

Conférence d'actualité

## Échographie des nerfs périphériques<sup>☆</sup>

## Ultrasound of the peripheral nerves

Stefano Bianchi<sup>\*</sup>

*Institut de radiologie, clinique et fondation des Grangettes, Genève, Suisse*

Accepté le 17 juillet 2008

Disponible sur Internet le 21 octobre 2008

### Résumé

Les affections neurologiques périphériques sont fréquentes en pratique rhumatologique et peuvent simuler diverses maladies de l'appareil locomoteur. Leur diagnostic repose sur l'examen clinique. Un interrogatoire soigneux et un examen clinique détaillé apportent habituellement une forte présomption. Néanmoins, il est habituel d'obtenir des examens d'imagerie, à la fois pour confirmer le diagnostic clinique et dans le cadre du bilan préopératoire. Bien que les radiographies simples et la tomodynamométrie ne puissent visualiser directement les nerfs, elles permettent d'évaluer les structures anatomiques adjacentes, notamment les os et les articulations, et elles peuvent apporter des informations utiles au choix de la stratégie thérapeutique. L'imagerie par résonance magnétique et l'échographie montrent directement les nerfs périphériques et permettent donc d'étudier leur diamètre et leur structure. Les nouvelles sondes électroniques à haute résolution et large bande de fréquence ont fait de l'échographie une technique de référence pour l'examen des nerfs périphériques normaux et pathologiques. L'échographie permet un examen dynamique, ainsi que l'examen de longs segments nerveux en peu de temps. Il s'agit d'une technique non invasive et peu onéreuse. Enfin, l'échographie est bien acceptée par les malades. Ici, nous décrivons brièvement l'anatomie normale et l'aspect échographique des nerfs périphériques avant de présenter les signes échographiques des affections les plus fréquentes (neuropathies canalaires, tumeurs et kystes).

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

*Mots clés* : Échographie ; Nerfs ; Neuropathies canalaires ; Tumeurs

*Keywords*: Ultrasound; Nerves; Entrapment neuropathies; Tumors

### 1. Introduction

Les neuropathies périphériques sont fréquentes en pratique rhumatologique et peuvent simuler diverses affections de l'appareil locomoteur [1–3]. La plupart d'entre elles, et tout particulièrement les neuropathies canalaires, sont probablement diagnostiquées avec un retard considérable, en raison d'une connaissance insuffisante de l'anatomie nerveuse et des signes de neuropathie [3]. Le diagnostic de neuropathie périphérique repose toujours sur l'examen clinique [4]. Un interrogatoire soigneux et un examen clinique détaillé permettent habituellement d'évoquer fortement le diagnostic. L'imagerie par résonance

magnétique (IRM) et l'échographie sont utiles car ces deux méthodes visualisent directement le nerf atteint, permettant d'évaluer sa taille, sa structure et sa vascularisation. Par ailleurs, les déplacements du nerf lors des mouvements des articulations adjacentes peuvent être étudiés. Les radiographies simples et la tomodynamométrie ne montrent pas directement les nerfs mais apportent des informations sur les structures adjacentes, notamment l'os et les articulations, ce qui peut faciliter la décision thérapeutique.

Depuis quelques années, la valeur de l'échographie pour examiner l'appareil locomoteur est largement reconnue [5–7]. L'introduction de nouvelles sondes électroniques à haute résolution et à large bande de fréquence a fait de l'échographie une technique de choix pour l'examen des nerfs périphériques normaux et pathologiques [7,8]. L'échographie permet un examen dynamique. De plus, il s'agit d'un examen non invasif et peu coûteux [10–20]. Enfin, il suffit de peu de temps pour obtenir

<sup>☆</sup> Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais sa référence anglaise dans le numéro 6, 2008 de *Joint Bone Spine*.

<sup>\*</sup> Route de Florissant, 70, 1206 Genève, Suisse.

Adresse e-mail : [stefanbianchi@bluewin.ch](mailto:stefanbianchi@bluewin.ch).

des informations détaillées sur l'ensemble de la longueur des principaux nerfs périphériques des membres [21].

Nous présentons ici une brève description de l'anatomie normale et de l'aspect échographique des nerfs périphériques avant de décrire les signes échographiques des neuropathies périphériques les plus fréquentes.

## 2. Anatomie normale et aspect échographique des nerfs périphériques

Les nerfs périphériques sont composés de fibres nerveuses (dont chacune comporte un axone entouré de cellules de Schwann et d'une gaine de myéline) regroupées en fascicules et d'un tissu conjonctif de soutien [8,9,22]. Chaque fibre est entourée d'un endonèvre et chaque fascicule d'un périnèvre, gaine épaisse qui contient des fibres élastiques et des vaisseaux sanguins et qui entoure aussi l'ensemble du nerf. Le périnèvre est plus épais là où le nerf est soumis normalement à la compression ou à l'étirement, par exemple, dans les canaux ostéofibreux inextensibles ou en superficie près des protubérances osseuses. La taille des fascicules et leur nombre varient considérablement selon la taille du nerf, son siège et son type [8].

L'anatomie échographique des nerfs périphériques est décrite en détail dans les manuels d'échographie de l'appareil locomoteur [7,8], ainsi que dans plusieurs articles [12,18,22]. L'aspect échographique est étroitement corrélé aux données histologiques, aussi bien en coupe transversale qu'en coupe longitudinale [22]. Le nerf normal apparaît comme une structure tubulaire fortement échogène (correspondant au tissu conjonctif de soutien), contenant des segments discontinus à échogénicité faible ou nulle (correspondant aux fascicules ou aux groupes de fascicules). Sur les coupes transversales, les nerfs sont des structures hyperéchogènes contenant des plages hypoéchogènes rondes ou ovales (Fig. 1). Le diamètre du nerf diminue à mesure que l'on s'éloigne de son origine et que le tronc principal donne naissance à un nombre croissant de branches. Le doppler couleur ne détecte habituellement pas de courant sanguin à l'intérieur du nerf. D'une façon générale, la mise en évidence d'un courant sanguin indique la présence d'une anomalie hypervasculaire.

Les coupes axiales sont généralement préférables pour repérer les nerfs périphériques et pour en étudier les rapports avec les structures avoisinantes. La détection est facilitée par l'échostructure interne particulière des nerfs périphériques, leur siège anatomique et leurs rapports avec les vaisseaux, les muscles et les tendons. En particulier, les vaisseaux adjacents, s'ils existent, constituent des points de repère très utiles car leur pulsativité et leur aspect caractéristique en doppler couleur en rend la détection aisée. Une fois identifié, le nerf peut être facilement suivi sur des images axiales obtenues en déplaçant la sonde vers l'amont et vers l'aval (technique de l'ascenseur) [18,19]. Cette technique est utile en pratique quotidienne et permet une évaluation précise des nerfs, même dans des régions anatomiques qui ne sont pas bien connues de l'échographiste. Les images longitudinales sont plus difficiles à obtenir étant donné le trajet curviligne de la plupart des nerfs distaux mais

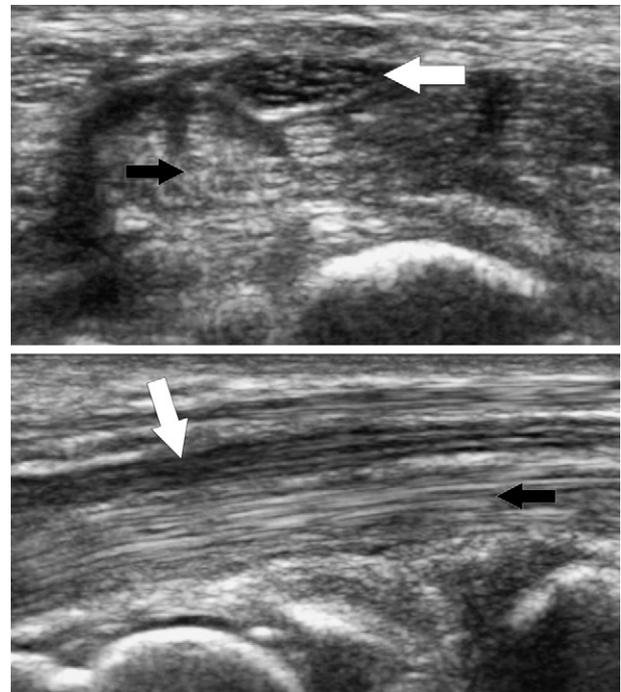


Fig. 1. Échographie normale d'un nerf périphérique. Coupes axiale (a) et longitudinale (b) du nerf médian (flèche blanche) dans le canal carpien. La coupe axiale montre le tissu conjonctif hyperéchogène contenant des plages hypoéchogènes rondes ou ovales correspondant aux fascicules. Sur la coupe longitudinale, le nerf apparaît comme une structure tubulaire contenant des segments hypo- ou anéchogènes discontinus qui correspondent aux fascicules. Cet aspect fasciculaire du nerf est facile à différencier de l'aspect fibrillaire des tendons (flèches noires) lié à la présence de fibres hyperéchogènes très proches les unes des autres.

peuvent s'avérer précieuses en cas de compression localisée. L'échographie peut alors montrer, sur la même image, le segment comprimé avec, de part et d'autre, des segments normaux, ce qui conduit immédiatement au diagnostic. Les déplacements des nerfs peuvent être étudiés en situation normale [23,24] ou pathologique [10,12]. L'échographie dynamique réalisée *in vitro* ou *in vivo* montre comment les nerfs périphériques changent de forme en cas d'étirement ou de compression. Ces changements s'expliquent par des modifications des rapports entre les fascicules liées à la présence de tissu conjonctif dans l'épinèvre et de fibres élastiques.

L'échographie met facilement en évidence diverses variantes anatomiques fréquemment rencontrées. Certaines de ces variantes sont bien tolérées mais risquent d'être considérées pathologiques par l'échographiste novice. D'autres prédisposent le nerf à la compression. Les plus pertinentes affectent la taille ou la forme du nerf, son siège ou encore les structures adjacentes. L'une des variantes les plus fréquentes (2,4 % des individus) consiste en une division haut située du nerf médian associée ou non à la persistance de l'artère médiane (Fig. 2) [25–27]. Cette anomalie congénitale doit être détectée avant toute intervention arthroscopique sur le canal carpien afin d'éviter d'endommager le nerf. Une configuration bifide du nerf médian peut s'accompagner de la persistance de l'artère médiane. L'involution de cette artère est la règle après la naissance. Lorsque l'artère persiste, elle peut provoquer un syn-

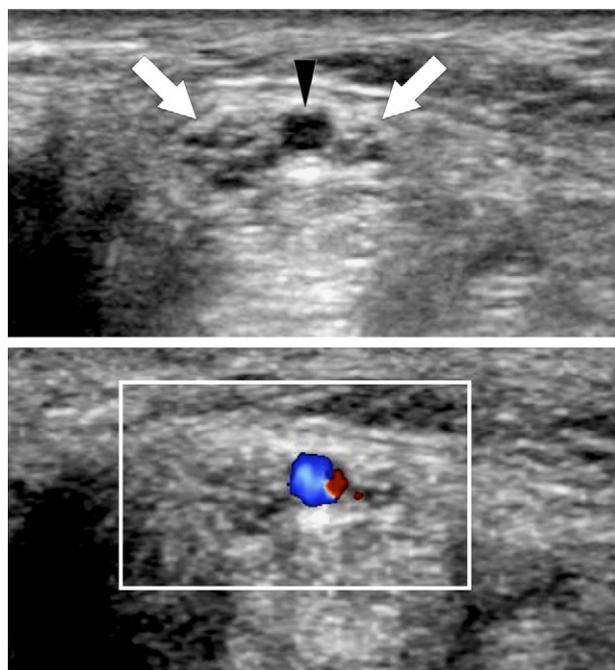


Fig. 2. Nerf médian bifide et persistance de l'artère médiane. Coupe échographique axiale (a) et doppler couleur axiale (b) du canal carpien chez un sujet asymptomatique. Deux nerfs distincts sont visibles dans le canal (flèches blanches) : il s'agit d'un nerf médian bifide. Entre ces deux nerfs se trouve une structure tubulaire pulsatile hypoéchogène qui produit des signaux Doppler traduisant l'existence d'un courant dans sa lumière : il s'agit d'une artère médiane.

drome du canal carpien si elle mesure plus de 3 mm de diamètre ou si elle se thrombose. L'échographie permet aisément de déterminer le diamètre de l'artère et de détecter une thrombose [28]. Les anomalies du siège du nerf sont moins fréquentes. Une bascule verticale du nerf médian à la partie proximale du canal carpien est rare. L'absence du fascia superficiel à la partie proximale du canal cubital au coude peut prédisposer à une instabilité antérieure permanente ou intermittente du nerf cubital pendant la flexion du coude [10,12] (Fig. 3). Diverses variantes anatomiques des structures situées le long du trajet d'un nerf peuvent retentir sur le nerf lui-même. La plus fréquente est la présence d'un processus supracondyloïde de l'humérus. Ce processus, ainsi que le ligament de Struthers qui l'unit à la diaphyse humérale distale, peut comprimer le nerf médian ou cubital [29].

### 3. Neuropathies canalaïres

Les neuropathies canalaïres se caractérisent par la compression ou l'étirement d'un nerf périphérique [30] liée à une anomalie congénitale et/ou acquise. Les altérations du nerf et les manifestations cliniques varient selon la sévérité et la durée de la compression. Une compression peu importante et brève est assez bien tolérée et permet d'espérer une récupération complète après la libération du nerf. À l'opposé, une compression sévère et prolongée peut profondément altérer la morphologie et la fonction du nerf, conduisant à des lésions irréversibles.

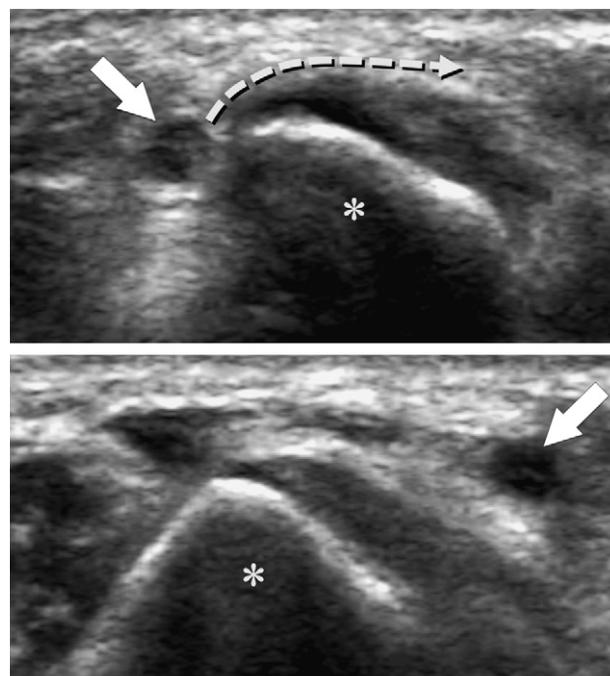


Fig. 3. Neuropathie canalaïre. Rôle de l'échographie dynamique. Coupes échographiques axiales du canal cubital obtenues avec le coude en extension (a) et en flexion (b) chez un malade qui souffre de neuropathie cubitale. Le nerf est augmenté de volume et hypoéchogène (flèches blanches). Lorsque le coude est en extension, le nerf est situé derrière l'épitrôchlée, dans le canal cubital. Lors de la flexion du coude, le nerf se déplace en avant. L'échographie dynamique met en évidence l'instabilité intermittente responsable d'une neuropathie par friction.

#### 3.1. Anomalies congénitales

Une sensibilité excessive des nerfs aux microtraumatismes s'observe dans la neuropathie héréditaire avec hypersensibilité à la pression (NHHP). Il s'agit d'une affection démyélinisante qui se transmet sur le mode autosomique dominant et qui touche les nerfs périphériques, provoquant des mononeuropathies sensitivomotrices récidivantes [31]. Il existe une délétion sur le chromosome 17, en 17p11.2-12, où se trouve le gène pour une protéine de la myéline (protéine de la myéline périphérique 22, PMP22). L'échographie montre une augmentation de volume et une hypoéchogénicité de plusieurs nerfs périphériques, même en dehors des canaux ostéofibreux. Cet aspect anormal peut s'observer en l'absence de manifestations cliniques [32,33].

Les dysplasies osseuses peuvent s'accompagner d'anomalies des dimensions des canaux ostéofibreux (notamment du canal carpien ou cubital). Si le canal est rétréci, le nerf qui le parcourt peut être soumis à des microtraumatismes chroniques. La présence de muscles accessoires est fréquente et peut simuler une tumeur ou provoquer une compression des structures voisines [34,35]. Les muscles accessoires cheminant dans le canal cubital au coude, le canal de Guyon, le canal carpien ou le canal tarsien peuvent être responsables d'une hyperpression, et donc d'une compression nerveuse, pendant la contraction musculaire ou les mouvements articulaires [34–36]. Le rôle d'une configuration bifide du nerf médian et de la persistance de l'artère médiane a déjà été évoqué.

### 3.2. Anomalies acquises

Les neuropathies canalaire peuvent être favorisées par diverses maladies systémiques comme le diabète, l'hémodialyse, les affections thyroïdiennes, l'amyloïdose et l'acromégalie. Le diabète et certaines autres maladies systémiques sont probablement responsables d'une hypersensibilité des nerfs périphériques à la compression locale. Dans l'amyloïdose et chez l'hémodialysé, la principale anomalie consiste en un rétrécissement des canaux ostéofibreux lié à une accumulation de substance amyloïde.

Néanmoins, les syndromes canalaire vus en pratique quotidienne sont habituellement dus à des microtraumatismes à l'intérieur de canaux ostéofibreux inextensibles, en l'absence d'anomalie congénitale ou de maladie systémique. L'échographie est alors utile pour évaluer l'aspect des lésions responsables de la compression, ainsi que le retentissement sur le nerf [30]. Une compression extrinsèque prolongée provoque l'apparition d'anomalies nerveuses structurelles. La stase veineuse augmente la pression interstitielle intraneurale, conduisant à un œdème intraneural réversible qui prédomine dans le tissu conjonctif. Si la compression se prolonge, on assiste à la survenue de lésions des vasa vasorum – petits vaisseaux qui vascularisent le tronc nerveux – et donc d'une ischémie, qui provoque l'apparition d'une fibrose irréversible au sein du nerf. La dernière étape consiste en une dégénérescence des gaines de myéline et des axones. Ces lésions altèrent la conduction nerveuse, conduisant à des déficits sensitifs ou moteurs, selon la nature du nerf concerné.

En cas de compression chronique d'un nerf périphérique, l'aspect échographique est toujours le même, quelle que soit la cause de la compression. Les modifications des dimensions du nerf sont les signes les plus utiles pour le diagnostic de neuropathie canalaire. Dans les formes typiques, le nerf est aminci à l'endroit de la compression et élargi en fuseau en amont de la compression (Fig. 4). Plusieurs seuils ont été proposés pour définir ces anomalies [7,8]. La transition entre les deux zones est parfois abrupte, ce qui donne le signe de l'encoche (Fig. 5). Ce signe est d'un grand intérêt car il attire l'attention de l'échographiste lorsque le nerf est comprimé par une bande fibreuse difficile à visualiser par l'échographie. Plus rarement, il existe aussi une augmentation de volume du nerf en aval de la compression. Ce signe s'observe notamment dans le syndrome du canal carpien, où le segment distal du nerf situé à la paume en aval du rétinaculum des fléchisseurs peut présenter sur les coupes longitudinales un aspect en tête de cobra.

Les altérations intranerveuses sont quasi constantes en cas de compression chronique. Elles touchent le tissu conjonctif. Un œdème et des anomalies vasculaires caractérisent la première phase, qui est suivie de l'apparition d'une fibrose. Malheureusement, avec les sondes actuellement disponibles, l'échographie ne permet pas de distinguer ces deux phases. L'échogénicité du nerf est diminuée en raison d'une hypoéchogénicité de l'endonèvre et du périnèvre interfasciculaire, conduisant à la disparition de l'aspect fasciculaire caractéristique (lié au contraste entre les fascicules peu ou pas échogènes et le tissu conjonctif

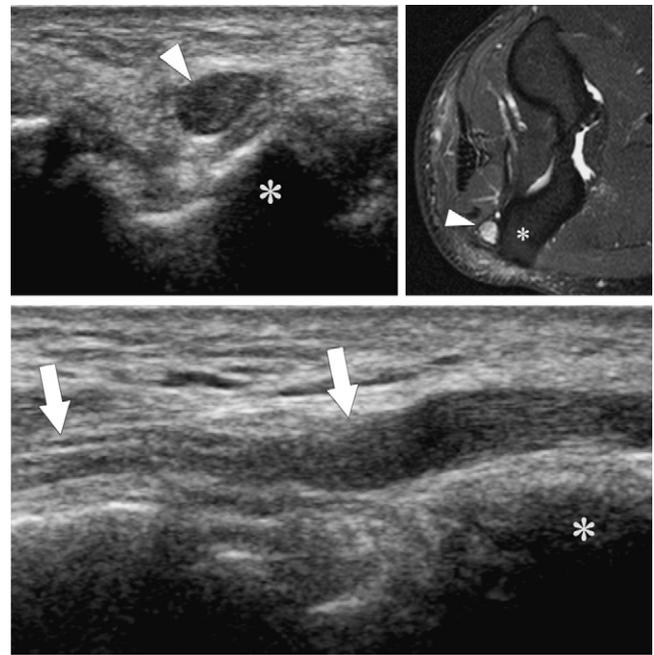


Fig. 4. Neuropathie canalaire. Syndrome du canal cubital. Coupe échographique axiale (a), image par résonance magnétique correspondante avec pondération T2 (b) et coupe longitudinale au canal cubital (c) chez un malade souffrant de neuropathie cubitale. L'échographie montre que le nerf est augmenté de volume et contient des plages hypoéchogènes irrégulières (flèches blanches). Sur la coupe longitudinale (c), l'aspect normal de la structure du nerf en amont du canal contraste avec l'aspect hétérogène dans le canal à hauteur de l'épitrachée (astérisque). L'imagerie par résonance magnétique à hauteur du canal cubital met en évidence une augmentation de volume du nerf, qui produit des signaux hyperintenses (tête de flèche blanche). Ces signes traduisent un œdème intraneural lié à la compression chronique.

hyperéchogène). Le doppler couleur montre une augmentation des signaux vasculaires au sein du nerf.

L'échographie permet non seulement d'évaluer les altérations nerveuses mais aussi d'aider à détecter et à évaluer diverses causes de compression nerveuse. Aux extrémités, une masse comprimant le nerf est facilement mise en évidence. On peut déterminer la taille de la masse, l'aspect de ses contours, sa structure interne et sa vascularisation. L'aspect de la masse permet parfois de porter un diagnostic précis (muscle accessoire, kyste mucoïde ou lipome, par exemple), rendant inutile la réalisation de techniques d'imagerie coûteuses comme l'IRM. La confrontation des données cliniques aux résultats de l'échographie apporte souvent une forte présomption diagnostic, comme c'est le cas notamment pour l'accumulation de substance amyloïde dans le canal carpien. Lorsque l'aspect échographique de la masse n'est pas spécifique, l'échographie reste utile pour guider la biopsie. Étant donné que le nerf comprimé est situé à proximité de la masse, l'échographie en temps réel est précieuse pour suivre l'avancée de l'aiguille et éviter tout traumatisme nerveux. Les nerfs le plus souvent atteints sont le médian [10–12,14], le cubital [10,11] et le radial [15,17,37,38].

### 4. Tumeurs et autres masses

Les tumeurs des nerfs périphériques sont habituellement bénignes. Les deux formes histologiques principales sont le

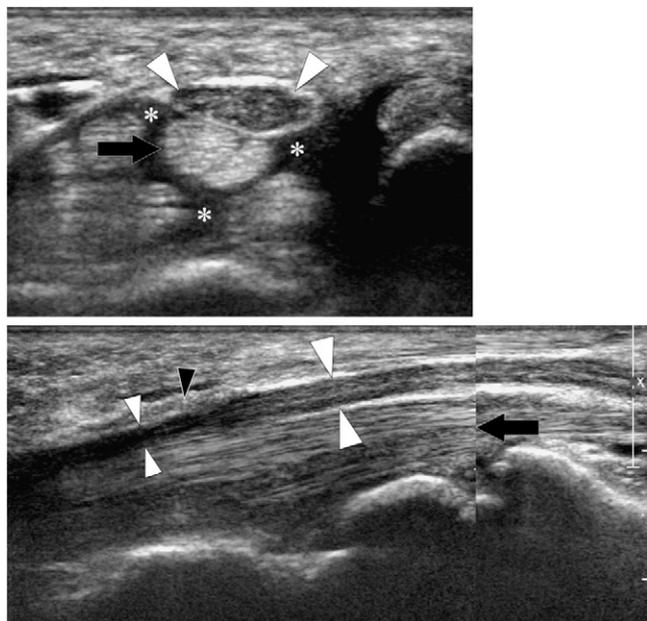


Fig. 5. Neuropathie canalaire. Syndrome du canal carpien. Coupes échographiques axiale (a) et longitudinale (b) du nerf médian (têtes de flèches blanches) dans le canal carpien. La coupe axiale montre que le nerf est augmenté de volume et comprimé par une gaine tendineuse synoviale hypertrophiée (astérisques). Sur la coupe longitudinale, le nerf apparaît augmenté de volume à l'extrémité proximale du canal (grosses têtes de flèches), tandis qu'il est aminci et plus hypoéchogène (petites têtes de flèches) à l'intérieur du canal ; remarquer l'épaississement net du ligament annulaire du carpe (tête de flèche noire). Les tendons fléchisseurs sont normaux.

schwannome (ou neurilemmome) et le neurofibrome [2,8]. Les tumeurs malignes de la gaine des nerfs périphériques sont rares et habituellement secondaires à la dégénérescence maligne d'un neurofibrome. Il est important de faire la distinction entre schwannome et neurofibrome, car ce dernier infiltre le tronc nerveux, obligeant à une résection suivie d'une greffe. Les schwannomes, au contraire, repoussent habituellement les fascicules nerveux et peuvent être énucléés sans altérer la contiguïté nerveuse [39,40]. À l'échographie, les tumeurs nerveuses bénignes se présentent comme des masses rondes, ovales, ou fusiformes, hypoéchogènes, aux contours bien limités. On peut observer des formations kystiques au sein de la masse, ainsi qu'un renforcement postérieur. Le critère diagnostique essentiel est la proximité de la masse avec le nerf [41,42] (Fig. 6). Cette proximité est facile à évaluer si le nerf mesure au moins 2 mm de diamètre et que son siège est superficiel. En revanche, les rapports entre la masse et le nerf sont parfois difficiles à analyser lorsque la masse est profonde ou le nerf grêle, comme c'est le cas des nerfs du tissu sous-cutané. Dans une étude de 76 tumeurs des nerfs périphériques, l'échographie n'a pas permis d'étudier les rapports avec le nerf dans 40 % des cas de schwannome et 53,8 % des cas de neurofibrome [39]. Les coupes axiales sont habituellement les plus utiles pour analyser les rapports entre la tumeur et le nerf. Le nerf est d'abord détecté en amont puis suivi jusqu'à la tumeur. Bien que les coupes longitudinales puissent être intéressantes, il est parfois difficile d'obtenir une image qui montre à la fois la pénétration du nerf dans la masse et sa sortie en aval. Ni l'interrogatoire ni

l'examen clinique ne permettent de distinguer un schwannome d'un neurofibrome. La distinction échographique est parfois difficile et il n'existe à présent aucun critère échographique formel permettant de différencier un schwannome des extrémités d'un neurofibrome [2,39]. Une pénétration excentrique du nerf dans la masse est très en faveur d'un schwannome. La présence de zones kystiques intratumorales et l'hypervascularisation au doppler couleur sont plus fréquentes avec les schwannomes qu'avec les neurofibromes.

La plupart des kystes responsables de compression des nerfs périphériques sont des kystes mucoïdes développés à partir de l'articulation péronéotibiale supérieure [43,44]. Le kyste peut être intramusculaire ou intranerveux. Dans les deux cas, il s'agit d'un kyste mucoïde qui possède une capsule fibreuse mais ne contient pas de synoviale. Le liquide intrakystique est visqueux. En cas de kyste intramusculaire, la compression nerveuse est extrinsèque. Les kystes intranerveux, en revanche, se développent au sein du périnèvre et compriment les fascicules. Les kystes intramusculaires de l'articulation péronéotibiale supérieure siègent habituellement dans le compartiment antéroexterne de la jambe et peuvent comprimer les nerfs péronés, provoquant un déficit moteur et des douleurs mal définies de la face antéroexterne de la jambe. Le kyste intranerveux pénètre dans la branche qui innerve l'articulation puis remonte le nerf fibulaire jusqu'au nerf sciatique. À l'échographie, un kyste mucoïde intramusculaire se présente comme une lésion anéchogène, expansive, en forme de poire, dont la pointe est proche de l'articulation péronéotibiale supérieure et dont la partie arrondie avance dans le muscle [44]. Si le kyste est de grande taille, on observe habituellement des cloisons implantées à la face interne de la paroi fibreuse. L'échographie permet d'apprécier

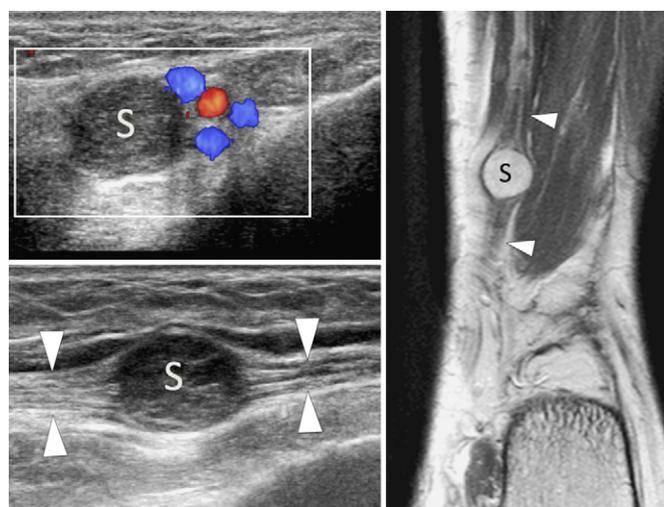


Fig. 6. Schwannome du nerf tibial. Échographie Doppler couleur en coupe axiale (a), coupe échographique longitudinale (b) et coupe frontale en imagerie par résonance magnétique pondérée en densité de protons (c) en arrière de la malléole interne. Les coupes échographiques montrent une masse hypoéchogène (S) au sein du nerf tibial. Sur la coupe Doppler couleur (a), remarquer les rapports étroits de la tumeur avec l'artère et les veines tibiales postérieures. La coupe longitudinale (b) permet d'affirmer que la tumeur siège à l'intérieur du nerf (têtes de flèches). L'imagerie par résonance magnétique confirme les données échographiques.

les rapports du kyste avec les nerfs fibulaires et l'artère tibiale antérieure. De plus, l'échographie en temps réel constitue un bon outil pour guider la biopsie à l'aiguille. Cette dernière, bien que non curative, peut améliorer les symptômes en diminuant la pression dans le kyste et donc la compression du nerf adjacent. Les kystes intranerveux sont de plus petite taille que les kystes intramusculaires et apparaissent comme des structures anéchogènes tubulaires au sein d'un nerf. La branche articulaire du nerf est augmentée de volume et hypoéchogène. L'échographie permet de mettre en évidence l'avancée du kyste en amont. Lorsqu'une sonde à haute résolution est utilisée, les fascicules comprimés par le kyste peuvent être visualisés, ainsi que l'épinièvre entourant le kyste.

## 5. Autres affections

En raison de sa bonne résolution, l'échographie permet de mettre en évidence diverses autres lésions nerveuses. Le nerf peut être lésé en cas de plaie ouverte par couteau ou arme à feu, ou bien incarcerated dans un foyer de fracture (nerf radial en cas de fracture humérale notamment) [45,46]. L'échographie met en évidence les lésions nerveuses et permet de distinguer les sections partielles des sections complètes, de mesurer la distance entre les moignons et de visualiser la présence de structures adjacentes (tissu adipeux, par exemple) interposées entre les moignons et donc susceptibles d'empêcher la restauration de la continuité. L'échographie est utile pour évaluer les altérations nerveuses dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth [47], la lèpre [48] et l'hamartome fibrolipomateux [49]. Depuis peu, en raison de son caractère dynamique et de sa capacité à suivre l'avancée d'une aiguille, l'échographie est de plus en plus utilisée pour guider les anesthésies locales [50,51].

## Références

- [1] Bard H. Les syndromes canalaire vus en rhumatologie. Numéro pédagogique. Rev Rhum 2007;74:315–433.
- [2] Valle M, Zamorani MP. Nerve and vessels. In: Bianchi S, Martinoli C, editors. *Ultrasound of the Musculoskeletal System*. Springer-Verlag; 2007. p. 97–136.
- [3] Bard H. Les syndromes canalaire. Rev Rhum 2007;74:315–8.
- [4] Kim S, Choi JY, Huh YM, et al. Role of magnetic resonance imaging in entrapment and compressive neuropathy – what, where, and how to see the peripheral nerves on the musculoskeletal magnetic resonance image: part 1. Overview and lower extremity. Eur Radiol 2007;17:139–49.
- [5] Tardieu M, Brasseur J-L, editors. *Echographie de l'appareil locomoteur*. Paris: Masson; 2006.
- [6] van Holsbeeck M, Introcaso JH, editors. *Musculoskeletal Ultrasound*. Mosby; 2001.
- [7] Bianchi S, Martinoli C, editors. *Ultrasound of the musculoskeletal system*. Springer-Verlag; 2007.
- [8] Peer S, Bodner G, editors. *High-resolution sonography of the peripheral nervous system*. 2nd Ed. Springer-Verlag; 2008.
- [9] Blancher A, Kubis N. Physiopathologie des syndromes canalaire. In: Les syndromes canalaire vus en rhumatologie. Rev Rhum 2007;74:319–26.
- [10] Martinoli C, Bianchi S, Gandolfo N, et al. Ultrasound of nerve entrapments in osteofibrous tunnels. Radiographics 2000;20(special no.):S199–213.
- [11] Bianchi S, Montet X, Martinoli C, et al. High-resolution sonography of compressive neuropathies of the wrist. J Clin Ultrasound 2004;32:451–61.
- [12] Martinoli C, Bianchi S, Cohen M, et al. Échographie des nerfs périphériques. J Radiol 2005;86:1869–78.
- [13] Bianchi S, Montet X, Martinoli C, et al. Échographie des nerfs des membres inférieurs. Rev Rhum 2007;74:415–23.
- [14] Bianchi S, Demondion X, Bard H, et al. Ultrasound of the median nerve. Échographie du nerf médian. Rev Rhum 2007;74:376–83.
- [15] Bodner G, Huber B, Schwabegger A, et al. Sonographic detection of radial nerve entrapment within a humerus fracture. J Ultrasound Med 1999;18:703–6.
- [16] Peer S, Bodner G, Meirer R, et al. Examination of postoperative peripheral nerve lesions with high-resolution sonography. AJR Am J Roentgenol 2001;177:415–9.
- [17] Bodner G, Harp C, Meirer R, et al. Ultrasonographic appearance of supinator syndrome. J Ultrasound Med 2002;21:1289–93.
- [18] Créteur V, Bacq C, Fumière E, et al. Sonography of peripheral nerves. Part II: lower limbs. J Radiol 2007;88:349–60.
- [19] Créteur V, Bacq C, Widelec J. Sonography of peripheral nerves – first part: upper limb. J Radiol 2004;85:1887–99.
- [20] Beekman R, Visser LH. High-resolution sonography of the peripheral nervous system – a review of the literature. Eur J Neurol 2004;11:305–14.
- [21] Stuart RM, Koh ES, Breidahl WH. Sonography of peripheral nerve pathology. AJR Am J Roentgenol 2004;182:123–9.
- [22] 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.
- [23] Dilley A, Summerhayes C, Lynn B. An in vivo investigation of ulnar nerve sliding during upper limb movements. Clin Biomech (Bristol, Avon) 2007;22:774–9.
- [24] Julius A, Lees R, Dilley A, et al. Shoulder posture and median nerve sliding. BMC Musculoskelet Disord 2004;5:23.
- [25] Propeck T, Quinn TJ, Jacobson JA, et al. Sonography and MR imaging of bifid median nerve with anatomic and histologic correlation. AJR Am J Roentgenol 2000;175:1721–5.
- [26] Iannicelli E, Chianta GA, Salvini V, et al. Evaluation of bifid median nerve with sonography and MR imaging. J Ultrasound Med 2000;19:481–5.
- [27] Gassner EM, Schocke M, Peer S, et al. Persistent median artery in the carpal tunnel: color Doppler ultrasonographic findings. J Ultrasound Med 2002;21:455–61.
- [28] Kele H, Verheggen R, Reimers CD. Carpal tunnel syndrome caused by thrombosis of the median artery: the importance of high-resolution ultrasonography for diagnosis. Case report. J Neurosurg 2002;97:471–3.
- [29] Sener E, Takka S, Cila E. Supracondylar process syndrome. Arch Orthop Trauma Surg 1998;117:418–9.
- [30] Spratt JD, Stanley AJ, Grainger AJ, et al. The role of diagnostic radiology in compressive and entrapment neuropathies. Eur Radiol 2002;12:2352–64.
- [31] Li J, Krajewski K, Shy ME, et al. Hereditary neuropathy with liability to pressure palsy: the electrophysiology fits the name. Neurology 2002;58:1769–73.
- [32] Beekman R, Visser LH. Sonographic detection of diffuse peripheral nerve enlargement in hereditary neuropathy with liability to pressure palsies. J Clin Ultrasound 2002;30:433–6.
- [33] Tekin L, Ozgöl A. Ultrasound aids in the diagnosis of hereditary neuropathy with liability to pressure palsies. Surg Neurol 2008 [In press: Epub ahead of print].
- [34] Touborg-Jensen A. Carpal-tunnel syndrome caused by an abnormal distribution of the lumbrical muscles. Case report. Scand J Plast Reconstr Surg 1970;4:72–4.
- [35] Sammarco GJ, Stephens MM. Tarsal tunnel syndrome caused by flexor digitorum accessorius longus. A case report. J Bone Joint Surg Am 1990;72:453–4.
- [36] Stewart JD. Compression and entrapment neuropathies. In: Dyck PJ, Thomas PK, editors. *Peripheral Neuropathy*. 3rd Ed. Philadelphia: WB Saunders; 1993. p. 1354–79.
- [37] Barnum M, Mastey RD, Weiss AP, et al. Radial tunnel syndrome. Hand Clin 1996;12:679–89.
- [38] Lanzetta M, Foucher G. Entrapment of the superficial branch of the radial nerve (Wartenberg's syndrome). A report of 52 cases. Int Orthop 1993;17:342–5.

- [39] Tsai WC, Chiou HJ, Chou YH, et al. Differentiation between schwannomas and neurofibromas in the extremities and superficial body: the role of high-resolution and color Doppler ultrasonography. *J Ultrasound Med* 2008;27:161–6.
- [40] Beaman FD, Kransdorf MJ, Menke DM. Schwannoma: radiologic–pathologic correlation. *Radiographics* 2004;24:1477–81.
- [41] Reynolds Jr DL, Jacobson JA, Inampudi P, et al. Sonographic characteristics of peripheral nerve sheath tumors. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:741–4.
- [42] Gruber H, Glodny B, Bendix N, et al. High-resolution ultrasound of peripheral neurogenic tumors. *Eur Radiol* 2007;17:2880–8.
- [43] Bianchi S, Abdelwahab IF, Kenan S, et al. Intramuscular ganglia arising from the superior tibio-fibular joint: CT and MR evaluation. *Skeletal Radiol* 1995;24:253–6.
- [44] Bianchi S, Zwass A, Abdelwahab IF, et al. Sonographic evaluation of intramuscular ganglia. *Clinical Radiology* 1995;50:235–6.
- [45] Shao YC, Harwood P, Grotz MR, et al. Radial nerve palsy associated with fractures of the shaft of the humerus: a systematic review. *J Bone Joint Surg Br* 2005;87:1647–52.
- [46] 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.
- [47] Martinoli C, Schenone A, Bianchi S, et al. Sonography of the median nerve in Charcot-Marie-Tooth disease. *AJR Am J Roentgenol* 2002;178:1553–6.
- [48] Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, et al. US and MR imaging of peripheral nerves in leprosy. *Skeletal Radiol* 2000;29:142–50 (missing number).
- [49] Toms AP, Anastakis D, Bleakney RR, et al. Lipofibromatous hamartoma of the upper extremity: a review of the radiologic findings for 15 patients. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:805–11.
- [50] Marhofer P, Chan VW. Ultrasound-guided regional anesthesia: current concepts and future trends. *Anesth Analg* 2007;104:1265–9.
- [51] Gray AT. Ultrasound-guided regional anesthesia: current state of the art. *Anesthesiology* 2006;104:368–73.