale du bord médial du pied. Bon alignement du talus, de l'os naviculaire et du premier cunéiforme, encore à l'état de maquette cartilagineuse hypoéchogène, témoignant de l'action efficace du traitement. L'évolution a été suivie par des échographies comparatives itératives.

Fig. 15: 1-year-old child with known pes equinus under orthopaedic treatment. Transverse sonogram obtained over the medial aspect of the foot. Correct alignment of the talus, navicular and first cuneiform confirming efficacy of treatment. Follow-up was performed by serial sonograms.

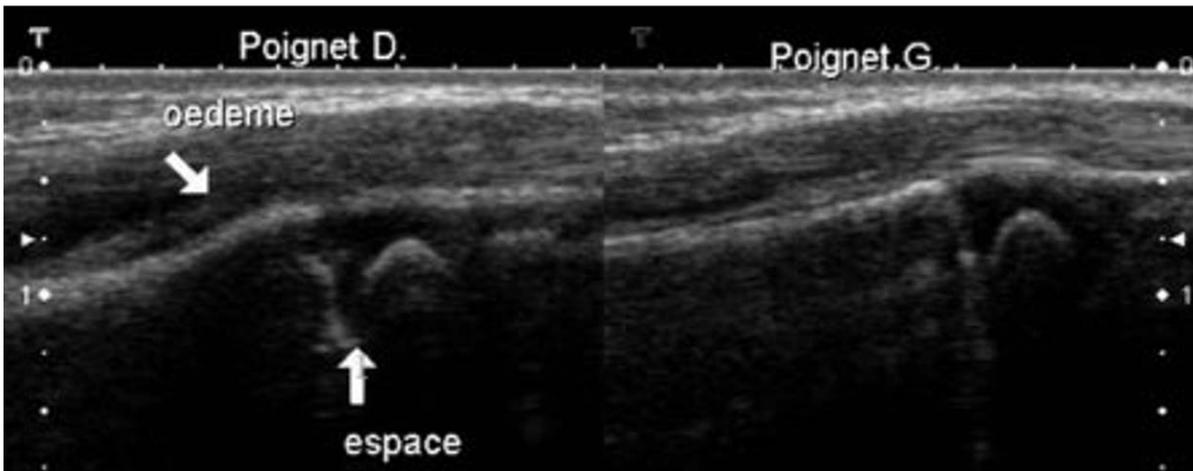


Fig. 16 : Décollement épiphysaire distal du radius. Garçon de 7 ans. Radiographies peu démonstratives. Les coupes échographiques comparatives des extrémités distales des radius mettent en évidence, à droite, une physe un peu plus large qu'à gauche, et un œdème des parties molles adjacentes : décollement épiphysaire distale du radius droit.

Fig. 16: Lesion of the growing cartilage of the radius in a 7-year-old child. Standard radiographs were not diagnostic. Comparative sonograms of the distal radius show slight widening of the cartilage and associated soft tissue edema at right.

2. Étude de la physe (décollements, glissements épiphysaires)

Une échographie comparative, centrée sur la zone douloureuse, est susceptible de visualiser une augmentation d'épaisseur de la physe, un œdème des parties molles adjacentes, voire un décollement épiphysaire (17-19) (fig. 16) non évident sur les clichés simples.

En conclusion

À nos yeux, malgré la barrière que représente l'os pour les ultrasons, l'étude échographique de la surface squelettique est si riche de renseignements et si complémentaire des clichés simples, qu'elle mérite largement, si la radiographie n'amène pas le renseignement recherché, d'être effectuée « dans la foulée » en raison de son efficacité, de son innocuité et de son coût modique.

Références

1. Hauger O, Bonnefoy O, Moinard M, Bersani D, Diard F. Occult fractures of the waist of the scaphoid. Early diagnosis by high-spatial-resolution sonography. *AJR* 2002;78:1239-45.

2. Silbermann O. Fracture du scaphoïde: formes récentes et complications. Imagerie et considérations thérapeutiques. In : Godefroy D, et al. Imagerie du poignet et de la main, Montpellier, France : Sauramps Médical; 2001:121-9.
3. Senall JA, Failla JM, Bouffard JA, Van Holsbeeck M. Ultrasound for the early diagnosis of clinically suspected scaphoid fracture. *J Hand Surg [Am]* 2004;29:400-5.
4. Copercini M, Bonvin F, Martinoli C, Bianchi S. Sonographic diagnosis of talar lateral process fracture. *J Ultrasound Med* 2003;22: 635-40.
5. Marshburn TH, Legome E, Sargsyan A, Li SM, Noble VA, Dulchavsky SA, Sims C, Robinson D. Goal-directed ultrasound in the detection of long-bone fractures. *J Trauma* 2004;57:329-32.
6. Bodner G, Stockl B, Fierlinger A, Schocke M, Bernathova M. Sonographic findings in stress fractures of the lower limb: preliminary findings. *Eur Radiol* 2005;15:356-9.
7. Bresseur JL. Apport diagnostique de l'échographie dans la pathologie de la coiffe des rotateurs. In « L'épaule. Une approche multidisciplinaire », sous la direction de Blum A, Tavernier Th, Bresseur JL, Noel E, Walch G, Cotten A, Bard H, Getroa-Gel opus XXXII, Sauramps Médical, Montpellier; 2005:149-70.
8. Malghem J, Vande Berg B, Noel H, Maldague B. Benign osteochondromas and exostotic chondrosarcomas: evaluation of cartilage cap thickness by ultrasound. *Skeletal Radiol* 1992;21: 33-7.

9. Grechenig W, Peicha G, Clement HG, Preidler KW. Ultrasonographic localization of a displaced screw in the carpal canal. A case report. *Acta Radiol* 1999;40:625-7.
10. Gibbon WW, Long G, Barron DA, O'connor PJ. Complications of orthopedic implants: sonographic evaluation. *J Clin Ultrasound* 2002;30:288-99.
11. Morvan G, Busson J, Wybier M, Mathieu P, Vuillemin-Bodaghi V. L'échographie des arthroplasties de hanche douloureuses. In « Actualités en échographie de l'appareil locomoteur », sous la direction de Brasseur JI, Dion E, Zeitoun-Eiss D; 2004:9-14
12. Santiago Restrepo C, Gimenez CR, Mccarthy K. Imaging of osteomyelitis and musculoskeletal soft tissue infections: current concepts. *Rheum Dis Clin North Am* 2003;29:89-109.
13. Mnif J, Khannous M, Keskes H, Louati N, Damak J, Kechaou MS. L'échographie dans l'approche diagnostique des arthrites septiques. *Rev Chir Orthop* 1997;83:148-55.
14. Magnani M, Salizzoni E, Mule R, Fusconi M, Meliconi R, Galletti S. Ultrasonography detection of early bone erosions in the metacarpophalangeal joints of patients with rheumatoid arthritis. *Clin Exp Rheumatol* 2004;22:743-8.
15. Szkudlarek M, Court-Payen M, Jacobsen S, Klarlund M, Thomsen HS, Ostergaard M. Interobserver agreement in ultrasonography of the finger and toe joints in rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 2003;48:955-62.
16. Falletti P, Frediani B, Fioravanti A, Acciai C, Baldi F, Filippou G, Marcolongo R. Sonographic study of calcaneal entheses in erosive osteoarthritis, nodal osteoarthritis, rheumatoid arthritis and psoriatic arthritis. *Scand J Rheumatol* 2003;32:229-34.
17. Sferopoulos NK. Fracture separation of the medial clavicular epiphysis: ultrasonography findings. *Arch Orthop Trauma Surg* 2003;123:367-9.
18. Rose RE, Dixon R, Bullock R. Chondro-epiphyseal separation of the distal humerus in the newborn. A case report and review of the literature. *West Indian Med J* 2002;51:268-71.
19. Davidson RS, Markowitz RI, Dormans J, Drummond DS. Ultrasonographic evaluation of the elbow in infants and young children after suspected trauma. *J Bone Joint Surg [Am]* 1994;76:1804-13.

Suite en page suivante.

Histoire de la maladie

Patient opéré 4 mois auparavant d'une fracture déplacée du radius gauche, réduite puis ostéosynthésée à l'aide d'une plaque vissée palmaire (*fig. 1*). Dans les suites, douleurs et apparition d'un déficit d'extension du pouce gauche, devenant rapidement complet (*fig. 2*).

Question

– Quel est votre diagnostic ?



a|b

Fig. 1 : Poignet gauche.
a Cliché de face
b et de profil.

Fig. 1: *Left wrist.*
a Frontal
b and lateral radio-
graphs.



Fig. 2 : Absence d'extension du pouce gauche (flèche).

Fig. 2: *Lack of left thumb extension (arrow).*

Diagnostic

Rupture du tendon long extenseur du pouce par l'extrémité ectopique d'une vis d'ostéosynthèse fixant une plaque d'ostéosynthèse pour fracture du radius.

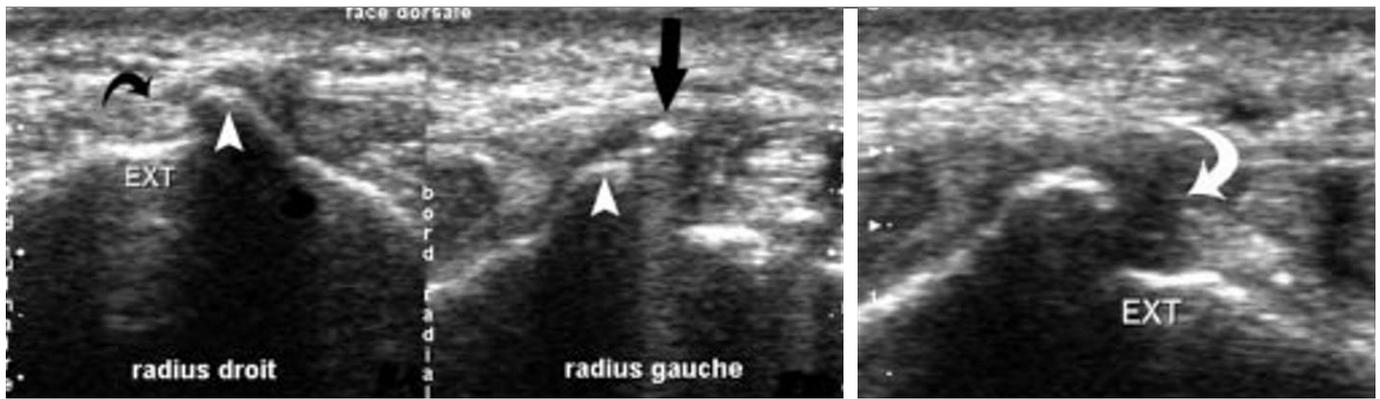
Réintervention. Confirmation opératoire.

Réponse

Le cliché de profil (*fig. 1b*) montre que au moins l'une des deux vis distales de fixation de la plaque dépasse la corticale dorsale du

radius. Il est normal que les dernières spires d'une vis d'ostéosynthèse mordent la corticale opposée de l'os, afin de lui procurer un ancrage solide, mais l'extrémité de la vis ne doit pas dépasser notablement la corticale. Sur la radiographie de face (*fig. 1a*), ces deux vis se situent à peu près au centre de la métaphyse radiale, l'une un peu médialement, l'autre un peu latéralement, exactement sur le trajet du tendon long extenseur du pouce.

Il y a donc une suspicion de rupture de ce tendon sur la pointe de la vis. La manière la plus simple et la plus efficace de le prouver est une coupe échographique comparative de la face dorsale des deux métaphyses radiale Celle-ci prouve (*fig. 3*) que la vis transfixie le tendon. Une coupe un peu plus distale (*fig. 4*) montre la disparition du tendon le long de la face latérale du tubercule de Lister.



a|b

Fig. 3 :

- a Échographie comparative de la face dorsale des métaphyses radiales. On repère les tubercules des Lister (têtes de flèches). À droite, le long du bord radial du tubercule, on aperçoit la coupe ovoïde hyperéchogène normale du tendon long extenseur du pouce (flèche courbe noire). À gauche, en ses lieu et place, une zone hyperéchogène (flèche noire) avec un net renforcement postérieur des échos : l'extrémité d'une vis qui transfixie le tendon.
- b Même coupe gauche, un peu plus distale. Le tendon long extenseur du pouce (flèche courbe blanche) a disparu. Il est donc rompu et rétracté. On le retrouvait effectivement un peu plus loin dans le poignet, à hauteur de la face dorsale du scaphoïde.

Fig. 3:

- a *Bilateral sonographic evaluation of the radial metaphyses. The tubercle of Lister is identified (arrowheads). On the right, along the radial margin of the tubercle, the normal oval shaped echogenic extensor pollicis longus tendon is identified (black curved arrow). On the left, an echogenic structure with increased through transmission is identified (black arrow): the distal end of a screw transfixing the tendon.*
- b *Left sided image, slightly more distally. The extensor pollicis longus tendon is no longer identified (white curved arrow), consistent with retracted tear. The retracted edge is identified at the wrist, at the level of the scaphoid.*



a|b

Fig. 4 : Autre patient. Déficit complet d'extension du pouce gauche. Dans les antécédents, deux fractures du radius mal réduites.

- a Vue tomodensitométrique 3D rendu de volume de la face dorsale du poignet. Important cal vicieux dorsal du radius (flèche noire) qui saille irrégulièrement.
- b Même vue à fenêtre des tendons extenseurs. On voit ceux-ci passer en pont sur le chevalet

irrégulier du cal. Les tendons long extenseur (flèches noires droites) et court extenseur (flèches noires sinuées) du pouce sont rompus, usés par leur frottement sur la saillie osseuse.

Fig. 4: *Another patient with past history of two previous sub-optimally reduced radial fractures presenting with absence of left thumb extension.*

- a *3D volume rendered CT image of the dorsal surface of the wrist showing a large irregular and protruding callus (black arrow).*
- b *Same image with soft tissue window setting. Tendons are demonstrated curved over the callus. The extensor pollicis longus (straight black arrows) and brevis (wavy black arrows) tendons are disrupted secondary to chronic friction over the callus.*



Fig. 5 : Même patient. Coupe échographique dorsale de la métaphyse distale du radius gauche. Irrégularité de la surface osseuse dorsale avec saillie du tubercule de Lister et de la région voisine. Disparition du tendon long fléchisseur du pouce (flèche blanche courbe). Le tendon court fléchisseur avait également disparu.

Fig. 5: *Same patient. US image along the dorsum of the distal radial metaphysis. Irregular bone surface with prominence of Lister's tubercle and adjacent bone surface. The extensor pollicis longus tendon is not identified (curved white arrow). The extensor pollicis brevis was also disrupted.*

Discussion

Les tendons dorsaux du poignet peuvent être dilacérés par la saillie anormale d'un cal vicieux post-fracturaire (*fig. 5*), mais également par une saillie pathologique de matériel chirurgical, notamment une vis d'ostéosynthèse (1). L'échographie, qui montre de façon simple et précise la surface osseuse dorsale du radius, immédiatement sous cutanée, ainsi que les tendons extenseurs des doigts et du carpe, permet de faire simplement et rapidement le diagnostic de lésion tendineuse et d'en suspecter, voire affirmer l'origine.

Conclusion

L'échographie est apte à mettre en évidence la saillie anormale d'un matériel chirurgical, ou d'un cal osseux, et d'en apprécier les conséquences sur les tissus mous voisins.

Référence

1. Failla JM, Koniuch MP, Moed BR. Extensor pollicis longus rupture at the tip of a prominent fixation screw: report of three cases. *J Hand Surg [Am]* 1993;18:648-51.

Échographie dynamique

JL Brasseur (1) G Morvan (2) et B Godoc (3)

Abstract

Dynamic ultrasonography
J Radiol 2004;85:1904-10

The ability to perform dynamic evaluation is a great advantage of ultrasound especially for musculoskeletal evaluation. Different manoeuvres are routinely used. The importance of the mobility of a structure or an articulation, but also the grade of compression of the lesion, can provide useful diagnostic information. For ligaments, the tension of each band is important and mobilisation is often able to depict some conflicts between the tendons and others structures. Muscle contraction is also an important element for making the diagnosis and, similar to a Valsalva manoeuvre for the diagnosis of a hernia. Interventional procedures are also facilitated by this dynamic evaluation. On the other hand, this great advantage requires the presence of a physician during the examination.

Key words: Ultrasonography. Musculoskeletal. Muscle. Tendon. Ligament.

Résumé

Le potentiel dynamique de l'échographie constitue un avantage important, en particulier lors de l'étude de l'appareil locomoteur où il doit être utilisé de manière quasi systématique. Il permet d'apprécier la compressibilité d'une lésion ou le mouvement d'un organe ou d'une articulation, mais aussi d'étudier le jeu de différentes structures anatomiques. La mobilisation et la mise sous tension facilitent l'étude des ligaments, mais aussi des tendons ; l'épreuve de contraction améliore les performances de l'étude musculaire ; la manœuvre de Valsalva est indispensable à la recherche d'une hernie. L'échographie interventionnelle en bénéficie systématiquement. L'exploitation de cet atout implique cependant la présence d'un médecin lors de la réalisation de l'examen et rend plus difficile la transmission de l'information au clinicien.

Mots-clés : Échographie. Ponction. Muscle. Tendon et gaine. Ligament.

Depuis le début de son utilisation, la spécificité dynamique de l'échographie a été perçue comme l'un des grands avantages de la technique ; le fait de voir la tête du bébé bouger sous la sonde était source d'émerveillement pour les parents, mais surtout de grand intérêt pour le praticien qui soupçonnait dans cet aspect dynamique un potentiel diagnostique nouveau. Cet atout a été à l'origine, du moins en Europe, d'une pratique purement médicale de la discipline. Les termes d'échographie dynamique, d'examen en temps réel, d'échoscopie... traduisent bien l'importance de cette spécificité. Cet aspect dynamique a aussi son revers : la difficulté pour l'imageur de faire passer au clinicien le message échographique, quelques clichés statiques montrant difficilement les différents éléments analysés et les pathologies découvertes.

Intérêts « généraux » de la pratique échoscopique

Toute échographie peut visualiser le mouvement de 2 structures les unes par rapport aux autres : celui de 2 muscles, d'un tendon dans sa gaine, d'un organe digestif par rapport à la paroi abdominale... Cette mobilité est utilisée en permanence, parfois inconsciemment, par l'échographiste.

Le fait de glisser son doigt sous la sonde pour repérer une structure, geste fréquent en pathologie de l'appareil locomoteur, per-

met de prouver la relation entre l'aspect échographique et l'élément palpé, mais aussi d'apprécier le rapport entre une image et la douleur du patient ; la sonde échographique devenant en quelque sorte le prolongement de la main de l'examineur.

Cette palpation échoscopique peut apprécier la mobilité d'une structure (nodule intra-articulaire par exemple) ou par le biais d'une compression relative, sa déformation (lipome, collection...). De même, la manœuvre de Valsalva est indispensable devant toute suspicion de lésion vasculaire (angiome par exemple) et certaines déformations s'apprécient souvent mieux lors de la mise en station.

Cette spécificité dynamique a également facilité le développement des ponctions sous échographie permettant, en temps réel, de voir progresser l'aiguille vers la zone à biopsier ou la collection à évacuer (1, 2).

Intérêts particuliers en fonction de la structure étudiée

1. Le tendon

Plusieurs manœuvres peuvent être effectuées en cours d'examen pour optimiser l'analyse tendineuse.

1.1. Mise sous tension et relâchement du tendon

L'étude d'un tendon en position de tension permet d'obtenir des berges parfaitement parallèles, bien visibles, ce qui différencie le tendon de son paratendon ou de sa gaine et montre mieux sa structure fibrillaire ; en revanche, dans cette position, les fissurations longitudinales sont collabées ce qui rend indispensable une seconde étude sur un tendon détendu.

(1) Service de Radiologie centrale, Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, 47-83, boulevard de l'hôpital, 75013 Paris. (2) Cabinet de Radiologie de l'appareil moteur, 5, rue A. Bruneau, 75016 Paris. (3) Centre de Radiologie, 3, rue des Huguenots, 51200 Epernay.
Correspondance : JL Brasseur
E-mail : jean-louis.brasseur@psl.ap-hop-paris.fr

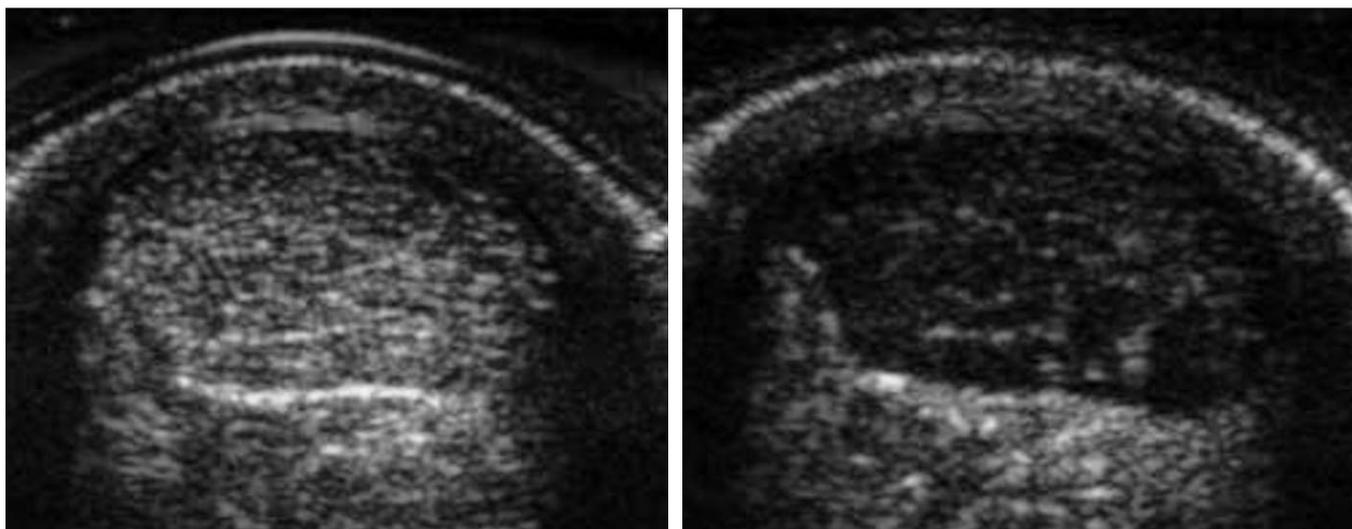


Fig. 1 : Tendon d'Achille
 a Aspect normal du tendon d'Achille dans le plan axial
 b Même tendon avec discrète angulation de la sonde ; artefact d'anisotropie : aspect hypoéchogène avec parfaite délimitation des contours tendineux dans cet environnement hypoéchogène.

Fig. 1: *Achille's tendon*
 a Axial view of a normal Achilles tendon.
 b Same tendon with minimal angulation of the probe; anisotropy artefact: hypoechoic tendon but perfect delineation in a diffusely hyperechoic area.



Fig. 2 : Lors de la manœuvre de flexion plantaire, les 2 berges de la rupture du tendon d'Achille sont au contact : pronostic favorable.

Fig. 2: *During plantar flexion, there is no gap between the 2 parts of the ruptured Achilles tendon: good prognosis.*



Fig. 3 : Déformation du tendon fléchisseur lors de la flexion au passage sous la poulie A1.

Fig. 3: *During flexion of the thumb, there is deformity of the flexor tendon during its passage under the first pulley.*

1.2. Mouvements d'angulation de la sonde

Ils sont effectués dans le plan longitudinal du tendon pour faire en sorte que son grand axe soit le plus possible parallèle à la peau ce qui permet de l'analyser au mieux ; dans le plan axial, ils ont deux avantages : déjouer l'artefact d'anisotropie qui a toujours été à l'origine de nombreuses erreurs de diagnostics dans les études tendineuses, mais aussi utiliser cet artefact, car il est dans certains cas utile d'avoir une coupe axiale hypoéchogène du tendon afin de mieux repérer ses contours dans un environnement hyperéchogène (fig. 1).

1.3. Mobilisation de la portion distale du tendon en cas de rupture — désinsertion

Cette manœuvre a deux intérêts : confirmer le caractère complet d'une rupture tendineuse en montrant que le frag-

ment distal du tendon se mobilise alors que le proximal ne bouge pas ; la méconnaissance de cette épreuve dynamique est à l'origine de nombreuses erreurs diagnostiques méconnaissant d'évidentes ruptures totales du tendon d'Achille en les prenant, de manière erronée, pour des lésions partielles. L'autre intérêt, en cas de rupture complète, est qu'elle permet de déterminer l'importance de la rétraction tendineuse par la mesure de l'écart interfragmentaire minimum ce qui constitue un important élément d'orientation thérapeutique. Par exemple, il semble illogique de traiter médicalement, par plâtre, une rupture du tendon d'Achille si l'écart interfragmentaire en flexion plantaire est significatif car la qualité du tissu de cicatrisation à cet endroit sera médiocre, alors que cette attitude semble logique en cas d'affrontement correct des berges de la rupture (fig. 2).



Fig. 4 : Épaississement et déformation de la bourse sous-acromio-deltéenne durant l'épreuve de rotation du bras au passage sous le ligament acromio-coracoïdien.

Fig. 4: *During rotation of the arm, there is thickening and deformity of the subacromial-subdeltoid bursa when this structure comes into conflict with the coraco-acromial ligament.*

1.4. Recherche d'un conflit entre le tendon et les structures péri-tendineuses

Cette mobilisation tendineuse est utilisée lors d'un déficit de mobilité en particulier au niveau des doigts lors de l'existence d'un ressaut ; la flexion progressive montre le siège exact du conflit (en général la poulie A1) en regard duquel le tendon et sa gaine viennent se déformer (fig. 3). Des phénomènes adhérentiels peuvent également être visualisés entre le tendon et sa propre gaine dans les ténosynovites adhésives où l'on voit l'ensemble tendon et gaine qui se mobilise.

1.5. Recherche d'un conflit entre un tendon et une autre structure

C'est au niveau de l'épaule que ce type de pathologie est le plus connu, les 3 conflits (antérieur de Gerber, antéro-supérieur de Neer et postéro-supérieur de Walch) étant à l'origine d'un nombre important de pathologies douloureuses.

- Dans le conflit antérieur, le versant superficiel du subscapulaire tapissé de la bourse sous-acromio-deltéenne vient en conflit avec la concavité de la coracoïde essentiellement lorsqu'une calcification hypertrophique s'est développée à la partie supérieure du tendon ; c'est la manœuvre échographique de rotation interne du bras qui met le mieux en évidence ce conflit en montrant la déformation du versant superficiel du tendon et de la bourse. La cause la plus fréquente de ce conflit est la calcification hypertrophique du subscapulaire.

- Dans le conflit antéro-supérieur, c'est le versant périphérique, bursal, du supra-épineux qui vient en conflit avec la voûte sous-acromio-deltéenne formée en postérieur par l'acromion et en antérieur par le ligament acromio-coracoïdien ; il en résulte une bursite réactionnelle puis, en cas de lésion chronique, une abrasion du versant bursal du supra-épineux qui se creuse progressivement. Plusieurs épreuves dynamiques peuvent être utilisées pour détecter ce conflit : la plus aisée nous semble être l'étude de la jonction entre le supra-épineux et le ligament acromio-coracoïdien en effectuant une rotation interne du bras (fig. 4). La manœuvre d'abduction du bras est également utile en analysant le passage du versant bursal du supra-épineux sous l'acromion et



Fig. 5 : Conflit trochléo-tendineux : le versant profond et latéral du ligament patellaire (tendon rotulien) vient au contact de la berge externe de la trochlée lors de la contraction quadriceps.

Fig. 5: *Trochleo-tendinous conflict: during quadriceps contraction, the deep aspect of the lateral portion of the patellar ligament is in contact with the lateral part of the trochlea.*

en repérant une éventuelle distension liquidienne de la bourse au versant latéral de l'humérus.

À noter qu'une convexité superficielle du ligament acromio-coracoïdien est dans notre expérience un bon signe indirect de ce conflit.

Les causes de ce conflit antéro-supérieur peuvent être classées en 2 catégories : les éléments qui réduisent le calibre du défilé sous-acromial (essentiellement l'hypertrophie du versant inférieur de l'acromion et de l'interligne acromio-claviculaire) et les éléments majorant l'épaisseur des éléments devant coulisser sous la voûte acromiale (les calcifications hypertrophiques du supra-épineux et les surélévations de sa surface d'insertion comme les séquelles de fracture et l'ostéophytose) (3).

- Dans le conflit postéro-supérieur, c'est le versant articulaire de la partie postérieure du supra-épineux et de la partie supérieure de l'infra-épineux qui vient en conflit avec le bourrelet postéro-supérieur et le rebord glénoïdien adjacent ; on le rencontre principalement et très fréquemment chez les adeptes des sports de lancer. La topographie postérieure des lésions évoque le diagnostic (lésions partielles du versant articulaire, fissurations labrales et irrégularités osseuses glénoïdiennes et humérale). La confirmation repose ici également sur la manœuvre dynamique d'armer du bras qui montre directement le conflit.

D'autres tendons peuvent également présenter de tels conflits en particulier au niveau de l'appareil extenseur du genou :

- conflit trochléo-tendineux patellaire : le versant profond du ligament patellaire (tendon rotulien) vient en conflit avec la berge externe de la trochlée à l'origine d'un remaniement tendineux hypoéchogène parfois sévère ou d'une infiltration de la graisse du Hoffa situés entre les 2 éléments. On l'observe principalement en cas de bascule externe de la rotule et c'est la contraction quadriceps du genou en extension qui confirme l'impact tendineux sur le cartilage trochléen (fig. 5) ;

- conflit trochléo-tendineux quadricepsital : il s'observe lors de la flexion du genou au versant profond du tendon quadricepsital principalement lorsqu'une irrégularité et en particulier une ostéophytose se développe à la partie haute de la trochlée.



Fig. 6 : Lors de l'éversion contrariée, il existe une mobilité anormale du court fibulaire qui décolle partiellement le retinaculum.

Fig. 6: *During eversion of the forefoot, there is subluxation of the peroneus brevis tendon with dislocation of the retinaculum.*



Fig. 7 : Remaniement cicatriciel du muscle droit fémoral responsable d'une limitation des performances chez ce sportif.

Fig. 7: *There is, in this rectus femoris muscle, an irregular hyperchoic scar that limited the performance of this athlete.*

Un tendon peut également être « coincé » entre deux structures osseuses. L'exemple le plus fréquent est l'incarcération des tendons fibulaires au niveau sous-malléolaire après fracture du calcaneus et le conflit du tendon fléchisseur de l'hallux dans le cadre d'un syndrome du carrefour postérieur. C'est la mobilisation du pied qui confirme le diagnostic de conflit dans ces deux exemples.

Des conflits avec les éléments tendineux peuvent également survenir en cas d'irrégularités de la surface osseuse (cal post-traumatique, exostose, matériel chirurgical) ; il en résulte des souffrances tendineuses chroniques, mais aussi des ressauts qui sont repérables lors de l'étude dynamique, mais c'est parfois la relecture à vitesse lente d'un clip dynamique enregistré qui montre de manière précise le siège exact du conflit.

Ces ressauts sont surtout connus au niveau de la hanche (ressauts latéraux et antérieurs) ; les facteurs étiologiques sont multiples. Leurs mises en évidence et la recherche du facteur étiologique imposent l'utilisation de l'échographie dynamique (4-6).

1.6. Mobilisation anormale du tendon lors des manœuvres de facilitation

La cinétique tendineuse à la recherche d'une mobilisation anormale est un élément important du diagnostic échographique car dans la majorité des cas, le tendon est en place en position de repos et seule l'épreuve dynamique montre la malposition.

- Dans le plan axial, quatre localisations sont fréquemment analysées : les tendons fibulaires et en particulier le court fibulaire par la manœuvre d'éversion contrariée montrant le décollement du retinaculum souvent confondu avec une entorse latérale (fig. 6) ; le tendon tibial postérieur par l'inversion contrariée ; le chef long du biceps en rotation externe mais aussi en rotation interne du bras (7) ; le tendon de l'extenseur ulnaire du carpe fréquemment entrepris chez les tennismen (lors du coup droit lifté pour le bras tenant la raquette et lors du revers à deux mains pour l'autre bras) ; la mobilisation anormale de ce tendon se dépiste en supination forcée en particulier lors de l'inflexion ulnaire de la main ou en suivant le mouvement du tendon lors du geste sportif (raquette en main).

- Dans le plan longitudinal, l'épreuve dynamique dépiste les mobilisations anormales dans le cadre des lésions des poulies digitales (flexion digitale contrariée) (8) et les décollements voire les ruptures des retinacula en particulier au niveau des extenseurs de la cheville (flexion dorsale contrariée).

1.7. Diagnostic différentiel entre ténosynovite et autre diagnostic

L'existence d'un anneau hypoéchogène péri-tendineux n'est pas toujours spécifique de manière formelle et certaines manœuvres sont parfois utiles pour confirmer le diagnostic.

- La compression confirme le caractère liquidien et permet d'éliminer une lésion tissulaire et en particulier une tumeur de la gaine tendineuse.
- La mobilisation axiale de la sonde permet le diagnostic différentiel entre ténosynovite et insertion musculaire basse en montrant une augmentation de l'anneau hypoéchogène lors de la mobilisation proximale en cas d'insertion musculaire basse et l'inverse lors de la ténosynovite.

2. En pathologie musculaire

C'est l'épreuve de contraction qui est systématiquement utilisée, indispensable lors de toute échographie musculaire ; elle permet de confirmer l'existence d'un muscle accessoire (9) plus particulièrement en pathologie traumatique.

- En aigu : lors d'une atteinte bénigne, cette manœuvre est utile pour dépister une zone d'échostructure anormale montrant la perte de l'architecture striée habituelle du muscle ; en cas d'atteinte plus importante, la contraction est utile pour mieux délimiter les hématomes en formation et en cas d'hématome collecté, la compression par la sonde sera également utilisée pour déterminer s'il est liquidien donc ponctionnable (déformation lors de la compression) ou s'il est caillotté ; dans la désinsertion, la contraction détermine si le fragment proximal est mobilisable, ce qui peut orienter le traitement ; cette contraction sert également à mettre en évidence les brèches aponévrotiques.
- En cours de cicatrisation la contraction est utilisée avec les mêmes objectifs, mais surtout afin de tester la mobilisation résiduelle du muscle en cas de désinsertion.

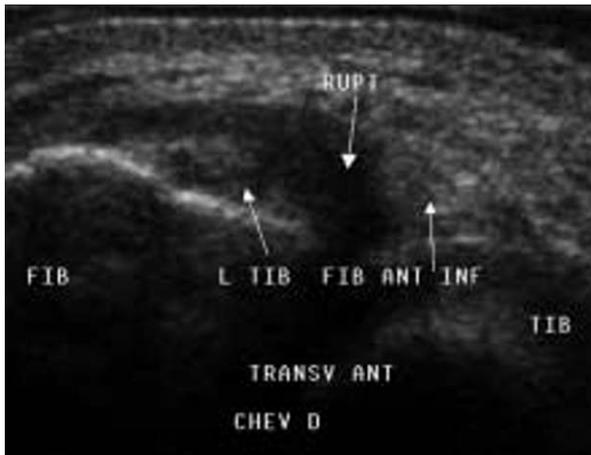


Fig. 8 : La rupture de ce ligament tibio-fibulaire antéro-inférieur est bien visualisée ici grâce à la dorsiflexion de la cheville.

Fig. 8: *During dorsiflexion of the ankle, this anterior tibiofibular ligament tear is adequately demonstrated.*

- En chronique, la contraction est utilisée pour deux raisons :
 - la recherche d'une adhérence résultant d'une fibrose péri-musculaire à l'origine d'un phénomène d'attraction et d'une limitation de l'expansion musculaire en contraction ; c'est surtout la contraction comparative qui montre au mieux ces rétractions pouvant limiter les performances chez le sportif (fig. 7) (1) ;
 - la recherche d'une hernie musculaire faisant suite à une brèche aponévrotique.

3. Dans les entorses

C'est la manœuvre de mise sous tension de chaque ligament qui est systématiquement utilisée pour mieux quantifier l'importance de l'entorse (10, 11) et montrer un éventuel bâillement de l'interligne articulaire adjacent (12) ; il est donc important de connaître au niveau de chaque articulation quelle est la position de mise en tension de chacun des ligaments (ex : dans la cheville : varus équin pour le ligament talo-fibulaire antérieur, dorsiflexion pour le ligament calcanéo-fibulaire (LCF) et le ligament tibio-fibulaire antéro-inférieur, valgus pour le ligament collatéral médial) (13). Cette mise en tension est utile.

- En aigu :
 - dépister une rupture du LCF qui ne se soulève plus lors de la dorsiflexion en cas de désinsertion proximale ;
 - mieux montrer une rupture ou une désinsertion grâce à l'écartement des berges de la rupture ou dépister une interposition aponévrotique dans le cadre d'une lésion de Stener au niveau du pouce (14, 15) ;
 - déterminer la gravité de la lésion ligamentaire au niveau de la tibio-fibulaire inférieure car un écartement de l'interligne est considéré comme un signe d'atteinte associée de la membrane inter-osseuse (fig. 8).
- En chronique : en cas de laxité, cette mise sous tension est indispensable pour affirmer si un ligament est détendu, toujours par comparaison au côté opposé vu l'importance des variantes observées. C'est au niveau de la cheville que ces manœuvres sont le plus fréquemment utilisées mais elles sont aussi effectuées au niveau du coude dans le cadre des lésions chroniques du ligament collatéral médial (16).

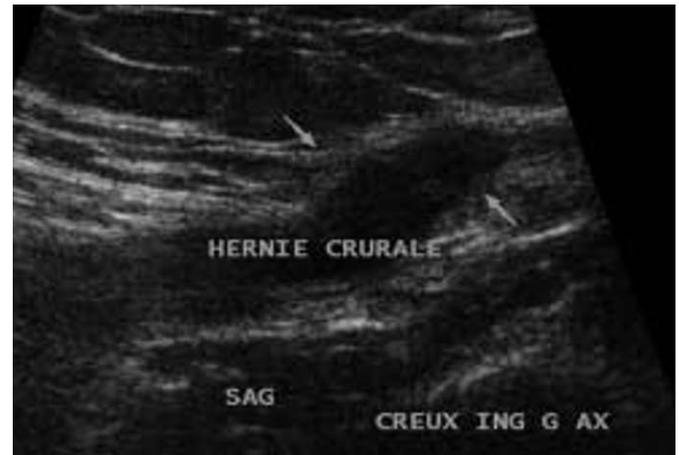


Fig. 9 : Lors de la manœuvre de Valsalva, cette hernie crurale est bien visible.

Fig. 9: *During Valsalva's manœuvre, this femoral hernia is adequately demonstrated.*

4. Dans les lésions nerveuses

Lors de la mise en évidence d'une compression nerveuse en échographie, avec déformation du nerf au passage sous une structure ou entre 2 structures, différentes mobilisations peuvent être effectuées pour montrer, par comparaison au côté opposé, une différence de glissement ou une majoration de la déformation. Ainsi lors d'un syndrome du canal carpien, la flexion du poignet est souvent utile pour préciser le diagnostic (17).

La recherche d'une mobilisation anormale du nerf ulnaire lors de la flexion du coude est systématique en cas de douleurs médiales car sa fréquente luxation antérieure peut être à l'origine d'une irritation nerveuse en raison de son frottement répété contre la corticale humérale (18).

Au niveau de l'avant-pied, la manœuvre de Mulder, compression transversale de l'avant-pied, est toujours réalisée pour mieux visualiser un névrome de Morton expulsé grâce à cette pression en direction des tissus plantaires (19).

5. Dans la pathologie articulaire

De nombreuses manœuvres sont effectuées :

- pour rechercher une mobilité anormale de l'interligne :
 - rotation du bras sur une coupe axiale postérieure de l'interligne scapulo-huméral pour dépister une subluxation antéro-postérieure éventuellement réductible,
 - translation antérieure et postérieure du bras à la recherche d'une laxité (12),
 - mobilisation d'une phalange dans le cadre d'une subluxation métatarso-phalangienne,
 - mouvements du bras en abduction-adduction pour montrer la déstabilisation de l'interligne acromio-claviculaire,
 - prono-supination de l'avant-bras pour l'étude de la radio-ulnaire supérieure,
 - prono-supination de la main pour l'étude de la radio-ulnaire inférieure,
 - valgus ou varus forcé à la recherche d'un bâillement témoignant d'une distension capsulo-ligamentaire (11),
 - abduction du bras pour confirmer le diagnostic de capsulite de l'épaule (20) ;

- mobilisation des articulations pour mieux une meilleure visualisation :
 - des épanchements en remplissant les différents récessus,
 - des cartilages qui ne sont souvent visibles que lors de la flexion,
 - des plaques plantaires dont les ruptures sont mieux visibles en mobilisant l'orteil,
 - des franges synoviales et des nodules intra-articulaires ;
- mobilisation d'un interligne à la recherche d'un conflit en particulier au niveau fémoro-patellaire après arthroplastie du genou (21).

6. Au niveau des parois abdominale et thoracique

La recherche d'une hernie nécessite 2 types de manœuvre : l'épreuve de Valsalva et la contraction qui permettent de dépister les différentes hernies, de les quantifier et de montrer leur réductibilité (fig. 9) (1).

7. Au niveau du tissu sous-cutané

C'est la contraction musculaire qui est utilisée principalement pour la recherche d'une adhérence.

Conclusion

L'étude échographique dynamique de l'appareil locomoteur est extrêmement riche de renseignements originaux. Elle doit faire partie intégrante de tout examen échographique, dont elle constitue l'un des atouts majeurs et auquel elle donne une dimension particulière. Les connaissances anatomopathologiques et cliniques nécessaires à sa mise en œuvre correcte sont un argument fort pour que l'examen soit réalisé par un médecin convenablement formé.

Références

1. Brasseur JL, Tardieu M. Échographie du système locomoteur. Paris : Masson, 1999.
2. Zornoza J, Bernardino ME, Ordonez NG, Thomas JL, Cohen MA. Percutaneous needle biopsy of soft tissue tumors guided by US and CT. *Skeletal Radiol* 1982;9:33-6.
3. Brasseur JL, Lazennec JY, Tardieu M, Richard O, Roger B, Grenier P. Échographie dynamique de l'épaule dans le conflit antéro-supérieur. *Rev Im Méd* 1994;6:629-31.
4. Cardinal E, Buckwalter KA, Capello WN, Duval N. US of the snapping iliopsoas tendon. *Radiology* 1996;198(2):521-2.
5. Choi YS, Lee SM, Song BY, Paik SH, Yoon HY. Dynamic sonography of external snapping hip syndrome. *J Ultrasound Med* 2002;21:753-8.
6. Vaccaro JP, Sauser DD, Beals RK. Iliopsoas bursa imaging: efficacy in depicting abnormal iliopsoas tendon motion in patients with internal snapping hip syndrome. *Radiology* 1995;197:853-6.
7. Farin PU, Jaroma H, Harju A, Soimakallio S. Medial displacement of the biceps brachii tendon: evaluation with dynamic sonography during maximal external shoulder rotation. *Radiology* 1995;195:845-8.
8. Martinoli C, Bianchi S, Nebbiolo M, Derchi LE, Garcia J. Sonographic evaluation of digital annular pulley tears. *Skeletal Radiol* 2000;9:387-91.
9. Ouellette H, Thomas BJ, Torriani M. Using dynamic sonography to diagnose extensor digitorum brevis manus. *AJR Am J Roentgenol* 2003;181:1224-6.
10. De Flaviis L, Nessi R, Leonardi M, Ulivi M. Dynamic ultrasonography of capsulo-ligamentous knee joint trauma. *J Clin Ultrasound* 1988;16:487-92.
11. Friedl W, Glaser F. Dynamic sonography in the diagnosis of ligament and meniscal injuries of the knee. *Arch Orthop Trauma Surg* 1991;110:132-8.
12. Borsa PA, Jacobson JA, Scibek JS, Dover GC. Comparison of dynamic sonography to stress radiography for assessing glenohumeral laxity in asymptomatic shoulders. *Am J Sports Med* 2005;33:734-41.
13. Brasseur JL, Luzzati A, Lazennec JY, Guérin-Surville H, Roger B, Grenier P. Ultrasono-anatomy of the ankle ligaments. *Surg Radiol Anat* 1994;16:87-91.
14. O'Callaghan B, Kohut G, Hoogewoud H. Gamekeeper thumb: identification of the Stener lesion with US. *Radiology* 1994;192:477-80.
15. Hoglund M, Tordai P, Muren C. Diagnosis by ultrasound of dislocated ulnar collateral ligament of the thumb. *Acta Radiol* 1995;36:620-5.
16. De Smet AA, Winter TC, Best TM, Bernhardt DT. Dynamic sonography with valgus stress to assess elbow ulnar collateral ligament injury in baseball pitchers. *Skeletal Radiol* 2002;31:671-6.
17. Chen P, Maklad M, Redwine M, Zelitt D. Dynamic high-resolution sonography of the carpal tunnel. *AJR Am J Roentgenol* 1997;168:533-7.
18. Jacobson PA, Jebson PJ, Jeffers AW, Fessell DP, Hayes CW. Ulnar nerve dislocation and snapping triceps syndrome: diagnosis with dynamic sonography — report of three cases. *Radiology* 2001;220:901-5.
19. Torriani M, Kattapuram SV. Technical innovation. Dynamic sonographic of the forefoot: The sonographic Mulder sign. *AJR Am J Roentgenol* 2003;180:1121-3.
20. Ryu KN, Lee SW, Rhee YG, Lim JH. Adhesive capsulitis of the shoulder joint: usefulness of dynamic sonography. *J Ultrasound Med* 1993;12:445-9.
21. Segal A, Miller TT, Krauss ES. Fabellar snapping as a cause of knee pain after total knee replacement: assessment using dynamic sonography. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183:352-4.

Suite en page suivante.

Histoire de la maladie

Un homme âgé de 30 ans est envoyé par son médecin traitant pour une échographie de la cheville. Il se plaint d'une symptomatologie médiale persistant depuis 3 jours après un faux mouvement à l'origine d'une douleur aiguë. Deux coupes médiales de la cheville sont présentées, l'une (*fig. 1*) est une coupe axiale rétro-malléolaire passant par le tendon tibial postérieur et l'autre (*fig. 2*) est une coupe frontale passant par le ligament collatéral médial.

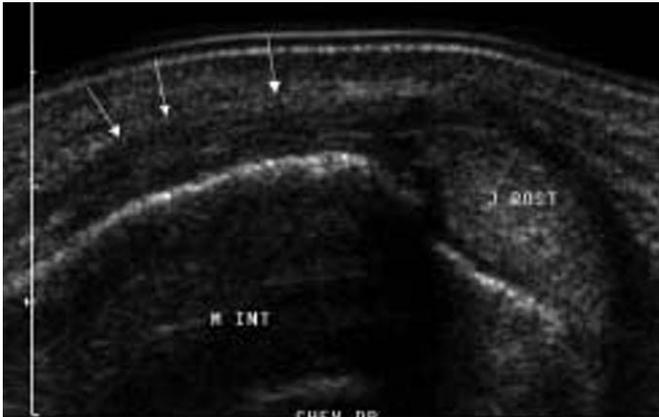


Fig. 1 : Coupe axiale médiale de la cheville droite.

Fig. 1: *Medial axial view of the right ankle.*

Questions

1. Quel est l'élément pathologique sur ces clichés ?
2. Quelles sont les pathologies pouvant entraîner de tels remaniements ?
3. Quel cliché échographique permet de préciser le diagnostic et comment le réaliser ?



Fig. 2 : Coupe frontale dans l'axe du ligament collatéral médial.

Fig. 2: *Medial frontal view of the medial collateral ligament.*

Réponses

1. Il existe un épaississement hypoéchogène tout à fait anormal du retinaculum tapissant la malléole médiale dont la corticale est, en revanche, parfaitement régulière ; le tendon tibial postérieur présente un aspect normal, ses contours sont réguliers, son épaisseur est satisfaisante et sa structure est homogène. Il est bien en place sur ce cliché « au repos ». De même, les éléments ligamentaires du plan collatéral médial visibles ici sont normaux et il n'y a pas d'épanchement dans la sous-talienne. La joue médiale du talus ne présente pas de remaniements significatifs.

2. Un épaississement du retinaculum peut s'observer en aigu après choc direct entraînant une ecchymose de cette structure ; il peut aussi accompagner une désinsertion partielle de l'attache proximale du ligament collatéral médial ou résulter d'un décollement de ce retinaculum dans le cadre d'une luxation (actuellement réduite) du tendon tibial postérieur.

En chronique, cette image peut également s'observer dans les suites d'une fracture malléolaire.

3. En dehors de l'anamnèse, l'élément principal pour orienter le diagnostic est de réaliser une manœuvre d'inversion contrariée ; celle-ci s'effectue en demandant au patient, dont le versant latéral du pied repose sur la table, de soulever l'avant-pied vers le plafond ; le médecin s'oppose à cette manœuvre en poussant sur le

versant médial de l'hallux avec l'avant-bras ou la main qui ne tient pas la sonde. Cette épreuve dynamique (*fig. 3*) confirme la luxation du tendon tibial postérieur qui vient alors s'interposer entre corticale et retinaculum.

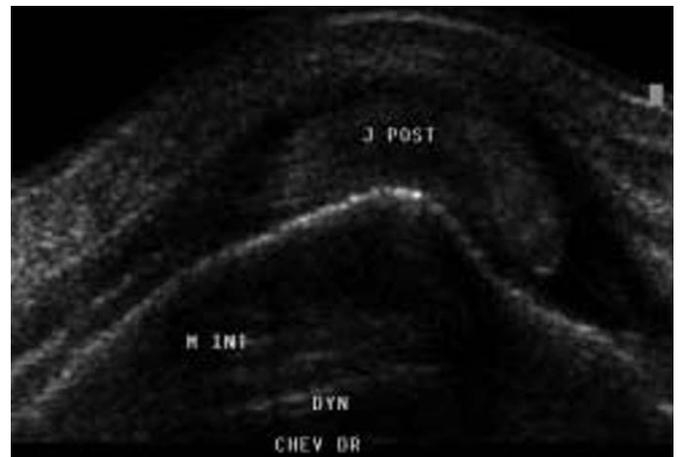


Fig. 3 : Coupe axiale médiale : épreuve dynamique d'inversion.

Fig. 3: *Dynamic medial axial view during inversion.*

L'échographie interventionnelle

D Jacob (1), C Cyteval (2) et M Moinard (3)

Abstract

Interventional Sonography

J Radiol 2005;86:1911-23

Diagnostic and therapeutic interventional procedures are rapidly expanding and, when guided by imaging, are more efficient than when performed with a blinded technique. Compared to fluoroscopy and CT, ultrasound does not utilize ionizing radiation. It can facilitate needle placement for arthrography, tenography or bursography or it can guide a variety of procedures such as aspiration, arthrocentesis, local steroid injections and needling of tendon calcifications. Technological improvements have increased the precision of ultrasound guidance and have contributed to reduce the risk of complication. Real time scanning allows simultaneous visualization of the target and of needle progression and has diminished the rate of complications, that are infrequent if the operator uses a strict sterile technique and respects the contraindications. The goal of this article is to present the technique of the different ultrasound guided procedures and to discuss their indications and contraindications.

Key words: Joint. Ultrasound. Interventional radiology. Diagnostic interventions.

Résumé

En 2005, le recours à des gestes interventionnels à des fins diagnostiques et/ou thérapeutiques est de plus en plus fréquent. Ces ponctions et biopsies peuvent être guidées par l'imagerie, améliorant considérablement les performances par rapport aux procédures réalisées à l'aveugle. L'échographie présente par rapport à la tomодensitométrie et la fluoroscopie l'avantage important d'être non irradiante. L'échoguidage peut dans certains cas précéder un examen de contraste (arthrographie, ténographie ou bursographie) pour le faciliter. Il peut également présenter un intérêt thérapeutique lors d'infiltrations, de gestes d'aspiration, de drainage, d'arthrocentèses ou dans le cadre du traitement de la tendinopathie calcifiante. Grâce aux progrès technologiques constants, les gestes échoguidés sont de plus en plus précis, réduisant le risque traumatique. L'opérateur peut visualiser en temps réel la zone-cible, repérer la bonne progression de l'aiguille et limiter la survenue des complications. Celles-ci sont rares, à condition de respecter les règles de procédure : aseptie stricte, contre-indications. Cet article a pour but de préciser les différents types de gestes échoguidés, leurs indications, contre-indications et conditions de réalisation.

Mots-clés : Articulation. Échographie. Radiologie interventionnelle. Ponction.

L'échographie est une technique d'accès facile, peu onéreuse, non irradiante, offrant la possibilité d'une étude dynamique. Les progrès technologiques constants permettent à l'échographie haute résolution d'apporter une excellente qualité iconographique. Le Doppler Énergie, l'imagerie d'harmoniques, la technique *compound* ont amélioré les performances. De plus, contrairement à la tomодensitométrie et à l'IRM, la qualité image n'est pas dégradée par le métal environnant (1). L'utilisation de produit de contraste iodé n'est pas nécessaire, ce qui limite les risques allergiques (2).

De nombreux travaux récents ont bien mis en évidence la meilleure efficacité des procédures interventionnelles réalisées sous contrôle échographique par rapport aux gestes réalisés à l'aveugle (3-9).

Pour optimiser celles-ci, il est nécessaire de toujours effectuer une étude échographique diagnostique détaillée préalable pour confirmer le diagnostic, éliminer une pathologie non suspectée cliniquement et choisir la meilleure approche (1).

Matériel, technique et précautions

Avant tout geste échoguidé, une étude complète de la zone d'intérêt est effectuée : elle permet de repérer la lésion, d'appré-

cier sa nature tissulaire éventuelle, son degré de vascularisation, de mesurer la distance plan cutané-lésion et de repérer les différentes structures vasculo-nerveuses. Le patient sera ensuite informé de la technique de réalisation du geste et des risques éventuels (infectieux, hémorragiques...). Il faut s'enquérir d'un éventuel terrain allergique (lidocaïne, produit de contraste, dérivés cortisonés) ou d'une anomalie de la coagulation pouvant contre-indiquer certains gestes (10). La sonde d'échographie utilisée est généralement une barrette de 5 à 13 MHz. Pour les lésions ou les articulations profondes comme la hanche, on peut utiliser une sonde convexe de plus basse fréquence.

Tout geste interventionnel doit respecter les règles d'asepsie. Les protocoles de nettoyage des salles et du matériel sont affichés en salle d'examen.

La peau est désinfectée en quatre temps :

- détertion par nettoyage du site avec un savon antiseptique dilué à l'eau stérile ;
- rinçage à l'eau stérile ;
- séchage avec des compresses stériles ;
- antiseptie avec un dérivé iodé et, s'il existe une allergie aux produits iodés, remplacement par la chlorhexidine.

Le savon et l'antiseptique doivent appartenir à la même famille de produit.

S'il existe un mauvais état cutané avec une inflammation, ceci représente une contre-indication à certains gestes en particulier les infiltrations.

L'ensemble du matériel utilisé pour le geste est stérile et/ou à usage unique : gants, champs, gel. La sonde d'échographie est nettoyée et désinfectée (par un détergent désinfectant autorisé par les constructeurs, par exemple : alkylamine en solution alcool-

(1) Département d'Imagerie Médicale, CHRU de Dijon, BP 77908, 21079 Dijon. (2) Hôpital Lapeyronie, 191, avenue Doyen Gaston Giraud, 34295 Montpellier. (3) Hôpital Pellegrin, Place Amélie Raba-Léon, 33076 Bordeaux.
Correspondance : D Jacob
E-mail : denis.jacob@wanadoo.fr

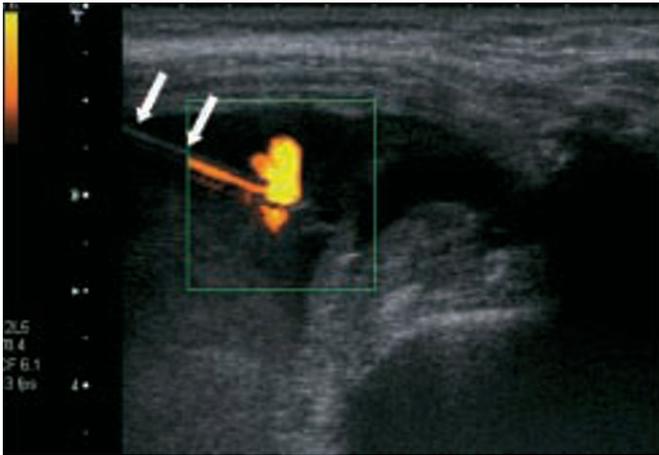


Fig. 1 : Repérage de l'aiguille (flèches) et du site d'injection facilité par l'utilisation du doppler-énergie.

Fig. 1: *Power Doppler facilitates detection of the needle (arrows) and site of injection.*

que) et recouverte d'un manchon stérile. Le gel dans le manchon peut ne pas être stérile. Certains radiologues n'utilisent pas de matériel de protection de sonde du fait de l'absence de contact direct entre la sonde et l'aiguille.

Le plus souvent, ces gestes sont réalisés sous anesthésie locale, la pose d'un abord veineux pour anesthésie et/ou antalgie est rarement nécessaire, sauf pour les drainages et certaines biopsies. L'injection de *Lidocaïne* se fait à l'aide d'une aiguille type intramusculaire de 21 G. Cette aiguille peut également servir pour l'aspiration d'un liquide articulaire ou l'injection d'un dérivé corticoïde. Une aiguille plus fine de 23-25 G est utilisée pour les infiltrations des gaines tendineuses. Par contre un calibre de 18-20 G est préférable pour les aspirations de liquides épais (abcès, kystes mucoïdes...).

La progression de l'aiguille se fait en temps réel, elle apparaît sous forme d'une ligne hyperéchogène lorsque son axe est parallèle à la sonde d'échographie. Il s'y associe des artéfacts de réverbération sous-jacents au plan de l'aiguille. Des petits mouvements de va et vient aident à mieux suivre le trajet de l'aiguille quand les contraintes anatomiques font que le trajet de l'aiguille n'est pas parallèle au plan de la sonde ; dans ce cas, seule l'extrémité de l'aiguille est repérée sous forme d'un point hyperéchogène. Le repérage de l'aiguille peut être facilité par l'injection d'une faible quantité d'air, de sérum physiologique, d'anesthésique, ou à l'aide du Doppler Énergie (*fig. 1*). De même, l'injection sert de test topographique, la bonne dispersion de l'anesthésique à distance de l'aiguille confirmant le bon positionnement dans certaines bourses très fines comme, par exemple, la bourse sous acromio-deltaïdienne.

Les gestes para et intra-articulaires

Par rapport aux gestes réalisés à l'aveugle, chirurgicalement ou sous contrôle scopique, l'échoguidage des injections de dérivés cortisonés présente de multiples avantages (1, 5, 11-14). Il permet en temps réel de choisir le meilleur abord, en repérant notamment les structures vasculo-nerveuses et tendineuses à éviter, de suivre la progression de l'aiguille et de déceler immédiatement la survenue d'éventuelles complications. Lorsque la cible est petite,

l'échoguidage permet une plus grande précision et limite les complications quand l'environnement est potentiellement dangereux (5) : ponction d'un petit épanchement intra-articulaire, d'une bourse séreuse, ou d'une collection septique sans contamination de l'articulation saine avoisinante, en cas de collection hétérogène avec aiguille dirigée vers les zones liquidiennes. Le Doppler Énergie permet de distinguer les collections inflammatoires des collections infectieuses (15).

Les rares complications éventuelles sont le sepsis, l'hématome, l'atrophie cutanée (en cas d'infiltration de stéroïde).

1. Bursites

Les bursites représentent une situation clinique fréquente. L'injection intra-bursale d'un dérivé cortisonique est un traitement reconnu efficace en sachant éventuellement répéter les gestes (1, 6, 16, 17). L'injection préalable éventuelle d'un produit anesthésique peut confirmer le bon positionnement de l'aiguille en montrant une bonne dispersion de l'anesthésique à distance de l'extrémité de l'aiguille.

La cible la plus fréquente est la bourse sous-acromio-deltaïdienne (1, 6, 16) (*fig. 2*). Trois abords sont possibles : par voie antérieure, supérieure ou latérale.

D'autres localisations peuvent être visées par exemple la bourse cubitale (13), la bourse ansérine ou une néo-bourse dans le syndrome de la bandelette ilio-tibiale, même si ces derniers cas relèvent plus d'une pratique quotidienne que de séries validées. Au niveau de la hanche, les bourses péri-articulaires souvent concernées par des processus inflammatoires, peuvent être abordées : la bourse ilio-psoas par voie antérieure, après repérage vasculaire, la bourse trochantérienne par voie latérale (11).

2. Tendinopathies

Toutes les tendinopathies inflammatoires peuvent bénéficier de l'échoguidage (1) (*fig. 3*). L'infiltration doit être effectuée en péri-tendineux en évitant le tendon. Dans les tendinopathies de la coiffe des rotateurs, les infiltrations de stéroïdes peuvent être réalisées dans la bourse sous-acromio-deltaïdienne (17) ou en intra-articulaire. On peut citer l'apport de l'échographie dans les tendinopathies de l'ilio-psoas après mise en place d'une prothèse totale de hanche, dans la tendinite rotulienne et d'Achille (18, 19). L'échoguidage permet d'optimiser ces gestes en apportant une plus grande précision, une meilleure efficacité et une diminution des complications.

3. Le cas particulier de la tendinopathie calcifiante de l'épaule

Le dépôt d'hydroxyapatite au sein des tendons de la coiffe des rotateurs est une situation fréquente. Ces dépôts sont fréquemment asymptomatiques, mais ils occasionnent parfois des douleurs chroniques invalidantes. Celles-ci peuvent s'observer à la phase de résorption calcique, mais elles sont parfois en rapport avec un phénomène inflammatoire chronique en rapport avec les calcifications. La destruction même partielle de ces dépôts calciques à l'aide de ponctions-aspirations par aiguilles est souvent suivie d'une résorption spontanée des calcifications résiduelles, probablement due à l'ouverture des cavités qui contiennent les dépôts (20, 21).

À partir de 1978, de nombreuses ponctions-aspirations sous scopie ont été réalisées ; depuis Farin *et al.* en 1995, plusieurs études de ponctions-aspirations sous échoguidage ont été effectuées (20-24). Préalablement au geste, on doit sélectionner le patient (24). Il doit avoir bénéficié d'une étude échographique diagnostique complète, qui a éliminé une déchirure tendineuse. La calcification doit être ronde, fusiforme ou discoïde, mais pas punctiforme ou linéaire (fig. 4). On élimine également les patients porteurs de petites calcifications. La calcification douloureuse, qui concerne souvent le tendon du supra-épineux, occasionne une tuméfaction tendineuse. Une étude finlandaise a démontré que le scanner était la technique la plus appropriée pour apprécier la consistance des calcifications et donc d'optimiser les procédures interventionnelles, mais que l'échographie présentait également de bons résultats (25). Chiou *et al.* ont montré que le doppler couleur permettait de poser les indications de ponctions-aspirations de calcifications : les résultats sont significativement meilleurs lorsqu'il existe un signal doppler intense dans le foyer calcique (26). Une

échelle d'évaluation permet de quantifier les résultats, notamment l'échelle SPAD (24). Le patient est placé en décubitus dorsal. Le geste en lui-même se déroule habituellement en 3 étapes : il débute par une anesthésie de la bourse sous-acromio-sous-deloïdienne, se poursuit par la ponction proprement dite de la calcification avec aspiration et lavage, puis en fin d'examen, on repositionne l'aiguille dans la bourse pour infiltration de stéroïdes. La ponction calcique est arrêtée quand le produit revient translucide dans la seringue (ou après 10-15 min au maximum) ou bien quand on observe une décompression significative de la calcification. Un suivi échographique et clinique est nécessaire à 8 semaines (24). L'opérateur doit avertir le patient d'éviter les activités avec effort en abduction, mais l'autorise à mobiliser l'épaule. D'autres équipes tentent une destruction calcique par lithotritie extra-corporelle sous échoguidage (27-29).

Sorensen *et al.* ont publié une série où l'on plaçait une aiguille repère dans le foyer calcique pour guider l'arthroscopiste lors de la bursoscopie (30).

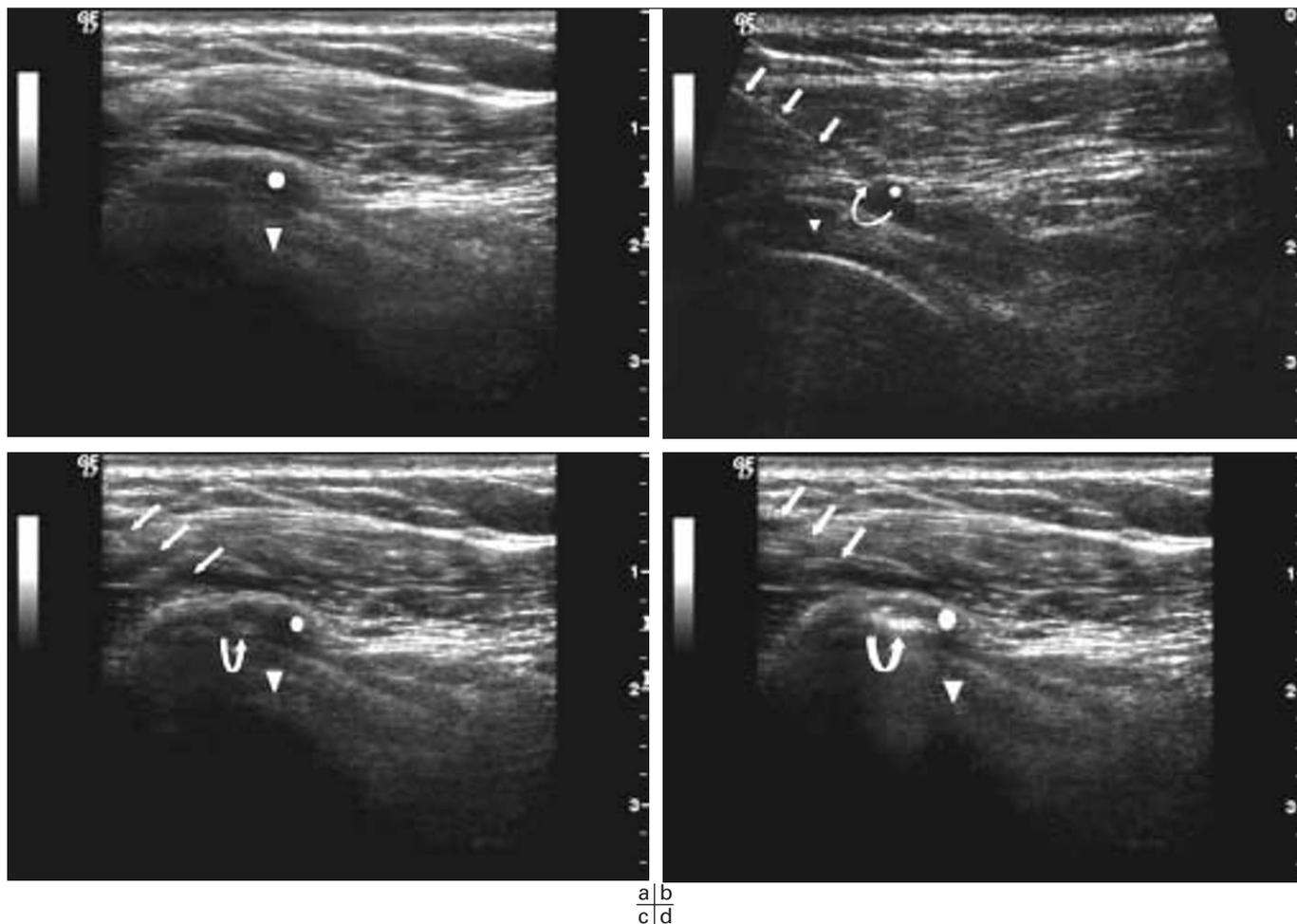
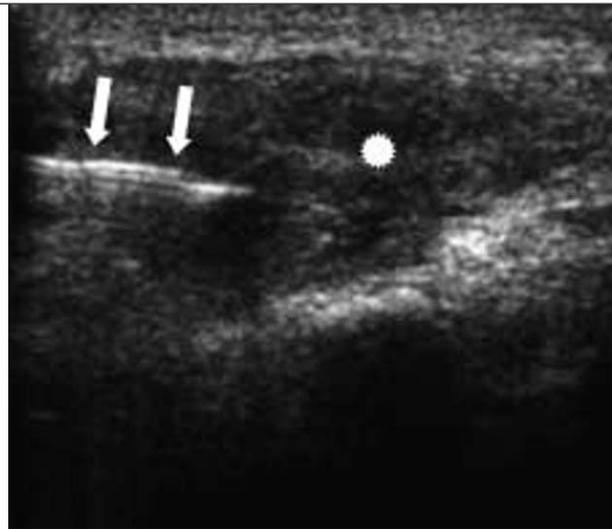
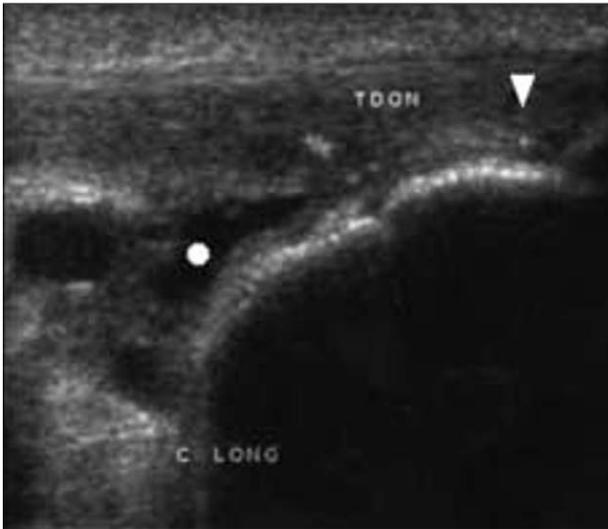


Fig. 2 : Infiltration échoguidée de la bourse sous-acromio-deloïdienne.

- a Collection sous-acromio-deloïdienne (étoile) en superficie du tendon de l'infra-épineux (triangle).
 b Bonne visualisation de l'aiguille qui déforme la paroi supérieure de la bourse sous-acromio-deloïdienne (flèche courbe). La collection sous-acromio-deloïdienne (étoile) et le tendon de l'infra-épineux (triangle) sont localisés.
 c Pénétration de l'aiguille (flèches droites) dans la bourse sous-acromio-deloïdienne (étoile). Visualisation de l'extrémité distale de l'aiguille (flèche courbe) en bonne position et du tendon de l'infra-épineux (triangle).
 d Injection intra-bursale du dérivé cortisoné matérialisée par l'apparition d'une image hyperéchogène (flèche courbe). Visualisation de l'aiguille (flèches droites), de la bourse sous-acromio-deloïdienne (étoile) et du tendon infra-épineux (triangle).

Fig. 2: US-guided injection of the subacromial bursa.

- a Fluid collection (star) located inside the subacromial space superficial to the infraspinatus tendon (triangle).
 b US shows the needle (arrows) indenting the superior wall of the bursa (curved arrows). The fluid collection (star) and the infraspinatus tendon (triangle) are also well visualized.
 c Image shows correct position of the needle tip (curved arrow) inside the bursa (star). Triangle=infraspinatus tendon.
 d The injected steroid solution appears as a hyperechoic area (curved arrow).



a|b
c|

Fig. 3 : Tendinopathie rotulienne avec bursite chez un basketteur.

- a Coupe sagittale de l'insertion du tendon rotulien (triangle) sur la tubérosité tibiale : petite calcification intra-tendineuse, avec bursite rétro-tendineuse (étoile).
- b Coupe transversale avec bon positionnement de l'aiguille (flèches droites) dans la bourse (étoile).
- c IRM : coupe sagittale confirmant la tendinobursite (étoile).

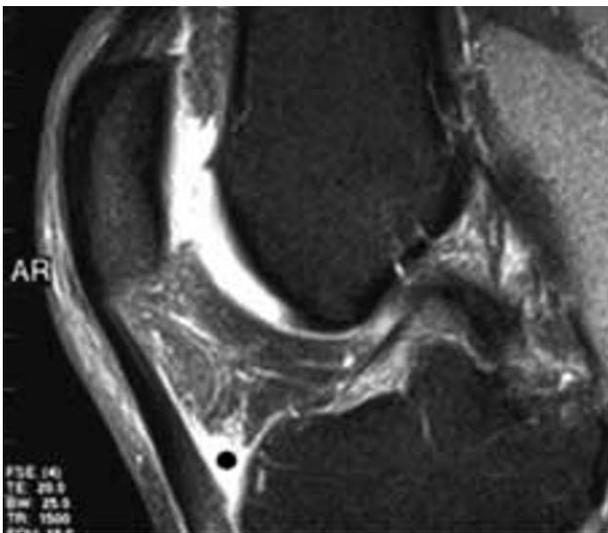


Fig. 3: Patellar tendinopathy and bursitis in a basketball player.

- a Sagittal image obtained over the insertion of the patellar tendon (triangle) onto the anterior tibial tuberosity. Note a small tendon calcification and pretibial bursitis (star).
- b Transverse image shows correct position of the needle (arrows) inside the bursa (star).
- c Sagittal MRI image confirming the tenobursitis.



a|b

Fig. 4 : Enthésopathie calcifiante.

- a Ponction échoguidée d'un foyer calcique (flèche courbe). Visualisation de l'aiguille (flèches droites) et du tendon de l'infra-épineux (étoile).
- b Injection dans la bourse sous-acromio-deltaïdienne d'un dérivé cortisoné (flèche courbe). Visualisation de l'aiguille (flèches droites).

Fig. 4: Calcifying tendinopathy.

- a US-guided puncture of a tendon calcification (curved arrow). Note the needle (arrows) and the infraspinatus tendon (star).
- b Injection of a steroid solution (curved arrow) inside the subacromial bursa. Arrows=needle.



Fig. 8 : Aspiration et infiltration d'un kyste de la tente des croisés. Positionnement sous échoguidage de l'aiguille (flèches droites) dans le kyste de l'échancrure intercondylienne (étoile). (Images M Cohen).

Fig. 8: *Aspiration and steroid injection of a cruciate ligament ganglion. US-guided positioning of the needle (arrows) inside the ganglion (star). (Courtesy of M Cohen).*

elle ne nécessite pas d'assistance pour l'opérateur. Le risque de faute d'asepsie est plus faible car le matériel utilisé est très limité ;

- si cette première technique ne permet pas de prélever de liquide articulaire, le recours au guidage échographique « temps réel » est alors nécessaire. La ponction se fait à l'endroit où la quantité de liquide est la plus importante. Une compression manuelle de certains récessus articulaires peut « chasser » le liquide vers le point de ponction quand les quantités sont faibles. En cas de très faible quantité d'épanchement, un lavage avec du sérum physiologique suivi d'une nouvelle aspiration peut être tenté.

Le liquide prélevé est adressé rapidement au service de bactériologie dans des flacons stériles contenant des billes de verre héparinées afin d'éviter que le prélèvement ne coagule. Si la quantité de liquide est suffisante, une mise en culture immédiate dans des flacons à hémocultures aérobie et anaérobie est également réalisée.

L'échographie peut également permettre l'injection intra-articulaire de produit de contraste en préalable à la réalisation d'examen diagnostiques (arthrographie, arthroscanner, arthroIRM).

6.1. Épaule

6.1.1. Articulation gléno-humérale

L'échographie est une technique validée dans la pathologie de l'épaule, y compris hors pathologie de la coiffe des rotateurs (36). Les indications d'infiltration intra-articulaire de l'articulation gléno-humérale sont très fréquentes que ce soit à but diagnostique pour guider l'injection de Gadolinium ou à but thérapeutique (pour injecter un corticostéroïde, capsulodistension). Le patient est placé en décubitus latéral, l'épaule concernée par le geste vers le haut, le bras reposant sur un oreiller pour maintenir la position latérale et permettre un meilleur confort du patient. La sonde d'échographie est posée dans l'axe des fibres du tendon de l'infra-épineux juste en dessous de l'épine de l'omoplate. L'image de référence correspond à une section axiale transverse de l'arti-



Fig. 9 : Infiltration d'un épanchement intra-articulaire talo-naviculaire. L'aiguille (flèches droites) est visualisée dans l'épanchement (étoile). Le talus (triangle) et l'os naviculaire (hexagone) sont identifiés.

Fig. 9: *US-guided steroid injection within the talo-navicular joint. Image shows accurate positioning of the needle (arrows). Triangle=talus, Hexagon=navicular.*

culcation gléno-humérale et l'on repère la partie postérieure de la glène, le labrum, la partie postérieure de la tête humérale et la capsule articulaire gléno-humérale postérieure surmontée par le tendon de muscle intra-épineux. L'aiguille de 20 à 22 G est visualisée en temps réel, elle est directement introduite au cours d'une anesthésie locale et passe obliquement de la peau à la surface de l'articulation gléno-humérale suivant tangentiellement la courbure de la tête humérale. La ponction sous contrôle échographique a plusieurs avantages par rapport à l'approche sous scopie : outre l'absence d'irradiation ou d'injection de produit de contraste iodé, l'échoguidage évite les ponctions intra labrales et neurovasculaires car ces structures sont directement visualisées. Par ailleurs, l'approche postérieure diminue l'anxiété du patient qui ne voit pas réellement approcher l'aiguille (37).

6.1.2. Articulation acromio-claviculaire

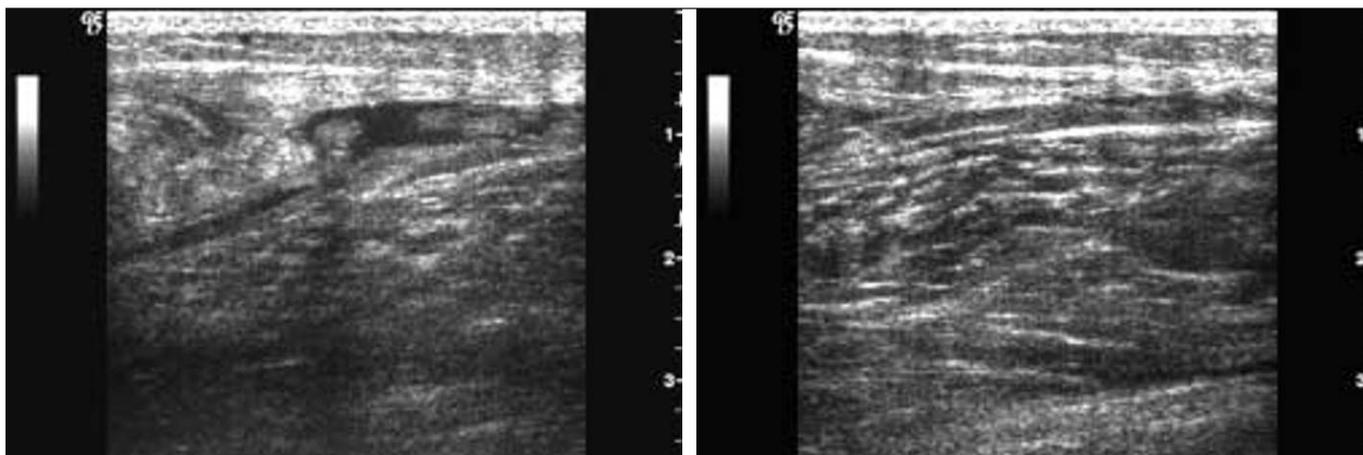
L'articulation acromio-claviculaire est facile d'accès (11, 36, 38-40) ; des gestes thérapeutiques et diagnostiques peuvent facilement être réalisés sous échoguidage, notamment en cas de disjonction ou d'arthropathie acromio-claviculaire (1).

6.2. Coude

L'abord du coude s'effectue usuellement par voie postérieure en flexion, dans le récessus olécrânien en intra-articulaire ou dans la bourse olécrânienne. La voie antérieure est également possible, mais nécessite une attention particulière en raison des structures vasculaires. Le Doppler Énergie contribue à leur repérage (11).

6.3. Poignet et main

Les articulations radio-carpienne, radio-ulnaire, médio-carpienne et métacarpo-phalangienne sont abordées par voie postérieure, sur une articulation en position neutre. Pour l'articulation métacarpophalangienne, la sonde est positionnée le long du tendon extenseur. Le point d'entrée est situé un centimètre en dessous du centre de l'articulation sur le bord médial du tendon extenseur (10, 38). L'aiguille est positionnée presque parallèlement à la peau pour progresser jusqu'à la zone d'intérêt. La gaine tendineuse des fléchisseurs peut être ponctionnée en cas d'épanchement, plus aisément juste au-dessous du pli palmaire distal (11, 14).



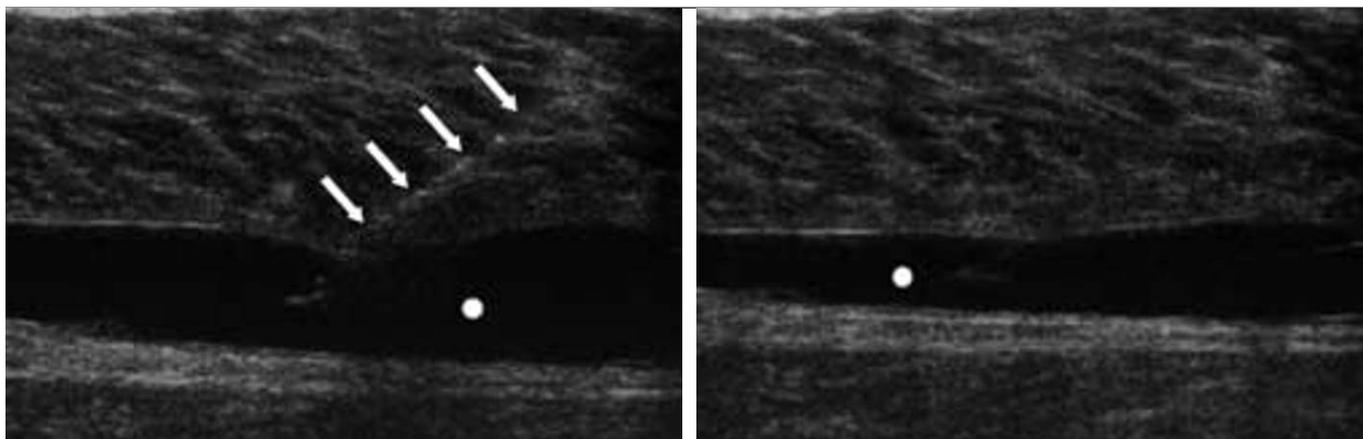
a|b

Fig. 10 : Tennis leg.

- a Collection hématique interaponeurotique en phase liquidienne.
b Excellente vidange après ponction échoguidée.

Fig. 10: Tennis leg.

- a Haematoma located in the interaponeurotic space.
b Excellent decompression after US guided aspiration.



a|b

Fig. 11 : Hématome du mollet.

- a L'aiguille (flèches droites) est en place dans l'hématome (étoile).
b Diminution significative du volume hématique en fin de procédure. (Images M Cohen).

Fig. 11: Calf haematoma.

- a Image shows the needle (arrows) located inside the haematoma (star).
b Good decompression after US guided aspiration. (Courtesy of M Cohen).

6.4. Hanche

La ponction est effectuée par voie antérieure, dans le récessus antérieur (1, 11, 41), le patient étant en décubitus dorsal, la hanche en légère rotation externe. Le doppler permet de repérer le paquet vasculonerveux fémoral.

6.5. Genou

Le compartiment intra-articulaire est abordé par voie antéro-latérale ou plus couramment par voie antéro-médiale (1, 11) en fonction des habitudes et de l'expérience des opérateurs. La ponction de la bourse commune du semi-membraneux et du gastrocnémien médial nécessite un repérage préalable des vaisseaux poplités. Les kystes arthrosynoviaux peuvent être infiltrés par cette voie (fig. 8).

6.6. Cheville et pied

L'abord talo-crural est réalisé par voie antérieure, avec repérage préalable de l'artère tibiale antérieure (1, 11) (fig. 9) ; l'abord talo-

calcanéen est, quant à lui, réalisé par voie latérale. Le Doppler Énergie permet de localiser la partie distale de l'artère tibiale antérieure (11). Les différentes gaines tendineuses peuvent également aisément être ponctionnées, dans des buts diagnostiques ou thérapeutiques.

Drainages

1. Traumatismes musculaires du sportif

Les muscles squelettiques représentent environ 40 % du poids corporel de l'homme. Les lésions musculaires concernent fréquemment, mais pas toujours les sportifs, quel que soit leur niveau de pratique. Le développement important récent des pratiques sportives génère une augmentation des accidents musculaires. Le sport de haut niveau a de plus des exigences particulières.

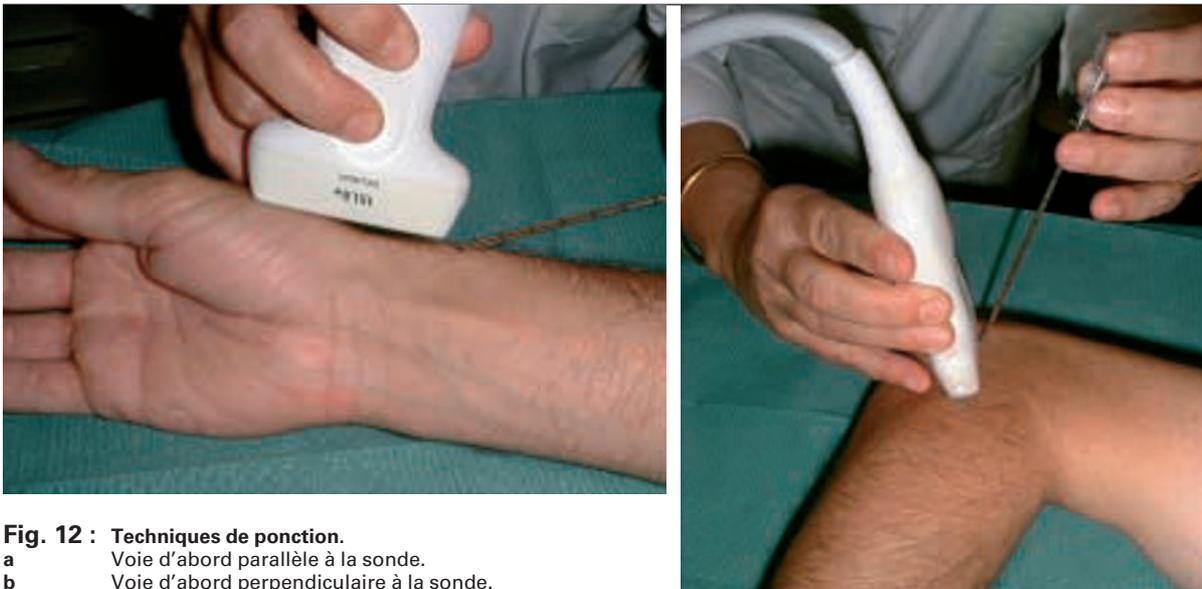


Fig. 12 : Techniques de ponction.
a Voie d'abord parallèle à la sonde.
b Voie d'abord perpendiculaire à la sonde.

Fig. 12: Technique of puncture.
a Needle parallel to the transducer.
b Needle perpendicular to the transducer.

Une des caractéristiques des traumatismes musculaires, qu'ils soient intrinsèques ou extrinsèques, est d'être fréquemment accompagnés de collections hématiques (42), initiaux ou secondaires, pour lesquels une évacuation précoce présente de nombreux avantages. Ces saignements sont peut-être en rapport avec des lésions des réseaux veineux (42). L'échographie ostéo-articulaire, qui s'impose de plus en plus comme la technique de référence de première intention dans ce type de pathologie, notamment pour permettre d'établir un diagnostic et un pronostic, permet en outre, souvent dans un même temps, de réaliser un geste thérapeutique (43-45).

Les traumatismes musculaires directs s'accompagnent fréquemment de collections hématiques, soit dans la zone contuse (notamment le vaste intermédiaire dans les traumatismes antérieurs de cuisse), soit de siège sous-cutané (collection de Morel-Lavallée). Dans ce dernier cas, le liquide hématique est le plus souvent rosé, très fluide, rarement sanglant, en raison de sa composante lymphatique. Dans les traumatismes musculaires indirects, les hématomes sont périmusculaires, sous aponévrotiques ou inter aponévrotiques.

L'évacuation d'une collection hématique permet la prévention des troubles circulatoires, lymphatiques et veineux, atténue la douleur, limite cicatrices pathologiques, favorise la guérison *ad integrum*, raccourcit les délais de guérison. Elle est donc fondamentale, notamment chez le sportif de haut niveau. L'échoguidage facilite le geste thérapeutique, la ponction à l'aveugle étant souvent difficile, douloureuse et inefficace (42) (fig. 10).

Quand on objective un hématome en phase liquidienne, il est licite de le ponctionner. Certaines équipes rapportent que l'hématome est difficile à ponctionner à la phase précoce en raison de son caractère gélatineux (44). Il semble néanmoins préférable de réaliser l'examen le plus tôt possible (J2 à J5 par rapport au traumatisme). Des phases liquidiennes peuvent être observées plus tardivement par rapport au traumatisme (à une semaine, ou à trois semaines en phase lytique du caillot) (42) (fig. 11).

Des localisations traumatiques comme le mollet (désinsertion du gastrocnémien médial) ou la cuisse (vaste intermédiaire) justi-

fient un contrôle en raison d'un fort potentiel de saignement secondaire et de syndrome de loge.

La ponction doit être réalisée par un opérateur entraîné, sous échoguidage grâce à un matériel de haute gamme, dans des conditions d'asepsie stricte, après avoir recherché d'éventuelles contre-indications au geste (traitement anticoagulant). On utilise souvent une aiguille de gros calibre (16-18 G), après anesthésie locale. Le geste doit toujours être associé à une contention efficace rapide pour limiter la récurrence hématique. Une approche multidisciplinaire est toujours souhaitable.

2. Drainage des abcès

L'échographie permet un guidage précis dans les drainages des abcès (45). Toutes les localisations sont envisageables. Des travaux ont notamment concerné des drainages d'abcès de cuisse et du muscle iliopsoas (46, 47). L'échographie est irremplaçable notamment dans le cas particulier des abcès au voisinage de matériel d'ostéosynthèse (45).

Biopsies

L'échographie interventionnelle occupe une place non négligeable dans le diagnostic et l'éventuel repérage pré-opératoire des lésions tumorales, notamment lorsqu'elles sont peu profondes, par rapport à la tomодensitométrie qui reste une technique plus lourde et irradiante. Ainsi, de nombreuses équipes pratiquent la biopsie sous échoguidage depuis plusieurs années pour obtenir un diagnostic histologique, en accord avec l'équipe chirurgicale qui prendra en charge secondairement le patient (48-53). Ce dernier point est fondamental en raison des risques éventuels de dissémination.

1. Biopsies osseuses

Quatre groupes de lésions osseuses sont à différencier :

- lésions lytiques avec une importante masse de tissus mous ;

- lésions osseuses lytiques avec une corticale interrompue mais sans masse dans les parties molles ;
- lésions lytiques mais avec une corticale intacte ;
- lésions osseuses condensantes.

Les biopsies des lésions lytiques avec une interruption corticale et une masse dans les tissus mous ne présentent aucun caractère spécifique par rapport aux biopsies des parties molles. L'approche échographique est bien connue avec une précision supérieure à 90 % dans toutes les séries (51).

La même technique est utilisée dans les lésions lytiques avec rupture corticale mais sans masse dans les tissus mous en introduisant l'aiguille dans la lésion à travers la rupture corticale sous guidage échographique.

L'échographie peut détecter des changements précoces sans rupture de la corticale des lésions qu'elles soient condensantes ou non. La profondeur de la biopsie n'est pas guidée par les ultrasons mais repérée et mesurée de façon antérieure grâce au scanner (ou à l'IRM). L'abord de la lésion nécessite une biopsie osseuse ouvrant une fenêtre dans la tumeur sous-jacente.

Les ultrasons ont l'avantage de repérer les structures à éviter : les vaisseaux et les zones très fortement vascularisées ou encore la surface pleurale et pulmonaire, réduisant le risque de pneumothorax lors des biopsies costales. L'utilisation du doppler permet de réaliser la biopsie dans une zone tumorale active (repérage de la néo-vascularisation tumorale) et non pas nécrotique (zone dans laquelle on ne retrouve aucune vascularisation).

Des difficultés persistent comme la difficulté de réaliser l'échographie de lésions profondes en particulier au niveau des corps vertébraux et du pelvis, ou encore la visualisation des lésions qui n'altèrent pas l'échogénéicité de la corticale ; enfin la pénétration manuelle d'une lésion sclérotique très dure peut être difficile. Dans ces cas, l'utilisation de guidage sous tomodensitométrie est plus facile.

2. Biopsies synoviales

Ces biopsies sont utiles chaque fois qu'une affection synoviale réclame un diagnostic étiologique. L'arthrite infectieuse constitue l'indication la plus fréquente chaque fois que l'analyse du liquide de ponction articulaire n'a pas fait sa preuve. La recherche d'une chondromatose synoviale, d'une synovite villonodulaire, d'une sarcoïdose ou d'une amylose est moins fréquente. La biopsie n'assure pas le diagnostic des rhumatismes inflammatoires et des connectivites du fait du manque de spécificité de leurs lésions anatomo-pathologiques mais elle peut toutefois orienter le diagnostic en association avec d'autres examens.

Les biopsies synoviales nécessitent une visualisation de l'aiguille sur l'ensemble de son trajet en temps réel. On utilise des aiguilles à guillotine, le calibre variant de 14 à 18 G en fonction de l'articulation visée et de l'épaississement synovial visé. Au mieux la biopsie est réalisée automatiquement (aiguille fixée sur un pistolet ou système d'aiguille automatique jetable) ce qui permet de viser la cible sans bouger.

Le choix de la cible à ponctionner doit être déterminé axialement et longitudinalement afin de visualiser les structures adjacentes. On peut s'aider du Doppler pour détecter les structures vasculaires. La biopsie doit être effectuée là où l'épaississement synovial est le plus important.

Les voies d'abord sont identiques à celles utilisées pour les infiltrations et les aspirations (fig. 12 et 13).



Fig. 13 : Biopsie synoviale. Bonne visualisation de l'aiguille (flèches droites) dans l'épanchement intra-articulaire (étoile).

Fig. 13: Synovial biopsy. Excellent visualization of the needle (arrows) inside the joint effusion (star).

3. Biopsies des parties molles

Trois techniques de ponction des parties molles peuvent être réalisées.

En cas de masse volumineuse et profonde, un marquage cutané avec un feutre peut être effectué après avoir évalué la profondeur de la cible. La biopsie est alors réalisée sans guidage échographique en temps réel, en piquant dans le marquage perpendiculairement à la peau.

Il est également possible de placer le milieu de la cible au centre de la sonde et d'introduire l'aiguille latéralement au milieu de la sonde avec une légère inclinaison pour entrer dans le plan de coupe. Cette méthode permet d'effectuer le trajet le plus court jusqu'à la cible.

La troisième méthode consiste à effectuer une inclinaison de l'aiguille afin de la visualiser sur l'ensemble de son trajet jusqu'à la cible. La cible est positionnée au centre de la sonde et l'aiguille est introduite le plus tangentiellement possible à une des extrémités de la sonde en direction de la cible. Cette méthode est celle qu'il faut privilégier si la masse à biopsier est de petite taille ou si des structures anatomiques doivent être évitées. Une dégradation de l'image échographique permet souvent une meilleure visualisation de l'aiguille (déplacement de la focale, angulation du faisceau ultrasonore pour le rendre plus tangentiel à l'axe de l'aiguille, désactivation de l'HDI).

Échographie interventionnelle des nerfs périphériques

L'échographie est devenue la technique de référence pour visualiser même les petites altérations pathologiques des nerfs périphériques (54, 55). Il est possible de réaliser des infiltrations des névromes et dans les syndromes canauxaires, à visée thérapeutique sous guidage échographique. L'anesthésie offre de nouveaux champs d'application.

1. Traitement des névromes intermétatarsiens de Morton

Le névrome de Morton est l'une des pathologies les plus communes de douleur du troisième espace intercapito-métatarsien qu'il faut différencier des fractures de fatigue, des

instabilités métatarso-phalangiennes ainsi que des bursites inter-métatarsiennes et sous-capitales. Il est possible d'effectuer une injection échoguidée de dérivé cortisoné à proximité du nerf, éventuellement répétée. Classiquement, le traitement est la neurolyse ou plus rarement la neurectomie mais l'injection d'alcool sous contrôle échographique est une alternative moins agressive, proposée par Fanucci *et al.* (56).

Les résultats à long terme indiquent un fort pourcentage de succès clinique comparable ou supérieur à la chirurgie. Il semble cependant que les névromes hypo-échogènes avec très forte atténuation postérieure présentent de moins bons résultats cliniques que les autres types de névromes.

L'échostructure des névromes traités change avec le temps : on retrouve une augmentation de leur échogénéité alors que le volume peut rester identique ou diminuer.

2. Injections de phénol sous échoguidage dans les névromes des moignons après amputation

Les névromes traumatiques des moignons correspondent à une prolifération désorganisée de fascicules nerveux qui surviennent après l'amputation d'un membre. Les lésions nerveuses identiques peuvent également se produire par régénération après un traumatisme nerveux. Les injections au contact de ces névromes peuvent utiliser plusieurs sortes de produits : les agents stéroïdes injectés au contact de ce névrome sont bien connus pour diminuer l'inflammation réactionnelle et donc la douleur ; Westerlund a montré que le phénol provoque un œdème et une hémorragie axonale qui conduit finalement à une destruction architecturale complète du nerf (57, 58).

La douleur s'amende dans le mois qui suit la procédure même si une récurrence douloureuse peut se produire.

3. Les syndromes canaux

Il est possible d'effectuer des infiltrations échoguidées dans les syndromes canaux ; l'infiltration au voisinage du nerf médian dans le syndrome du canal carpien est l'indication la plus fréquente.

4. Les blocs anesthésiques

Une nouvelle indication de l'échoguidage est apparue ces dernières années avec le repérage des structures nerveuses pour les blocs anesthésiques, notamment en poplitée (59), et au plexus brachial (60).

Ghozlan propose un bloc du nerf supra-scapulaire chez les patients présentant une épaule gelée. Le bloc est réalisé par une aiguille introduite derrière l'extrémité distale de la clavicule (61).

Autres applications

1. Ténotomies

Testa *et al.* ont quant à eux effectué des ténotomies échoguidées dans les tendinopathies d'Achille après échec du traitement médical avec des résultats satisfaisants et sans complication notable (62).

2. Localisation de corps étrangers

L'échographie permet dans certains cas le repérage avant ablation de corps étrangers. Il est possible d'employer l'échoguidage

pour placer un hameçon à proximité du corps étranger qui aidera l'éventuel geste chirurgical (1).

Conclusion

Aujourd'hui, l'échographie interventionnelle occupe une place croissante dans les bilans diagnostiques et thérapeutiques en radiologie ostéo-articulaire. Pour être performante, elle nécessite un opérateur entraîné, du matériel moderne, une bonne maîtrise des indications et des contre-indications ainsi que des décisions pluridisciplinaires.

Références

- Cardinal E, Chhem RK, Beauregard CG. Ultrasound-guided interventional procedures in the musculoskeletal system. *Radiol Clin North Am* 1998;36:597-604.
- Parlier-Cuau V, Hamzé B, Bellaïche L, Wybier M, Laredo JD. Biopsie percutanée de la synoviale : technique. *Feuilles de Radiologie* 1999;39:225-30.
- Grassi W, Farina A, Filippucci E, Cervini C. Sonographically guided procedures in rheumatology. *Semin Arthritis Rheum* 2001;30:347-53.
- Balint PV, Kane D, Hunter J et al. Ultrasound guided versus conventional joint and soft tissue fluid aspiration in rheumatology practice: a pilot study. *J Rheumatol* 2002;29:2209-13.
- Grassi W, Filippucci E, Busilacchi P. Musculoskeletal ultrasound. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2004;18:813-26.
- Naredo E, Cabero F, Beneyto P *et al.* A randomized comparative study of short term response to blind injection versus sonographic-guided injection of local corticosteroids in patients with painful shoulder. *J Rheumatol* 2004;31:308-14.
- Kane D, Balint PV, Sturrock R, Grassi W. Musculoskeletal ultrasound — a state of the art review in rheumatology. Part 1: Current controversies and issues in the development of musculoskeletal ultrasound in rheumatology. *Rheumatology* 2004;43:823-8.
- Kane D, Grassi W, Sturrock R, Balint PV. Musculoskeletal ultrasound — a state of the art review in rheumatology. Part 2: Clinical indications for musculoskeletal ultrasound in rheumatology. *Rheumatology (Oxford)* 2004;43:829-38.
- Ho CF, Chiou HJ, Chou YH, Chang CY. Peritendinous lesions. The role of high-resolution ultrasonography. *Clin Imaging* 2003;27:239-50.
- Lemaire V, Charbonnier B, Gruel Y, Goupille P, Valat JP. Joint injections in patients on antiplatelet or anticoagulant therapy: risk minimization. *Joint Bone Spine* 2002;69:8-11.
- Marin F, Duvauferrier R. *Échographie synoviale*. Montpellier : Sau-ramps Médical, 2002.
- Sofka CM, Adler RS. Sonography of cubital bursitis. *AJR Am J Roentgenol* 2004;183:51-3.
- Sofka CM, Adler RS. Ultrasound-guided interventions in the foot and ankle. *Semin Musculoskelet Radiol* 2002;6:163-8.
- Van Vugt RM, Van Dalen A, Bijlsma JW. The current role of high-resolution ultrasonography of the hand and wrist in rheumatic diseases. *Clin Exp Rheumatol* 1998;16:454-8.
- Breidahl WH, Newman JS, Taljanovic MS, Adler RS. Power Doppler sonography in the assessment of musculoskeletal fluid collections. *AJR Am J Roentgenol* 1996;166:1443-6.
- Arroll B, Goodyear-Smith F. Corticosteroid injections for painful shoulder: a meta-analysis. *Br J Gen Pract* 2005;55:224-8.
- Akgun K, Birtane M, Akarirmak U. Is local subacromial corticosteroid injection beneficial in subacromial impingement syndrome? *Clin Rheumatol* 2004;23:496-500.

18. Wank R, Miller TT, Shapiro JF. Sonographically guided injection of anesthetic for iliopsoas tendinopathy after total hip arthroplasty. *J Clin Ultrasound* 2004;32:354-7.
19. Fredberg U, Bolvig L, Pfeiffer-Jensen M, Clemmensen D, Jakobsen BW, Stengaard-Pedersen K. Ultrasonography as a tool for diagnosis, guidance of local steroid injection and, together with pressure algometry, monitoring of the treatment of athletes with chronic jumper's knee and Achilles tendinitis: a randomized, double-blind, placebo-controlled study *Scand J Rheumatol* 2004;33:94-101.
20. Farin PU, Jaroma H, Soimakallio S. Rotator cuff calcifications: treatment with US-guided technique. *Radiology* 1995;195:841-3.
21. Farin PU, Rasanen H, Jaroma H, Harju A. Rotator cuff calcifications: treatment with ultrasound-guided percutaneous needle aspiration and lavage. *Skeletal Radiol* 1996;25:551-4.
22. Giacomoni P, Siliotto R. Echo-guided percutaneous treatment of chronic calcific tendinitis of the shoulder. *Radiol Med (Torino)* 1999;98:386-90.
23. Cooper G, Lutz GE, Adler RS. Ultrasound-guided aspiration of symptomatic rotator cuff calcific tendonitis. *Am J Phys Med Rehabil* 2005;84:81.
24. Aina R, Cardinal E, Bureau NJ et al. Calcific shoulder tendinitis: treatment with modified US-guided fine-needle technique. *Radiology* 2001;221:455-61.
25. Farin PU. Consistency of rotator-cuff calcifications. Observations on plain radiography, sonography, computed tomography, and at needle treatment. *Invest Radiol* 1996;31:300-4.
26. Chiou HJ, Chou YI, Wu JJ, Huang TF, Ma HL, Hsu CC et al. The role of high-resolution ultrasonography in management of calcific tendonitis of the rotator cuff. *Ultrasound Med Biol* 2001;27:735-43.
27. Jakobeit C, Winiarski B, Jakobeit S, Welp L, Spelsberg G. Ultrasound-guided, high-energy extracorporeal — shock-wave treatment of symptomatic calcareous tendinopathy of the shoulder. *ANZ J Surg* 2002;72:496-500.
28. Pan PJ, Chou CL, Chiou HJ et al. Extracorporeal shock wave therapy for chronic calcific tendinitis of the shoulders: a functional and sonographic study. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84:988-93.
29. Sarrat P, Cohen M, Carrasset S, Godde J, Franceschi JP, Aswad R. Focused lithotripsy in the treatment of tendinosis calcarea of the shoulder: results at 2 months and one year. *J Radiol* 2004;85:1721-5.
30. Sorensen L, Teichert G, Skjodt T, Dichmann OL. Preoperative ultrasonographic-guided marking of calcium deposits in the rotator cuff facilitates localization during arthroscopic surgery. *Arthroscopy* 2004;20 (Suppl) 2:103-4.
31. Chiou HJ, Chou YH, Wu JJ et al. Alternative and effective treatment of shoulder ganglion cyst: ultrasonographically guided aspiration. *J Ultrasound Med* 1999;18:531-5.
32. Buchbinder R, Green S, Youd JM. Corticosteroid injections for shoulder pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2003;CD004016.
33. Buchbinder R, Green S. Effect of arthrographic shoulder joint distension with saline and corticosteroid for adhesive capsulitis. *Br J Sports Med* 2004;38:384-5.
34. Ryans I, Montgomery A, Galway R, Kernohan WG, McKane R. A randomized controlled trial of intra-articular triamcinolone and/or physiotherapy in shoulder capsulitis. *Rheumatology* 2005;44:529-35.
35. Migliore A, Tormenta S, Martin LS et al. Safety profile of 185 ultrasound-guided intra-articular injections for treatment of rheumatic diseases of the hip. *Reumatismo* 2004;56:104-9.
36. Martinoli C, Bianchi S, Prato N, Pugliese F et al. US of the shoulder: non-rotator cuff disorders. *Radiographics* 2003;23:381-401.
37. Zwar B, Read W, Noakes B. Sonographically Guided Glenohumeral Joint Injection. *Am J Roentgenol* 2004;183:48-50.
38. Peetrons P, Rasmussen OS, Cretteur V, Chhem RK. Ultrasound of the shoulder joint: non « rotator cuff » lesions. *Eur J Ultrasound* 2001;14:11-9.
39. Kock HJ, Jurgens C, Hanke J, Schmit-Neuerburg KP. Standardized ultrasound examination for classification of instability of the acromioclavicular joint. *Unfallchirurgie* 1994;20:66-71.
40. Fenkl R, Gotzen L. Sonographic diagnosis of the injured acromioclavicular joint. A standardized examination procedure. *Unfallchirurgie* 1992;95:393-400.
41. Berman L, Fink AM, Wilson D, Mc Nally E. Technical note: identifying and aspiration hip effusions. *Br J Radiol* 1995;68:306-10.
42. Brasseur JL, Tardieu M. Échographie du système locomoteur. Paris : Masson, 1999.
43. Hanneschlagger G, Reschauer R, Riedelberger W, Stadler R. High resolution real time sonography in sports specific muscle injuries. Sonomorphologic-anatomic correlation and diagnostic criteria. *Sportverletz Sportschaden* 1988;2:45-54.
44. Lee JC, Healy J. Sonography of lower limb muscle injury. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:341-51.
45. Bureau NJ, Ali SS, Chhem RK, Cardinal E. Ultrasound of musculoskeletal infections. *Semin Musculoskelet Radiol* 1998;2:299-306.
46. Van Sonnenberg E, Wittich GR, Casola G et al. Sonography of thigh abscess: detection, diagnosis, and drainage. *AJR Am J Roentgenol* 1987;149:769-72.
47. Gupta S, Suri S, Gulati M, Singh P. Ilio-psoas abscesses: percutaneous drainage under image guidance. *Clin Radiol* 1997;52:704-7.
48. Rutten MJ, Schreurs BW, Van Campen A, Schreuder HW. Excisional biopsy of impalpable soft tissue tumors. Us guided preoperative localization in 12 cases. *Acta Orthopædica Scandinavia* 1997;68:384-6.
49. Christensen RA, Van Sonnenberg E, Casola G, Wittich GR. Interventional ultrasound in the musculo-skeletal system. *Radiol Clin North Am* 1998;26:145-56.
50. Rowley V, Coopenberg PL. Ultrasound guided biopsy in interventional ultrasound. *Clin Diag Ultrasound* 1997;21:59-76.
51. Saifuddin A, Mitchell R, Burnett SJ, Sandison A, Pringle JA. Ultrasound-guided needle biopsy of primary bone tumors. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82:50-4.
52. Liu JC, Chiou HJ, Chen WM et al. Sonographically guided core needle biopsy of soft tissue neoplasms. *J Clin Ultrasound* 2004;32:294-8.
53. Gil-Sanchez S, Marco-Domenech SF, Irurzun-Lopez J et al. Ultrasound-guided skeletal biopsies. *Skeletal Radiol* 2001;30:615-9.
54. Quinn TJ, Jacobson TA, Craig JC, Van Holsbeeck MT. Sonography of Morton's neuromas. *AJR* 2000;174:1723-8?
55. Peer S, Bodner G, Meirer R, Willeit J, Piza-Katzer H. Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. *AJR* 2001;177:415-9.
56. Fanucci E, Masala S, Fabiano S, Perugia D et al. Treatment of intermetatarsal Morton's neuroma with alcohol injection under US guide: 10-month follow-up. *Eur Radiol* 2004;14:514-8.
57. Gruber H, Kovacs P, Peer S, Frischhut B, Bodner G. Sonographically guided phenol injection in painful stump neuroma. *Am J Roentgenol* 2004;182:952-4.
58. Westerlund T, Vuorinen V, Roytta M. Same axonal regeneration rate after different endoneurial response to intraneural glycerol and phenol injection. *Acta Neuropathol* 2001;102:41-54.
59. Sites BD, Gallagher J, Sparks M. Ultrasound-guided popliteal block demonstrates an atypical motor response to nerve stimulation in 2 patients with diabetes mellitus. *Reg Anesth Pain Med* 2003;28:479-82.
60. Marhofer P, Sitzwohl C, Greher M, Kapral S. Ultrasound guidance for infraclavicular brachial plexus anaesthesia in children. *Anaesthesia* 2004;59:642-6.
61. Ghozlan R, Dupuis M, Lecarpentier C. Traitement de la rétraction capsulaire de l'épaule par infiltration de corticoïdes au niveau de l'échancrure du nerf supra-scapulaire. À propos de 11 cas. *Revue du rhumatisme* 1999;66:728.
62. Testa V, Capasso G, Benazzo F, Maffulli N. Management of Achilles tendinopathy by ultrasound-guided percutaneous tenotomy. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:573-80.

Histoire de la maladie

Patient âgé de 52 ans, maçon, qui présente une scapuloalgie droite invalidante depuis 3 mois. Le patient signale une gêne à prédominance nocturne. Il n'y a pas de contexte traumatique identifié. L'examen clinique retrouve un test de Jobe franchement positif ainsi que des arguments en faveur d'un conflit sous-acromial.

Le bilan radiographique n'objective pas d'omarthrose significative, pas de foyer calcique en projection tendineuse, un acromion grade 1 selon Bigliani. Il existe quelques remaniements à caractère chronique à type d'ostéocondensation en regard de l'insertion du supra-épineux modérée.

Le bilan échographique statique et dynamique conforte l'hypothèse de conflit sous-acromial, mais n'apporte aucun argument en faveur d'une rupture de la coiffe des rotateurs, même à caractère non transfixiant, avec un très bon indice de confiance diagnostique. L'échostructure tendineuse est cependant hétérogène. L'examen comparatif de l'épaule gauche est jugé normal, comte-tenu de la profession du patient.

Questions

1. Quel est le diagnostic envisagé ?
2. Que peut proposer l'échographe à ce patient ?
3. Quelles sont les précautions à respecter pour la réalisation du traitement ?
4. Quels sont les avantages de l'échoguidage ?

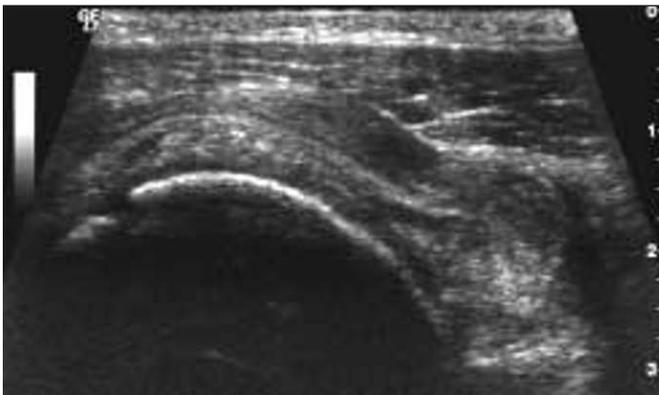


Fig. 1 : Coupe frontale oblique de l'épaule droite.

Fig. 1: *Coronal oblique US image of the right shoulder.*

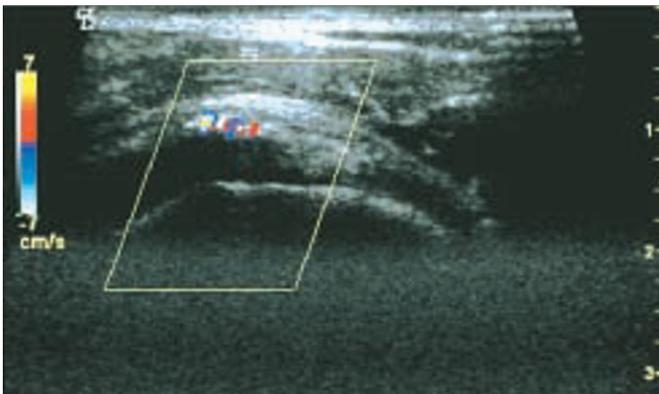


Fig. 2 : Doppler-couleur : mise en évidence d'une hypervascularisation synoviale.

Fig. 2: *Color Doppler: hypervascular synovium.*



Fig. 3 : Échographie de l'épaule droite après infiltration. Bonne visualisation du dérivé cortisoné en situation intra-bursale.

Fig. 3: *Right shoulder US after injection. Demonstration of the injected solution within the bursa.*

Réponses

1. L'échographie objective nettement, outre les stigmates de tendinopathie du sus-épineux, une collection sous-acromio-delhoïdienne hyperéchogène significative (*fig. 1*). Le Doppler-couleur permet de visualiser des flux dans la bourse (*fig. 2*). En l'absence de rupture de la coiffe, le diagnostic de bursopathie sous-acromio-delhoïdienne avec tendinopathie de la coiffe des rotateurs, dans un contexte probable de conflit sous-acromial est un diagnostic cohérent.

2. Parallèlement aux traitements classiques, il est licite de proposer une infiltration échoguidée de la bourse sous-acromio-delhoïdienne.

3. Il est nécessaire d'éliminer préalablement une contre-indication totale ou relative au geste :

- infection en cours ;
- diabète ;
- traitement anti-coagulant ou anti-agrégant ;
- notion d'allergie ;
- dates et nombre des éventuelles infiltrations antérieures ;

- grossesse.

Le patient doit être averti des risques éventuels et de leur mode de manifestation :

- infection ;
- douleur modéré au point de ponction ;
- flush ;
- atrophie cutanée.

Tout geste doit être effectué en collaboration avec les cliniciens. Il doit être réalisé dans des conditions d'asepsie stricte, avec l'aide d'un collaborateur, par un opérateur entraîné.

Après l'infiltration, il est préférable de surveiller le patient une dizaine de minutes à la recherche d'un éventuel malaise vagal, qui survient fréquemment de manière légèrement différée.

4. L'échoguidage permet une beaucoup plus grande précision dans la réalisation du geste et de s'assurer que le dérivé cortisoné est bien en situation intra-bursale (flèches droites) (*fig. 3*). Il permet également de limiter les effractions tendineuses et/ou articulaires, de prévenir ou de déceler rapidement un éventuel saignement.

Échographie pédiatrique ostéo-articulaire

G Allen (1), D Wilson (2), R Graham (2) et D Jacob (3)

Abstract

Paediatric musculoskeletal ultrasound

J Radiol 2004;85:1924-30

Ultrasound examination is often the most effective and sometimes the only practical means of examining children with soft tissue, tendon and joint diseases (1). This review will cover the important application of diagnostic ultrasound in children musculoskeletal disorders. We will consider topics where ultrasound is the only sensible means of examination such as developmental dysplasia of the hip, where it is the best choice of several possible methods such as painful hip and when it provides an alternative or adjunct to other imaging such as the examination of soft tissue masses.

Key words: Musculoskeletal. Ultrasound dysplasia of the hip, Children.

Résumé

L'échographie est souvent le meilleur examen et parfois le seul qui soit réalisable chez l'enfant dans le cadre des maladies des parties molles, des tendons et des articulations (1). Cet article reprend les indications de l'échographie ostéo-articulaire en pédiatrie. Nous envisagerons les situations où l'échographie est la seule technique d'examen comme dans la dysplasie congénitale de hanche, les situations où l'échographie est le meilleur examen parmi d'autres comme dans la hanche douloureuse et les situations où l'échographie est une alternative ou un complément à d'autres techniques d'examen comme dans le bilan des tumeurs des parties molles.

Mots-clés : Musculotendineux. Ultrason, Enfant, Dysplasie de la hanche.

Il n'y a pas eu de modification majeure de l'équipement de base de l'échographie ces dernières années, mais par contre, on a constaté une amélioration régulière et très importante de la qualité des images, notamment dans leur résolution. Parallèlement, la meilleure compréhension de l'anatomie échographique normale et pathologique a apporté un progrès considérable. Il y a maintenant des cours de formation et des publications qui permettent à l'examineur un niveau de pratique plus élevé. L'association de l'amélioration technique et de la meilleure connaissance de l'échographie pédiatrique ostéo-articulaire a permis d'élargir le champ des indications. L'échographie est actuellement beaucoup plus performante même par rapport à des temps récents.

Préparation du patient

Les enfants nécessitent la même attention et les mêmes précautions que des adultes. Il est important de leur expliquer l'examen, pourquoi on le réalise et ce qu'il nécessite. Le vocabulaire devra être simplifié pour les enfants en bas âge mais il reste important de communiquer directement avec l'enfant. Ils sont très effrayés et il est important pour eux qu'on leur explique ce que l'on fait et pourquoi. Il est conseillé de demander à l'un ou aux deux parents de rester avec l'enfant, les explications complémentaires pouvant leur être adressées. On ne doit pas oublier que l'enfant écoute et comprend beaucoup plus que l'on pense.

Une description de ce que vous êtes sur le point de faire doit être suivie rapidement de l'examen proprement dit, afin d'éviter que l'enfant ne s'inquiète de ce qui va advenir.

Le gel chauffé est utile bien que certains préfèrent un gel plus visqueux pour l'étude des zones de pli ou des surfaces non planes comme les doigts ou l'aîne. Plus le gel est chaud, plus il est liquide.

Il peut être intéressant de montrer la sonde échographique à l'enfant. On peut simuler l'examen sur soi et on peut le laisser toucher et manipuler la sonde lui-même. Nous avons rencontré des enfants qui subissent l'examen répété d'un site d'ostéotomie pour allongement de membre qui sont suffisamment habitués pour mettre la sonde en place eux-mêmes. Ils connaissent les zones douloureuses et savent bien quelle zone du fixateur externe permet une étude appropriée de l'espace inter-os.

S'il y a une éventualité de ponction, il est judicieux d'appliquer préalablement du gel anesthésique local sous un bandage provisoire à l'emplacement probable du geste. Le gel de Lignocaine met au moins une heure pour être efficace. Il produit très rarement des effets indésirables et nous constatons que son application précoce permet une procédure plus simple, moins douloureuse et psychologiquement moins stressante. En agissant avec précaution, une ponction articulaire peut être exécutée avec une pénibilité minimale pour l'enfant. Une sédation n'est pratiquement jamais utile. Le matériel utilisé devra avoir été préparé et recouvert d'une protection stérile avant que l'enfant n'entre dans la salle. Quand une ponction est nécessaire, on doit pouvoir disposer d'une aide pour éviter que l'enfant ne fléchisse le membre ou ne saisisse la seringue. Cette personne ne doit pas bloquer l'enfant, mais plutôt le tenir de façon réconfortante, prête à agir rapidement au cas où. Les parents ne représentent pas l'aide idéale. Si une ponction est réalisée, il est sage de vérifier que le parent n'est pas « aiguillophobe » pour lui permettre éventuellement de s'asseoir pendant la procédure. La position probablement idéale du ou des parents est du côté opposé à la personne qui tient l'enfant. Le consentement parental doit être obtenu par écrit et le remplissage du formulaire constitue un prétexte pour les éloigner de l'enfant. Avant de commencer, et quelle que soit l'opinion des parents, nous demandons toujours le consentement oral de l'enfant. Il sera averti qu'il aura mal, mais de façon très brève. Dire qu'il n'y aura pas ou très peu de douleur et occasionner ensuite une douleur importante vous fera perdre la confiance de l'enfant, ainsi qu'aux praticiens ultérieurs.

(1) Royal Orthopaedic Hospital, Bristol Road South, Northfield, B312AP, Birmingham, UK. (2) Nuffield Orthopaedic Centre, Windmill Road, Headington, Oxfordshire OX37LD, Oxford, UK. (3) Département d'Imagerie Médicale, CHRU de Dijon, BP 77908, 21079 Dijon.
Correspondance : D Wilson

Indications

1. L'échographie, la seule technique d'examen

1.1. Dysplasie congénitale de la hanche

De un à trois mille enfants environ naissent porteurs d'une dysplasie de hanche suffisamment sévère pour les empêcher de marcher à un an. Beaucoup plus d'enfants ont une faible couverture, avec tête subluxable qui conduira à l'ostéoarthrose précoce. La dysplasie de hanche peut être découverte dans le milieu de la vie par une arthrose prématurée ; c'est d'ailleurs la cause la plus fréquente de prothèse totale de hanche chez le sujet de moins de 55 ans. Les facteurs de risque sont le sexe féminin (ratio de 9/1), les antécédents familiaux, l'accouchement par le siège ainsi que d'autres dystocies.

Il existe une opportunité de traiter simplement les enfants par attelles légères dans les 6 à 10 semaines après la naissance pour limiter la sévérité de l'affection et c'est pourquoi on doit absolument dépister ces enfants en danger. Dans la plupart des pays, le dépistage est initialement assuré par l'examen clinique en utilisant les tests définis par Ortolani et Barlow qui permettent la détection des articulations instables et subluxables. Même dans les mains du plus expérimenté des cliniciens environ 25 % de hanches qui tireraient bénéfice du traitement sont jugées normales. L'échographie améliore le pourcentage de détection en objectivant le caractère peu profond de l'acétabulum (*fig. 1*) et en mettant en évidence les formes légères de subluxation transitoire. En Allemagne et en Autriche, tous les enfants en bas âge sont examinés par échographie, tandis que dans d'autres pays européens, seuls les enfants en bas âge présentant des facteurs de risque en bénéficient (2). Il n'est pas encore prouvé que ces attitudes aboutissent à une réduction de l'arthrose précoce, mais il est confirmé que quand le dépistage est effectué la fréquence de la chirurgie pelvienne chez l'enfant en bas âge est nettement réduite.

Les protocoles échographiques sont pour la plupart basés sur le travail de Reinhart Graf (3). On réalise une coupe coronale puis on apprécie la profondeur de l'acétabulum en construisant des lignes le long de l'ilium, du labrum, de l'articulation coxo-fémorale et du toit de l'acétabulum. Les angles entre ces lignes permettent une classification qui est alors employée pour déterminer le protocole thérapeutique. D'autres praticiens emploient la méthode Tejersson et Morin où la même ligne iliaque est comparée aux lignes parallèles tracées aux bords médial et latéral de la tête fémorale (4, 5). Le pourcentage de tête fémorale à l'intérieur de l'acétabulum est alors mesuré. Il est classique de dire que les manœuvres dynamiques, dérivées de différents protocoles d'examen clinique, améliorent la précision diagnostique et le pourcentage de cas dépistés dans le cadre des subluxations modérées. La hanche infantile qui est peu profonde et instable peut évoluer favorablement rapidement et devenir normale en quelques semaines. Dans des cas limites, on peut répéter périodiquement les échographies et réduire le nombre d'immobilisations précoces. La technique échographique est relativement simple ; il est néanmoins fondamental de bien se positionner dans un plan coronal strict, les erreurs d'inclinaison ou de rotation pouvant donner des faux-positifs ou des faux-négatifs.

1.2. Détection des corps étrangers

Les traumatismes pénétrants peuvent laisser des corps étrangers dans les parties molles. S'ils sont en métal ou en verre, on peut les

visualiser en radiographie standard, mais beaucoup de structures organiques comme le bois ou les fibres ne sont pas visibles. L'échographie est une méthode très sensible pour détecter ces fragments et aucune technique d'imagerie ne peut la concurrencer dans ces indications (6). L'IRM est souvent quasi normale car le corps étranger est en hyposignal sur toutes les séquences. Si le corps étranger est présent pendant un certain temps, il est susceptible de générer une réaction granulomateuse avec œdème et tuméfaction. Ceci peut mimer une tumeur et apparaîtra comme une masse en hypersignal sur les séquences pondérées T2.

L'échographie visualise les corps étrangers comme des structures hyperéchogènes avec parfois une ombre acoustique. L'œdème et les modifications réactionnelles périphériques sont hypoéchogènes et rendent le corps étranger plus visible en accentuant le contraste (7). Un examen échographique attentif permettra la détection de corps étrangers de un à deux millimètres de diamètre. Il est possible d'employer l'échoguidage pour placer un hameçon à côté du corps étranger qui aidera l'éventuel geste chirurgical. Des sondes échographiques stérilisables peuvent être employées en per opératoire dans des cas particulièrement difficiles.

2. L'échographie, la meilleure technique d'examen

2.1. Hanche douloureuse

Les enfants de quatre à dix ans peuvent se présenter avec une hanche très douloureuse, boitant avec souvent même une impossibilité de marcher en raison de la douleur. Dans la grande majorité des cas, il s'agit d'une synovite aiguë transitoire avec épanchement intra-articulaire, d'étiologie inconnue, spontanément résolutive en quelques jours. Dans une minorité de cas cependant, il s'agira d'une arthrite septique bactérienne, d'une ostéochondrite primitive de la hanche ou chez l'enfant plus âgé d'une épiphysiolyse. Rarement, ce tableau clinique peut être le signe inaugural d'une affection de la coagulation avec hémarthrose.

La stratégie de prise en charge de tels cas est variable. Certaines équipes cliniques placeront le patient en observation, avec mise en traction antalgique, bilan sanguin et VS pour détecter secondairement des signes d'infection. Cette stratégie est parfois efficace mais tous les sepsis ne se présentent pas forcément avec une fièvre ou des perturbations du bilan biologique sanguin. Un retard diagnostique peut provoquer des lésions irrémédiables de la hanche alors qu'une arthrotomie avec antibiothérapie intraveineuse aurait pu contrôler l'infection. D'autres équipes utilisent l'échographie à la recherche d'un épanchement intra-articulaire (8). La technique est simple et facile à apprendre. Le plan de référence est oblique, le long du col fémoral. La comparaison des côtés permet la détection d'épanchements intra-articulaires minimes pouvant être de l'ordre de 2 millilitres. Le liquide est visualisé comme une structure hypoéchogène déformant la capsule antérieure dans la partie la plus lâche de l'articulation (*fig. 2*). Une différence de plus de 2 millimètres par rapport au côté sain est considérée comme significative.

Une fois l'épanchement intra-articulaire authentifié, l'échographie ne permet pas le diagnostic différentiel entre arthrite, hémarthrose et transudat. La synovite aiguë transitoire peut produire un épaissement de la synoviale avec mise en évidence de petites particules au sein de l'épanchement. L'arthrite septique peut échographiquement se présenter par un épanchement liquidien pur isolé. Le diagnostic repose sur l'examen clinique de l'enfant, le bilan biologique et la réalisation d'une ponction du liquide

articulaire. Cette dernière présente l'avantage de donner un diagnostic immédiat et de soulager instantanément la douleur. L'enfant qui arrive dans un fauteuil roulant repart souvent en marchant. Ceci permet la sortie rapide de ceux dont le liquide articulaire est clair et stérile. Les inconvénients de la ponction résident dans la nécessité d'une disponibilité permanente d'un radiologue entraîné et par le caractère invasif du geste pour l'enfant, ce dernier point pouvant être atténué par l'administration une heure avant la procédure de gel anesthésique sur la peau. Pour obtenir plus de détail sur la technique de ponction, il faut se référer à l'article de Fink *et al.* (9).

2.2. Pathologie musculaire

Échographiquement, les muscles ont un aspect penné ou une structure fibrillaire. Les déchirures musculaires se présentent comme un défaut qui s'élargit lors des mobilisations actives ou passives. Un hématome sera initialement échogène, puis de plus en plus hypoéchogène au fil du temps jusqu'à la liquéfaction (*fig. 3*). Dans les lésions musculaires de type 1, il n'y a pas de modification morphologique ni d'hématome. Les lésions musculaires partielles (de type 2) se caractérisent par la discontinuité des fibres et l'existence de collections hématiques localisées. Les lésions musculaires complètes (de type 3) se présentent avec un hématome étendu, une rupture musculaire avec rétraction. Cette classification est importante à préciser pour apprécier le temps nécessaire au rétablissement, le moment adéquat pour débiter la physiothérapie et rarement de permettre de poser une indication chirurgicale (10).

L'infection musculaire est rare chez l'enfant ; échographiquement, elle se présente comme une tuméfaction hypoéchogène avec hypervascularisation en Doppler. Si on suspecte une pyomyosite, l'IRM est indiquée pour définir son ampleur et prévoir la meilleure voie d'abord pour la biopsie chirurgicale.

2.3. Pathologie tendineuse et ligamentaire

Bien que les tendons et les ligaments soient bien visualisés en IRM, il y a des problèmes pratiques de réalisation chez les enfants qui ne restent pas immobiles dans la machine. L'échographie est aussi performante et ce doit être l'examen de choix si l'on dispose d'un équipement de très haute résolution et d'un opérateur qualifié et expérimenté. Les échographes modernes ont une résolution en nombre de paires de lignes nettement meilleure que l'IRM. L'étude ultrasonographique des tendons et des ligaments des régions superficielles est indiquée, là où la technique est à son meilleur niveau de performance. En mobilisant le membre passivement et activement, on peut facilement différencier les ruptures partielles des ruptures totales ce qui peut être impossible à réaliser en IRM quand les berges de la rupture sont toujours jointives.

La résolution de l'échographie est suffisante pour exclure ou diagnostiquer une tendinopathie, une péri-tendinopathie, une rupture partielle, une enthésopathie ou une fissuration intra tendineuse (*fig. 4*).

L'échographie dynamique permet de rechercher une subluxation tendineuse (11, 12).

L'échographie est particulièrement utile en confirmant le diagnostic de l'apophyse de Osgood Schlatters à la tubérosité tibiale antérieure dans l'éventualité rare où il existe un doute clinique. Elle permet en outre dans ce cas de ne pas exposer ces patients aux rayons X (13).

2.4. Échoguidage des ponctions et biopsies

L'indication d'un geste échoguidé va dépendre de la cible et de la nécessité d'éviter des structures de voisinage. Le scanner est plus performant quand il est nécessaire d'éviter l'intestin, le poumon ou des structures remplies de gaz. L'échoguidage est indiqué lorsqu'on veut positionner une aiguille dans un muscle, à proximité d'un tendon ou dans certaines articulations (14, 15). La scopie est préférée pour la plupart des ponctions osseuses et injections articulaires.

L'échoguidage est optimisé quand l'aiguille ou le dispositif de biopsie peut être présenté parallèlement au faisceau ultrasonore. L'aiguille peut alors être très facilement identifiée grâce à son caractère réfléchissant. Si l'aiguille se présente avec un angle de plus de 45 degrés, elle peut alors n'apparaître que par un artefact distal brillant et mobile. En pratique, l'échoguidage est particulièrement indiqué dans les ponctions des structures non pleines comme les membres. Comme l'aiguille est à distance de la sonde, il est habituellement possible d'éviter de protéger stérilement cette dernière. Quand le liquide est injecté, on le visualisera grâce aux échos des bulles d'air emprisonnées.

3. L'échographie, une technique d'appoint

3.1. Les masses des parties molles

La majorité des syndrômes de masse chez l'enfant sont des kystes qui sont très bien explorés par l'échographie (16). S'il n'y a pas de contingent solide et si le kyste est en communication avec une articulation ou un tendon alors l'échographie est suffisante. Si il y a un contingent solide, un bilan IRM est alors nécessaire avant une probable biopsie. Une exception peut être envisagée devant une masse cliniquement évocatrice d'un lipome, échographiquement homogène, de siège sous-cutané, sans extension musculaire et de moins de cinq centimètres de diamètre. Ces caractéristiques bénignes autorisent le diagnostic de lipome.

Une lésion qui est partiellement liquidienne et solide avec notion de traumatisme ou de suspicion de traumatisme (situation fréquente chez l'enfant) peut correspondre à un hématome en cours de résorption et peut échographiquement être suivie jusqu'à sa guérison.

Les malformations vasculaires sont également fréquentes chez l'enfant. Le diagnostic de ces lésions la plupart du temps bénignes peut être effectué en confrontant les données cliniques, échographiques et l'anamnèse (*fig. 5*) (1).

L'échodoppler, en visualisant les structures vasculaires, aide à la caractérisation des tumeurs solides. C'est un examen moins invasif que l'IRM avec injection de gadolinium, contributif dans le diagnostic différentiel et pour poser l'indication de biopsie.

Quand un ostéochondrome est détecté en radiographie standard, l'échographie peut représenter une alternative à l'IRM pour mesurer l'épaisseur cartilagineuse (*fig. 6*). Au delà de 1,0 centimètre, quelle que soit la zone de mesure, il existe un risque important de dégénérescence maligne.

3.2. Ostéomyélite

L'infection osseuse induit des modifications osseuses, du périoste et des parties molles. Les signes radiographiques n'apparaissent parfois qu'une fois l'infection constituée. La plupart des praticiens effectuent une IRM pour assurer un diagnostic précoce quand il existe une suspicion clinique et des radiographies normales. La scintigraphie objective un foyer d'hyperfixation avant

les modifications radiographiques, mais les cartilages de croissance sont également hyperfixants et peuvent gêner le diagnostic. L'échographie peut montrer des anomalies des parties molles, mais parfois également à un stade tardif (17). La réaction périostée peut apparaître échographiquement comme une zone d'œdème péri-osseuse, mais son absence en échographie n'élimine pas le diagnostic d'ostéomyélite.

Dans l'ostéomyélite chronique, l'IRM est la technique de choix pour apprécier l'ampleur, l'extension et le caractère actif de l'affec-

tion. L'échographie peut être une technique d'appoint pour distinguer l'œdème des parties molles d'un abcès en voie de constitution (18).

3.3. Allongement de membre

Au cours des procédures chirurgicales d'allongement, l'os est maintenu grâce à des fixateurs externes, le site d'ostéotomie étant quotidiennement élargi par des ajustements du matériel. L'espace élargi est censé se combler grâce à une production osseuse. Si

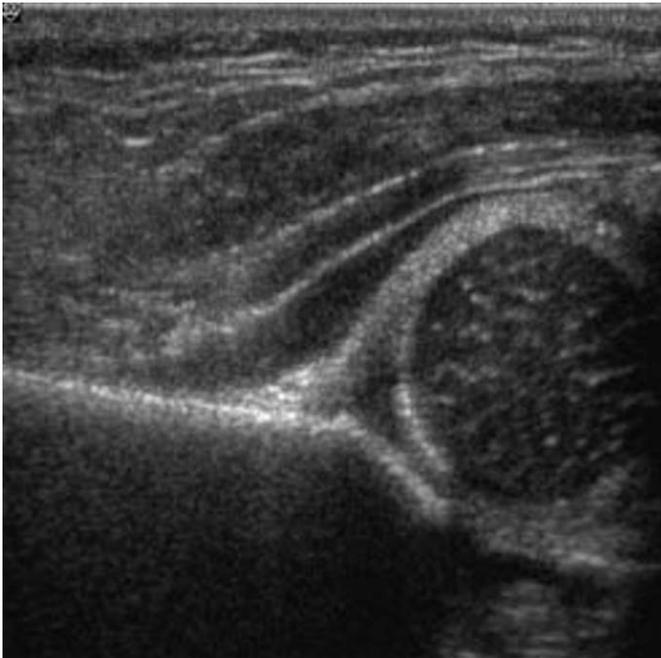


Fig. 1 : Coupe coronale d'une hanche d'enfant avec un cotyle peu profond.

Fig. 1: *A coronal view of an infant hip with a shallow acetabulum.*



Fig. 2 : Liquide moulé par la capsule articulaire matérialisé par une zone hypoéchogène en avant du col fémoral.

Fig. 2: *Fluid is seen as a hypoechoic area anterior to the femoral neck and confined by the capsule of the joint.*



Fig. 3 : Hématome de la cuisse chez un adolescent ayant fait une chute de vélo. On visualise des plages de liquéfaction de l'hématome.

Fig. 3: *A haematoma in the thigh of a teenager following a cycling accident. There are areas of liquefaction of the haematoma.*

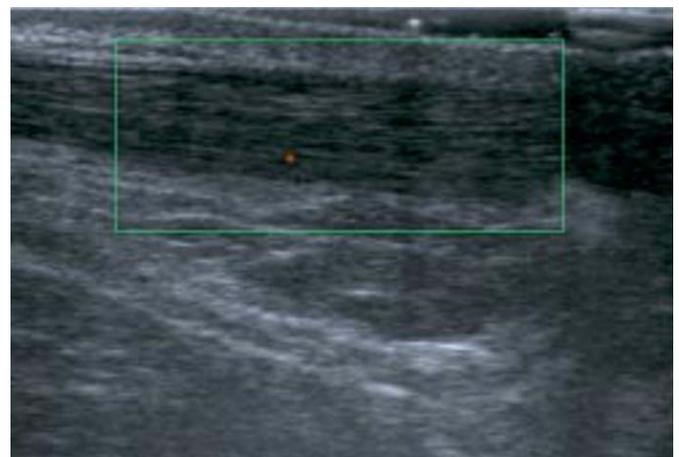


Fig. 4 : Coupe sagittale du tendon d'Achille. La petite zone en couleur correspond à l'hypervascularisation en rapport avec le traumatisme et la cicatrisation. L'évolution vers la tendinopathie chronique est évoquée quand elle persiste.

Fig. 4: *A sagittal view of the Achilles tendon. The small area of colour is due to vessel in growth as a result of focal trauma and repair. It is thought that when this condition is repeated it leads to chronic tendonopathy.*

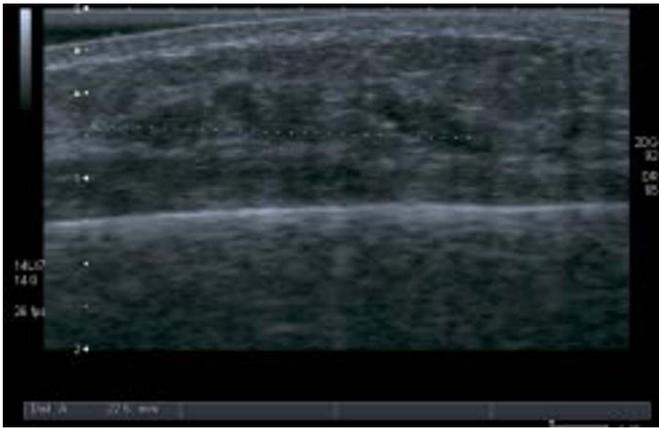


Fig. 5 : Hémangiome des parties molles contenant de multiples structures vasculaires. Les flux sont lents et difficiles à mettre en évidence. Les vaisseaux ont une disposition serpiginieuse.

Fig. 5: *A soft tissue haemangioma contains multiple vascular channels. The flow rate may be low and difficult to detect. The vessels have a lobulated serpentine pattern.*

l'élargissement est trop rapide les tissus peuvent présenter une dégénérescence kystique hémorragique. Ces lésions kystiques sont faciles à détecter grâce aux ultrasons et peuvent être ponctionnées sous échoguidage (19). Si l'élargissement est trop lent, l'ostéotomie peut consolider avant que l'allongement souhaité ne soit atteint. En échographie, l'os en formation se présente comme une structure réfléchissante avant qu'il ne soit visible sur les radiographies standard. Par conséquent, la confrontation des données échographiques et radiographiques de l'espace d'allongement peut conduire à accélérer la procédure d'élargissement (20).

3.4. Dysraphisme

L'échographie a un intérêt particulier chez l'enfant suspect de dysraphisme. La fossette sacro-coccygienne et l'hypertrichose lombosacrée constituent les manifestations cutanées les plus fréquentes. Une échographie normale permettra d'exclure la myéloméningocèle, les anomalies de fermeture du tube neural et la moelle attachée (21). Quoiqu'il en soit, l'échographie est inutile en cas de fossette et d'hypertrichose isolées en raison de la rareté de leur association avec un dysraphisme (22). Quand il existe des signes cliniques plus importants de dysraphisme spinal ou quand l'échographie est anormale, l'IRM est indiquée.

3.5. Anomalies focales des membres

Les anomalies embryonnaires des membres peuvent aboutir à des membres courts ou déformés. Pour la stratégie décisionnelle, on doit identifier la pièce manquante et préciser le moment idéal de réalisation d'une chirurgie palliative ou corrective. La radiographie standard est utile, mais ne permet pas de visualiser les structures non ossifiées. L'IRM et l'échographie permettent une meilleure exploration anatomique. Pour des raisons pratiques et en raison de son caractère dynamique, l'échographie est l'examen de choix mais l'IRM donne une meilleure vue d'ensemble et s'avère plus reproductible. Dans de nombreux cas, les examens se complètent et il est sage de les effectuer tous les deux. Par exemple, dans l'aplasie fémorale proximale, il est important de déterminer s'il y a une tête fémorale cartilagineuse et si elle est située dans le cotyle. L'échographie et l'IRM contribuent toutes deux à



Fig. 6 : Ostéochondrome. La zone hypoéchogène correspond au cartilage sessile qui dans le cas présent est fin.

Fig. 6: *An osteochondroma. The hypoechoic area is the sessile cartilage cap which in the case is thin.*

apporter une réponse, leurs résultats devant être confrontés pour obtenir un maximum de sécurité diagnostique en raison de la petite taille des structures recherchées (23).

3.6. Fractures

Bien que la grande majorité des fractures de l'enfant soient mieux diagnostiquées par la radiographie standard éventuellement complétée par un scanner, il existe quelques cas où l'échographie est utile, notamment dans les zones non ossifiées à proximité des articulations. L'échographie visualise les structures cartilagineuses distales quand l'ossification n'est pas terminée. Les épanchements intra-articulaires et les hématomes sont bien mis en évidence. Les fractures se présentent comme des discontinuités corticales ou des images en marche d'escalier. L'échographie visualise souvent très bien les lésions cartilagineuses dans les traumatismes du coude. Une technique rigoureuse est nécessaire et la comparaison avec le côté sain doit être la règle (24).

Conclusion

L'échographie est une technique performante et fiable dans l'exploration de la pathologie ostéo-articulaire chez l'enfant. Elle nécessite une bonne connaissance des indications potentielles, de l'anatomie et des autres techniques d'imagerie. Les examens sont souvent difficiles et exigent de l'expérience et une formation continue. Dans certains, on devra préférer une technique moins performante mais de réalisation plus facile à une échographie réalisée à un niveau de pratique insuffisant. Quoiqu'il en soit, dans certains cas l'échographie est la seule technique appropriée et en l'absence de pratique performante sur un site, on devra envisager un transfert dans un service spécialisé.

Références

1. Wilson D. Paediatric Musculoskeletal Disease with and emphasis on ultrasound. Springer 2005.

2. Dorn U, Neumann D. Ultrasound for screening developmental dysplasia of the hip: a European perspective. *Curr Opin Pediatr* 2005;17(1):30-3.
3. Graf R. Classification of hip joint dysplasia by means of sonography. *Arch Orthop Trauma Surg* 1984;102(4):248-55.
4. Terjesen T, Bredland T, Berg V. Ultrasound for hip assessment in the newborn. *J Bone Joint Surg Br* 1989;71(5):767-73.
5. Morin C, Harcke HT, MacEwen GD. The infant hip: real-time US assessment of acetabular development. *Radiology* 1985;157(3):673-7.
6. Horton LK, Jacobson JA, Powell A, Fessell DP, Hayes CW. Sonography and radiography of soft-tissue foreign bodies. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176(5):1155-9.
7. Boyse TD, Fessell DP, Jacobson JA, Lin J, van Holsbeeck MT, Hayes CW. US of soft-tissue foreign bodies and associated complications with surgical correlation. *Radiographics* 2001;21(5):1251-6.
8. Bickerstaff DR, Neal LM, Booth AJ, Brennan PO, Bell MJ. Ultrasound examination of the irritable hip. *J Bone Joint Surg Br* 1990;72(4):549-53.
9. Fink AM, Berman L, Edwards D, Jacobson SK. The irritable hip: immediate ultrasound guided aspiration and prevention of hospital admission. *Arch Dis Child* 1995;72(2):110-3;discussion 113-4.
10. Lee JC, Healy J. Sonography of lower limb muscle injury. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182(2):341-51.
11. Pelsser V, Cardinal E, Hobden R, Aubin B, Lafortune M. Extra-articular snapping hip: sonographic findings. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176(1):67-73.
12. Magnano GM, Occhi M, Di Stadio M, Toma' P, Derchi LE. High-resolution US of non-traumatic recurrent dislocation of the peroneal tendons: a case report. *Pediatr Radiol* 1998;28(6):476-7.
13. De Flaviis L, Nesi R, Scaglione P, Balconi G, Albisetti W, Derchi LE. Ultrasonic diagnosis of Osgood-Schlatter and Sinding-Larsen-Johansson diseases of the knee. *Skeletal Radiol* 1989;18(3):193-7.
14. Sofka CM, Collins AJ, Adler RS. Use of ultrasonographic guidance in interventional musculoskeletal procedures: a review from a single institution. *J Ultrasound Med* 2001;20(1):21-6.
15. Liu JC, Chiou HJ, Chen WM, Chou YH, Chen TH, Chen W et al. Sonographically guided core needle biopsy of soft tissue neoplasms. *J Clin Ultrasound* 2004;32(6):294-8.
16. AbiEzzi SS, Miller LS. The use of ultrasound for the diagnosis of soft-tissue masses in children. *J Pediatr Orthop* 1995;15(5):566-73.
17. Wilson DJ. Soft tissue and joint infection. *Eur Radiol* 2004;14 Suppl 3:E64-71.
18. Robben SG. Ultrasonography of musculoskeletal infections in children. *Eur Radiol* 2004;14 Suppl 4:L65-77.
19. Chadha DJ, Malde HM. Ultrasonography of postosteotomy cysts. *Can Assoc Radiol J* 1994;45(1):20-2.
20. Derbyshire ND, Simpson AH. A role for ultrasound in limb lengthening. *Br J Radiol* 1992;65(775):576-80.
21. Raghavendra BN, Epstein FJ. Sonography of the spine and spinal cord. *Radiol Clin North Am* 1985;23(1):91-105.
22. Robinson AJ, Russell S, Rimmer S. The value of ultrasonic examination of the lumbar spine in infants with specific reference to cutaneous markers of occult spinal dysraphism. *Clin Radiol* 2005;60(1):72-7.
23. Kayser R, Mahlfeld K, Grasshoff H, Merk HR. Proximal focal femoral deficiency — a rare entity in the sonographic differential diagnosis of developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr* 2005;146(1):141.
24. Hubner U, Schlicht W, Outzen S, Barthel M, Halsband H. Ultrasound in the diagnosis of fractures in children. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82(8):1170-3.

Suite en page suivante.

Place de l'échographie parmi les méthodes d'imagerie de l'appareil locomoteur : point de vue d'un chef de service hospitalo-universitaire

A Cotten

Abstract

Usefulness of musculoskeletal ultrasonography in a University Department of Radiology
J Radiol 2005;86:1931-3

The excellent architectural analysis of muscles, tendons and nerves, the dynamic assessment of these structures and the easy comparison with the controlateral side explain the usefulness of ultrasonography in the assessment of many musculoskeletal diseases. This technique also represents a pleasant way to learn the musculoskeletal anatomy and allows a better understanding of the physiology and pathophysiology of the musculoskeletal system. Finally, musculoskeletal ultrasonography is more and more used in clinical and fundamental research studies.

Key words: Ultrasonography. Muscle. Tendon. Anatomy, musculoskeletal diseases.

Résumé

L'excellente analyse architecturale des muscles, tendons et nerfs, le caractère dynamique de l'étude et la comparaison aisée au côté controlatéral expliquent la place de choix de l'échographie dans l'exploration de nombreuses pathologies musculo-squelettiques. Cette technique présente, en outre, une façon ludique d'apprendre l'anatomie musculo-squelettique. Elle permet également une meilleure appréhension de la physiologie et physio-pathogénie musculo-squelettiques. L'échographie musculo-squelettique intervient, enfin, dans bon nombre de protocoles de recherche clinique et fondamentale.

Mots-clés : Échographie. Muscle. Tendon. Anatomie, pathologies musculo-squelettiques.

Les progrès technologiques effectués dans le domaine des ultrasons, et notamment le développement des sondes hautes fréquences, l'amélioration de la résolution spatiale et en contraste et le développement de champs de vue étendus, expliquent l'engouement actuel pour l'échographie musculo-squelettique. Peu coûteuse et plus facilement accessible que l'IRM, elle est volontiers perçue comme un examen de deuxième intention après les radiographies. Il importe néanmoins d'en connaître les limites : os analysé uniquement en surface, analyse restreinte des interligaments articulaires, analyse fine des structures profondes difficile, échogénicité variable des patients, et problème de relecture de l'examen. Ce dernier point souligne la nécessité d'une standardisation impérative des coupes et d'une annotation de qualité pour permettre au clinicien une analyse des clichés fournis, et une étude comparative lors du suivi des patients. Néanmoins, cette sélection de coupes fournies au clinicien et l'impossibilité d'un bilan échographique exhaustif (trophicité musculaire, étude complémentaire de l'articulation) expliquent qu'à visée préopératoire, elle soit habituellement remplacée par une imagerie permettant d'apprécier un éventuel retentissement ostéocartilagineux (IRM et arthroscanner). Une fois ces réserves soulignées, il importe d'insister sur les atouts tout à fait extraordinaires de cette imagerie : l'excellente analyse architecturale des muscles, tendons et nerfs (bien supérieure à celle fournie par l'IRM) ; l'étude dynamique, fondamentale dans l'appréciation de nombreuses pathologies musculo-squelettiques ; et enfin la palpation échographique (sonde posée sur le site douloureux). En outre, cet

examen permet aisément une étude controlatérale comparative, difficile avec les autres techniques d'imagerie.

L'apport de cette technique sera donc envisagé dans les trois axes qui caractérisent un service hospitalo-universitaire : le soin, l'enseignement et la recherche. La sémiologie ne sera pas détaillée, car parfaitement exposée dans d'autres articles de ce recueil.

Soin

L'échographie occupe une place de choix dans l'exploration de bon nombre de pathologies musculo-squelettiques. Les indications sous-jacentes sont les plus souvent rencontrées dans le service, d'emblée ou, le plus souvent, après bilan radiographique.

1. Recherche de liquide

Il s'agit de la confirmation d'un épanchement intra-articulaire, la recherche d'un kyste synovial ou mucoïde ou la présence d'une bursite. Ces éléments sont habituellement facilement objectivés par l'échographie qui peut guider, en outre, la ponction et l'infiltration.

2. Exploration des lésions tendino-musculo-ligamentaires

Nous réservons l'échographie (par opposition à l'IRM ou à l'arthroscanner) à des cas bien particuliers : confirmation diagnostique simple de lésions traumatiques ou micro-traumatiques alors qu'une intervention chirurgicale n'est pas encore envisagée, confirmation diagnostique et topographique avant infiltration *in situ* (et guidage de celle-ci), recherche de dépôts d'hydroxyapatite

de calcium intra- ou péri-tendineux durant la phase de résorption hyperalgique (car les calcifications sont peu opaques en radiographie), nécessité d'une étude dynamique (recherche d'une luxation ou subluxation tendineuse ou nerveuse, d'une compression nerveuse ou vasculaire intermittente, d'une hernie musculaire, inguinale ou crurale, évaluation dynamique de l'étendue d'une rupture tendineuse pour une planification opératoire...) d'emblée lorsque la clinique est évocatrice ou en complément d'un examen IRM lorsque celui-ci apporte des arguments indirects, recherche de calcifications à la phase débutante d'une myosite ossifiante, recherche et précision topographique préopératoire de corps étrangers radio transparents après traumatismes pénétrants, suivi d'hématomes ou d'abcès sous traitement antibiotique, différenciation entre hématome et hémarthrose chez les sujets hémophiles (traitement différent).

3. Analyse de la surface osseuse

Dans le cadre de la pathologie ostéoarticulaire traumatique, cet examen est vraisemblablement sous exploité. Pour éviter bon nombre d'explorations TDM ou IRM intempestives ou des retards significatifs dans la prise en charge adéquate de lésions traumatiques, l'échographie peut s'avérer extrêmement utile. Ainsi, en cas de traumatisme significatif de la main ou du poignet à radiographies normales, une échographie est réalisée et peut détecter une fracture occulte ou une lésion ligamentaire aiguë (segment dorsal du ligament scapholunaire). La présence d'un hématome au contact immédiat d'un os, d'une hémarthrose ou d'un trait de fracture pousse à la réalisation d'une imagerie plus sophistiquée. Lorsque aucune de ces anomalies n'est objectivée, aucune imagerie complémentaire n'est réalisée. L'échographie est également intéressante dans les suspicions de fracture de zones difficiles à explorer en radiographie comme le sternum ou les côtes (notamment l'arc antérieur cartilagineux). L'échographie est par ailleurs extrêmement utile chez les jeunes enfants, permettant d'objectiver une fracture au sein d'un cartilage épiphysaire non encore ossifié ou du cartilage de conjugaison. Enfin, dans les suspicions cliniques d'ostéomyélite aiguë, l'échographie s'avère très intéressante pour la détection des abcès sous-périostés qui peuvent être ponctionnés dans le même temps (ce qui évite un abord chirurgical).

4. Tumeurs

Dans la grande majorité des cas, une suspicion clinique de tumeur des parties molles n'est pas une indication d'échographie, tout au moins à la phase diagnostique, car cet examen peut faussement rassurer ou inquiéter. Nous ne réservons cet examen qu'aux suspicions cliniques de lipomes superficiels, de tumeurs ou pseudotumeurs nerveuses périphériques (névrome, schwannome, neurofibrome) et d'adénopathie.

5. Rhumatismes inflammatoires chroniques

Les indications de l'échographie se sont considérablement développées ces dernières années. Dans les suspicions cliniques de polyarthrite rhumatoïde débutante, si l'échographie peut être intéressante en objectivant plus de synovites que l'examen clinique et plus d'érosions que les radiographies, cet examen ne permet pas une étude aussi exhaustive de la main et du poignet que l'IRM. Par contre, il s'agit d'une technique extrêmement simple pour contrôler l'efficacité thérapeutique d'un traitement administré par voie générale ou *in situ* (diminution de l'épaississement

synovial et surtout de l'hyperémie synoviale). En ce qui concerne les spondylarthropathies séronégatives d'expression essentiellement appendiculaire, l'échographie des enthèses est également volontiers requise à visée diagnostique mais également pour le suivi thérapeutique des patients. Cet examen permet une étude de diverses régions anatomiques, ce que ne permet pas l'IRM, sauf en exploration corps entier (mais ceci reste à être validé).

6. Interventionnel

L'échographie représente la technique de choix pour le guidage de ponctions, infiltrations et petites biopsies superficielles, à condition de s'entourer de toutes les précautions d'asepsie nécessaires.

Enseignement

1. Meilleure connaissance de l'anatomie

Si la connaissance de l'anatomie représente un pré-requis indispensable pour l'interprétation des examens d'imagerie musculo-squelettique en général, et de l'échographie en particulier (car il est difficile de stopper l'examen en plein milieu pour se replonger dans un livre), son apprentissage par les internes en début de stage est souvent vécu comme rébarbatif. Les ouvrages de référence ou sites Internet qui présentent une succession de coupes anatomiques, TDM ou IRM annotées sont souvent consultés « avec difficulté et réticence », et volontiers rapidement oubliés. Le développement de l'échographie musculo-squelettique a par contre représenté une façon beaucoup plus ludique et motivante d'appréhender l'anatomie et de la retenir. La possibilité de pouvoir suivre aisément un muscle de son insertion proximale à son insertion distale constitue, en effet, une aide considérable à sa reconnaissance. Il en est de même des trajets nerveux et des variantes anatomiques. Le développement de l'échographie a certainement amélioré le niveau de connaissance en anatomie musculo-squelettique ces dernières années.

2. Meilleure appréhension de la physiologie et de la physiopathologie

Bon nombre de pathologies musculo-squelettiques sont secondaires à des conflits dynamiques n'apparaissant qu'à la contraction active des muscles. Ce caractère dynamique est très mal appréhendé par le scanner et l'IRM, mais facilement démontré par l'échographie. Il suffit d'objectiver une fois une compression de la bourse sous acromio-deltaïdienne par le ligament coraco-acromial pour parfaitement percevoir ce type de pathologie.

3. Enseignement de l'échographie musculo-squelettique

Si cet enseignement est désormais bien individualisé au sein du diplôme national d'échographie de l'appareil locomoteur et dans les divers centres français possédant un recrutement bien structuré de pathologies musculo-squelettiques, une pratique de qualité requiert un apprentissage long et surtout régulièrement entretenu, avec réalisation régulière d'examen dans la semaine (un minimum de 15 à 20 dans certaines recommandations européennes...). Si le caractère opérateur-dépendant est une donnée classique de

L'échographie en général, elle l'est encore plus en musculo-squelettique étant donné la diversité des sites et pathologies. En effet, s'il est relativement aisé de confirmer le caractère liquidien d'une structure, l'analyse d'une région anatomique dans son ensemble requiert une pratique régulière de cette technique.

Recherche

Cette technique intervient d'ores et déjà dans bon nombre de protocoles de recherche clinique, comme par exemple dans le diagnostic précoce et/ou le suivi de l'efficacité thérapeutique des rhumatismes inflammatoires chroniques. L'apport potentiel des produits de contraste échographique dans l'appréciation des synovites et enthésites est en cours d'évaluation, de même que

dans la pathologie tumorale. Ces études impliquent bien sûr une collaboration étroite avec les cliniciens concernés. En ce qui concerne la recherche fondamentale, elle est essentiellement réalisée sur des appareils ou sondes spécifiques : imagerie 3D, analyse en très haute résolution (peau notamment), utilisation d'ultrasons de haute énergie (chimioembolisation, thrombose de caillots...), élastomicroscopie de très haute résolution (sondes de 50 Mhz) permettant d'apprécier la déformabilité de fines structures telles que le cartilage, imagerie moléculaire... La recherche existe donc bel et bien en échographie, et un chapitre spécifique de cet ouvrage lui est consacré.

Le nombre croissant de publications ces récentes années démontre de façon indiscutable, s'il en était besoin, que l'échographie musculo-squelettique a gagné ses lettres de noblesse, au même titre que l'IRM.

Recherche technologique et applications futures

M Cohen

Abstract

Technical R & D and future applications

J Radiol 2005;86:1934-6

Medical imaging is closely related to technological progress. During the last twenty years considerable progress enabled sonography to assess musculoskeletal structures more and more accurately. Development of new high frequency transducers, harmonic imaging, Doppler sonography and contrast agents resulted in better image quality and increased diagnostic accuracy. Nevertheless, future technologies may provide new additional functional and qualitative possibilities. The limitations of musculoskeletal sonography are rather well established. Some are probably due to physical "obstacles" that future technology could resolve. Elastography and heterogeneous tissues focalisation are examples of experimental applications which could push back the limits of our current practice. But the future of sonography cannot be reduced to a purely technological dimension. It also depends on clinical and paraclinical evaluation as well as on widely available education programs directed to promote a wider diffusion and improved clinical use of sonography.

Key words: Sonography. Research. Technology. Elastography.

Résumé

L'imagerie médicale est intimement liée aux progrès technologiques. L'échographie a connu au cours des vingt dernières années des progrès considérables lui permettant de représenter de manière de plus en plus précise les structures de l'appareil locomoteur. Le perfectionnement des capteurs, l'imagerie harmonique, le mode doppler et les produits de contraste échographiques sont quelques-unes des acquisitions principales ayant modifié l'image avec une incidence sur le diagnostic morphologique. Malgré ces récentes améliorations ayant permis à la technique de se développer, l'échographie peut espérer que l'avenir lui apporte de nouvelles possibilités, notamment fonctionnelles et qualitatives. Les limites actuelles de l'échographie musculo-squelettique sont assez bien établies. Certaines d'entre elles ne sont peut être que le fait d'obstacles physiques que la technologie future surmontera demain. L'élastographie et la focalisation en milieu hétérogène sont deux exemples d'applications expérimentales qui pourraient repousser les limites de notre pratique actuelle. Mais l'avenir de la méthode ne peut se réduire à une dimension purement technologique. Il repose également sur la poursuite d'une évaluation clinique et paraclinique ainsi que sur le développement de l'enseignement pour une meilleure utilisation et diffusion de cette méthode.

Mots-clés : Échographie. Recherche. Technologie. Élastographie.

Durant les vingt dernières années, de formidables progrès ont été réalisés en terme de technologie échographique. L'imagerie de l'appareil locomoteur a ainsi bénéficié des avancées considérables réalisées sur les capteurs, les modes d'acquisition et le traitement des signaux. Les points suivants résument les principaux développements ayant contribué à l'amélioration de l'imagerie échographique musculo-squelettique :

- les capteurs : ils sont actuellement fabriqués en matériaux piézo-composites ou polymères. Ils ont gagné en sensibilité, en largeur de bande et en densité d'éléments. La résolution spatiale peut atteindre quelques dizaines de microns permettant une imagerie haute résolution des structures superficielles ;
- l'imagerie harmonique : obtenue grâce à l'augmentation de la bande passante et à l'exploitation de l'effet non linéaire des interactions ultrasonores, elle améliore très sensiblement la qualité de l'image ;
- le doppler : en mode couleur, puissance ou énergie, il est devenu de plus en plus sensible pour les flux lents ;
- les produits de contraste ultrasonore : ils permettent de relever considérablement le contraste des images. Ce procédé lorsqu'il est combiné à l'imagerie harmonique permet une excellente imagerie de la perfusion organique.

Citons également la reconstruction de champs de vue étendue, ainsi que plusieurs outils logiciels améliorant le post-traitement,

la transmission et la sauvegarde d'images fixes et de séquences dynamiques.

Malgré ces incontestables progrès techniques, malgré la place occupée par l'échographie au sein des autres méthodes d'imagerie et le développement intensif de son enseignement, l'échographie actuelle connaît plusieurs limites détaillées dans ce numéro spécial. Elle est purement morphologique et ne peut répondre à toutes les interrogations cliniques.

Une échographie économique encore plus précise, fonctionnelle et quantitative, présentant toujours plus d'intérêt clinique et thérapeutique est-elle possible dans un avenir plus ou moins proche ? C'est à cette question que nous tentons de répondre brièvement et simplement en trois temps : futur technologique, futur didactique, futur clinique et para-clinique.

Futur technologique

1. Comment voir plus ? Comment voir mieux ? Comment voir ce qui est encore inaccessible ?

À la fin des années soixante, la loi de Moore constatait que la puissance des composants électroniques doublait tous les 18 mois-24 mois à coûts constants. Cette loi n'a cessé de se vérifier jusqu'à nos jours sans atteindre ce que les spécialistes du secteur appellent « le mur de briques », c'est-à-dire le constat de l'impossibilité technologique de progresser pour des raisons diverses (nombre d'atomes insuffisant pour assurer la conductivité, problème de résistance à la chaleur parallèlement à la montée en

puissance de traitement, difficultés croissantes d'interconnexion des transistors, etc.).

La course à la miniaturisation se poursuivra donc au-delà de 2005, même si à un horizon de 10 à 15 ans, il sera probablement nécessaire de changer totalement de technologie de conception et de fabrication.

En attendant, nous continuerons à constater :

- l'augmentation de la puissance de traitement des ordinateurs et des serveurs informatiques ;
- la baisse des coûts ;
- l'accroissement de l'ergonomie et de la convivialité homme-machine ;
- la miniaturisation.

Concernant le cœur informatique des échographes, il devrait également bénéficier de cette évolution bien que les nouvelles fonctionnalités généralement livrées sous forme de modules par les constructeurs n'aient pas fait évoluer à la baisse le volume ou le prix des appareils au cours des dix dernières années.

Concernant les sondes, les nouvelles technologies de capteurs obéissent au même schéma : miniaturisation (micro-capteurs) et augmentation de la puissance et de la qualité (augmentation de la bande passante permettant une augmentation de la fréquence d'émission sans variation de la cadence d'image ainsi qu'une acquisition volumique 3D). Les capteurs actuels permettent d'obtenir une imagerie précise de la peau à 50 MHz. Rien n'interdit de penser que ces futures sondes puissent fonctionner sans câble, compte tenu des progrès relatifs au transfert de données (infra-rouge).

D'autres secteurs technologiques comme le traitement et le stockage de données sont en constante évolution et peuvent améliorer l'environnement de l'échographie : la transmission de l'examen du patient (sur Cdrom avec images fixes et clip vidéos, vers une station de travail, vers une base de données), la réception par l'échographe d'autres modalités (radiographies, scanner, IRM).

La multiplicité des recherches en ultrasons témoigne de l'intérêt que continue de susciter cette méthode en recherche fondamentale et clinique. Parmi les applications susceptibles de modifier le diagnostic et le traitement, deux axes de recherche laissent entrevoir des perspectives intéressantes pour l'échographie de l'appareil locomoteur. Il s'agit de l'élastographie et de la focalisation en milieu hétérogène.

2. L'élastographie

L'élastographie ultrasonore est une technique étudiée depuis les années 80. Il s'agit d'une sorte de palpation assistée par ordinateur permettant de réaliser une imagerie quantitative en temps réel des paramètres élastiques des tissus.

Ainsi, une des plus anciennes méthodes d'investigation clinique qui, nous l'avons appris, permet de façon très simple de mesurer le contour, la taille, la rigidité et la mobilité des tissus pour reconnaître la présence de masses anormales, peut être imagée et quantifiée pour différencier les parties molles ou rigides d'un tissu avec précision. L'intérêt paraît évident dans le dépistage des lésions cancéreuses et plus largement dans les très nombreuses situations modifiant la déformabilité des tissus.

La technique consiste à détecter la déformation des tissus après les avoir soumis à une contrainte externe ou des vibrations internes (pulsations cardiaques par exemple). Cette déformation est ensuite représentée sous forme d'images appelées élastogrammes.

Une inter-corrélation des images échographiques successives suivant la déformation tissulaire permet d'aboutir à une cartographie du module de rigidité tissulaire (module de Young). Les bases physiques de ce module reposent sur l'analyse des ondes élastiques de cisaillement et de leur propagation. En pratique, une onde de choc de basse fréquence (50 Hz) est appliquée aux tissus par la sonde. Cette onde est suivie par une imagerie échographique suffisamment rapide. L'élasticité est ensuite codée par couleur se superposant à l'image échographique dans une ROI. Le module de cisaillement entre un tissu sain et un tissu induré varie typiquement dans un rapport de 1 à 30. Ce procédé déjà utilisé dans la quantification de la fibrose hépatique est en cours de validation dans le diagnostic des lésions mammaires et prostatiques. En pathologie cardio-vasculaire, il existe de nombreuses applications possibles : suivi postopératoire des angioplasties, évaluation de l'efficacité des prothèses cardiaques, quantification des propriétés biomécaniques d'une plaque athéromateuse et de sa stabilité, appréciation de l'âge d'un thrombus veineux. Bien qu'aucune publication indexée n'ait à ce jour prouvé l'intérêt de l'élastographie couplée à l'échographie dans les lésions de l'appareil locomoteur, il est permis de penser que cette méthode apportera dans un avenir proche de précieux renseignements en terme de caractérisation tissulaire dans le diagnostic de masse des parties molles mais également dans le diagnostic des lésions musculaires traumatiques et de leur évolution cicatricielle normale ou pathologique. L'étude des calcifications tendineuses est un autre champ possible d'investigation. Un système à compression calibrée couplé à une sonde de 50 MHz a récemment été mis au point pour étudier des spécimens de peau et de cartilage avec une résolution de l'ordre de 50 microns. L'élastographie peut également être couplée à l'IRM. L'élasto-IRM fait l'objet d'un intérêt croissant dans l'étude de l'élasticité du cartilage articulaire et des muscles striés.

3. La focalisation en milieu hétérogène

Nos échographes actuels sont équipés de systèmes permettant la focalisation du faisceau ultrasonore au bénéfice de la qualité de l'image. Cette focalisation est dite uniforme. Elle est obtenue grâce à des procédés de focalisation électronique ou numérique associés aux barrettes de transducteurs. Que ce soit à l'émission ou à la réception, la focalisation améliore la qualité de l'image. Toutefois l'hétérogénéité des milieux explorés peut générer une dégradation de l'image par des phénomènes d'aberration d'onde. Ces défauts sont très importants dans le cas de l'os, fortement réfractant et très absorbant. Les procédés de focalisation équipant actuellement nos appareils ne permettent pas d'obtenir une image en arrière d'une structure osseuse. Des techniques d'auto-focalisation ont été proposées pour pallier à cette difficulté. C'est le cas de la focalisation par retournement temporel. Ce qui change principalement par rapport à la focalisation actuelle est la nécessaire connaissance a priori de l'hétérogénéité du milieu étudié. Le premier tir échographique va donc être utilisé pour « l'apprentissage » du milieu. Ce tir est analysé, numérisé et sert à re-focaliser les tirs suivants. L'élucidation des mécanismes d'interaction des ondes ultrasonores avec la structure osseuse et la focalisation en milieu hétérogène permettent donc d'espérer la visualisation des tissus en arrière de l'os (image transcrânienne du cerveau, voire même imagerie du contenu intra-osseux).

Futur didactique

L'enseignement de l'échographie de l'appareil locomoteur a connu un essor récent sous la houlette d'une poignée d'hommes et de femmes passionnés en dépit d'une certaine perplexité d'une partie du monde médical pour cette méthode. Par l'intermédiaire de Sociétés de technique d'imagerie et de Sociétés d'organe, l'échographie musculo-squelettique actuelle s'explique, se démontre et se discute.

Les médias audio-visuels disponibles (cassettes vidéos, Cdrom, DVD) permettent d'enseigner les particularités positionnelles et dynamiques de la technique.

Enfin la place accordée à l'échographie dans les congrès, les ouvrages et les périodiques ne cesse d'augmenter.

La validation des connaissances est devenue possible en France par la création d'un diplôme universitaire d'échographie de l'appareil locomoteur.

Le processus de standardisation est en cours par la réalisation d'images clés et de coupes de références pour les différents organes explorables.

Cette homogénéisation est également à l'ordre du jour à l'échelle européenne et représente un des principaux objectifs du comité échographique de l'European Society of Skeletal Radiology.

Les progrès attendus en terme de transmission des informations (image, son, vidéo) contribueront à l'amélioration de l'enseignement dans le futur. Et les années à venir verront sans doute se développer la télémédecine, le travail d'équipes en réseau, la constitution de bases de données à l'échelon national, européen ou international.

Un aspect également primordial de la pédagogie de l'échographie concerne l'information actualisée des médecins cliniciens sur les indications et les limites de l'imagerie en général et de l'échographie en particulier.

Futur clinique et para-clinique

1. Vis-à-vis des autres méthodes d'imagerie

L'échographie est actuellement positionnée en examen de deuxième intention après la radiographie conventionnelle dans l'exploration de l'appareil locomoteur. Le couple radiographie-échographie est logiquement très performant par la complémentarité des deux méthodes pour imager os, articulations et parties molles. Vis-à-vis de la TDM et de l'IRM, tout en gardant pour principe que chacun doit pouvoir exercer son art selon la méthode qu'il maîtrise le mieux, les impératifs économiques nous indiquent clairement qu'une échographie contributive devrait remplacer la TDM ou l'IRM dans les diagnostics pour lesquels ces

deux méthodes ne sont pas supérieures. Des études de sensibilité et spécificité devraient permettre de continuer à comparer ces méthodes entre elles et à évaluer leur impact clinique.

2. Vis-à-vis de la clinique

L'échographie à vocation à rester une méthode d'imagerie très clinique pour de nombreuses raisons : la relation médecin-patient pendant l'examen, le contact direct du matériel avec le patient (permettant notamment le palper échoscopique si important dans les lésions traumatiques), l'exploration dynamique et multi-positionnelle.

Un axe de recherche clinique encore sous-exploité est l'évaluation clinique de l'échographie (corrélation des signes cliniques avec la sémiologie échographique, incidence du résultat échographique sur le choix du traitement, corrélation du diagnostic échographique avec l'évolution clinique).

3. Vis-à-vis de la thérapeutique

L'échographie est de plus en plus largement utilisée comme moyen de guidage pour des procédures interventionnelles simples (ponction-aspiration de collections, infiltration intra et péri-articulaires notamment).

À des fréquences différentes de celles utilisées pour le diagnostic, les ultrasons ont des propriétés thérapeutiques reconnues grâce à leur effet de cavitation et d'échauffement. Les ultrasons à haute énergie font l'objet d'étude dans la thrombolyse et la chimio-embolisation. Disposerons-nous dans quelques années de plateformes permettant de réaliser le diagnostic et le traitement de certaines lésions dans une même séance ?

Conclusion

Si nul ne peut prédire ce que sera l'échographie musculo-squelettique de demain, il est hautement probable que les futures technologies et leurs applications corollaires auront une incidence accrue sur le diagnostic et le traitement des affections de l'appareil locomoteur. Eu égard à la multiplicité des travaux de recherche et à la sophistication des outils mis à notre disposition, nous devrions être attentifs aux futures technologies appliquées aux ultrasons et être candidats à toute forme de lien entre recherche fondamentale et pratique clinique.

Si, comme le disait Alfred Sauvy nous sommes voués au progrès à perpétuité, il nous incombe de nous familiariser avec ces techniques, pour des raisons économiques, mais également pour l'intérêt diagnostic qu'elles représentent. Capacité d'adaptation oblige !