

Možnosti muskuloskeletálního ultrazvuku v diagnostice patologií periferního nervového systému

Martin Kuliha^{1,2}

¹Neurologická klinika, Fakultní nemocnice Ostrava

²Neurologie, cerebrovaskulární poradna a fyzioterapie, Bruntál

Ultrazukové vyšetření je rychlá, neinvazivní, široce dostupná, relativně levná a pro pacienta pohodlná vyšetřovací metoda. V posledních dvou dekádách roste množství publikací a studií, prokazujících využitelnost ultrazvuku v diagnostice různých neurologických chorob. Ultrasonografie je velmi dobře využitelná k zobrazení struktur muskuloskeletálního systému – periferních nervů, svalů, šlach, kloubů, kostí a cév, která také umožňuje dynamické vyšetření tkání. Jde o ideální zobrazovací metodu první volby při diagnostice a diferenciální diagnostice patologií periferních nervů.

Klíčová slova: ultrazvuk, muskuloskeletální systém, periferní nerv, úžinový syndrom

Ultrasound is quick, noninvasive, widely available, inexpensive and for patient comfortable tool for peripheral nerve examination. In last two decades increasing number of publications and studies in diagnosing field of neurological disorders using ultrasound were published. Ultrasound is very good imaging tool for musculoskeletal system – peripheral nerves, muscles, tendons, joints, bones and vessels, allow furthermore dynamical examination. Ultrasound is ideal imaging tool of first choice in peripheral nerve pathology diagnosing.

Key words: Ultrasound, musculoskeletal system, peripheral nerve, entrapment syndrome.

Neurológia 2017; 12 (1): 13-16

Úvod

Muskuloskeletální (MSK) ultrazvuk slouží k zobrazení muskuloskeletálního systému – periferních nervů, svalů, šlach, kloubů, kostí a cév. V minulosti toto vyšetření prováděli zejména radiologové. S rostoucí dostupností ultrazukové diagnostiky se v současnosti MSK problematikou zabývají také neurologové, ortopedi a rehabilitační lékaři. V posledních dekádách roste množství studií a publikací, prokazujících využitelnost MSK ultrazvuku v diagnostice mnoha neurologických chorob.

Ultrazukové vyšetření kromě své relativně dobré dostupnosti a ceny umožňuje velmi kvalitní zobrazení vyšetřovaných struktur a zároveň poskytuje možnost zobrazení dané tkáně při pohybu. Další důležitou oblastí, kde lze MSK ultrazukovou diagnostiku využít jsou intervenční výkony v neurologii – lokální nervové blokády, obstrukce periferních nervů, punkce cév, lumbální punkce, svalové biopsie.

Základními předpoklady k MSK ultrazukovému vyšetřování jsou: adekvátní duplexní ultrazukový přístroj s lineární sondou o frekvencích 8 – 18 MHz (nižší frekvence pro hlubší struktury, vyšší pro povrchové), znalost anatomie vyšetřované oblasti a znalost základních patologických obrazů vyšetřovaných struktur. Většina dnes dostupných ultrazukových přístrojů nabízí MSK nastavení pro jednotlivé anatomické oblasti a speciální MSK sondy.

B-obraz je základním zobrazovacím módem v MSK ultrazukovému, s výhodou použijeme i barevný dopplerovský mód k zobrazení toku krve v cévách či patologické vaskularizace.

Dobrá pomůcka při MSK vyšetřování a to zejména při hodnocení patologických nálezů je vyšetření kontralaterální končetiny (je-li patologie unilaterální), zohledníme tím při hodnocení nálezu interindividuální rozdíly – zejména rozměry jednotlivých struktur a případná patologie tím lépe vynikne.

V tomto článku je popsáno ultrazukové vyšetření periferních nervů.

Ultrazukové vyšetření periferních nervů

Pokud vyšetření periferních nervů provádí neurolog, spojí se zde znalost anatomie nervů, ultrazukový nálezný, klinické příznaky pacienta a znalost neurologické problematiky. Neurologovi vyškolenému v technice MSK ultrazvuku, umožní toto potenciálně široce dostupné vyšetření stanovit diagnózu nebo výrazněji zúžit diferenciálně diagnostický okruh onemocnění již při první návštěvě pacienta. Ideální situace nastane, pokud ultrazukové vyšetření provádí elektromyografista, kdy se vyšetřením klinickým, ultrazukovým a elektromyografickým maximalizuje množství informací pro stanovení konečné diagnózy.

Ultrazuková sonda vhodná pro vyšetření periferních nervů by měla mít minimálně 12 MHz. Identifikace periferního nervu není pro sonografistu při znalosti jeho anatomické lokalizace většinou obtížná, začátečník si může pomoci identifikací nervu v jeho snadno zobrazitelném místě (např. n. ulnaris v oblasti lokte, n. medianus v oblasti zápěstí apod.). Následně může průběh nervu sledovat proximálně i distálně.

Periferní nerv má v B-obrazu v příčném řezu hrubě zrnitou strukturu, tubulární hypoechogenní fascikly (axony) jsou obklopeny hyperechogenní matrix, to vše je ohraničeno jasně hyperechogenním lemlem (epineurium). V podélném řezu je struktura nervu velmi podobná šlachám, které se zobrazují jako svazek paralelních hyperechogenních linií. K odlišení pomůže znalost anatomického průběhu nervu nebo provedení pohybu v příslušném kloubu s vyvoláním pohybu šlachy (event. více šlach)⁽¹⁾.

Základním parametrem měření šířky (resp. rozšíření) periferního nervu je tzv. cross section area (CSA) – obsah průřezu

Tabuľka 1.

	Normální CSA; průměr ± SD (mm ²)	Patologická CSA (mm ²)*	Literární zdroj
n. medianus - canalis carpi	8,5 ± 1,3	>13	6,8-12
n. ulnaris - kubitální kanál	6,6 ± 1,1	> 10	6,8,15
n. ulnari - Guyonův kanál	5,9 ± 1,1	> 10	6,8,15
n. radialis - loket	9,3 ± 2,4	Data chybí	7
n. peroneus - hlavička fibuly	11,2 ± 3,3	Data chybí	7
n. tibialis - kotník	13,7 ± 4,3	Data chybí	7

CSA – cross section area, obsah průřezu nervu v příčném řezu B-obrazu; SD – směrodatná odchylka; * senzitivita pro fokální neuropatii >90%

nervu v příčném řezu B-obrazu v mm². Tato hodnota je používaná ve většině studií a existují základní normální i patologické referenční hodnoty pro jednotlivé periferní nervy a úžinové syndromy⁽²⁻⁴⁾ (tabuľka 1). Předpoklady ke správnému změření CSA jsou měření ve správném anatomickém místě a adekvátní orientace sonda/nerv při měření (sonda kolmo na nerv zobrazený v příčném řezu). Součástí vyšetření periferního nervu kromě změření CSA je i zhodnocení okolních struktur, zhodnocení echogenity nervu a jeho změny v místě patologie, zhodnocení změn ve vyšetřované oblasti při jejím pohybu (zejména v oblasti lokte), ev. i zhodnocení patologické vaskularizace v barevném a dopplerovském modu. Ultrazvukem lze sledovat většinu periferních nervů od plexů do periferie (omezením je lokalizace za kosti). U mononeuropatie je výborným pomocníkem porovnání nálezu na kontralaterální končetině.

Ultrazukové vyšetření periferních nervů má charakteristický obraz u následujících patologií: úžinové syndromy, hereditární demyelinizační polyneuropatie, zánětlivé polyneuropatie, traumata nervů a tumory nervů.

Indikace muskuloskeletálního ultrazukového vyšetření periferních nervů závisí na zkušenostech odesílajícího lékaře i vyšetřujícího sonografisty. Obecným trendem ve světě je použít toto vyšetření jako metody první volby v diagnostice patologií muskuloskeletální soustavy. Evropská společnost muskuloskeletální radiologie v roce 2012 publikovala konsenzus klinických indikací ultrazukového vyšetření muskuloskeletálního systému pro jednotlivé tělesné oblasti (ruka,

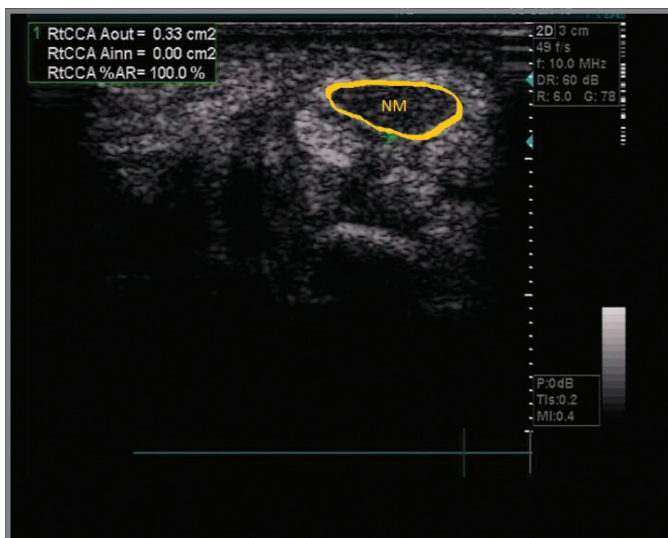
loket, rameno, noha, koleno, kyčel). Ultrazukové vyšetření bylo doporučeno jako metoda první volby pro zobrazení periferních nervů ve všech uvedených lokalizacích s tím, že ostatní zobrazovací metody jen vzácně přinesou více informací⁽⁵⁾.

Úžinové syndromy:

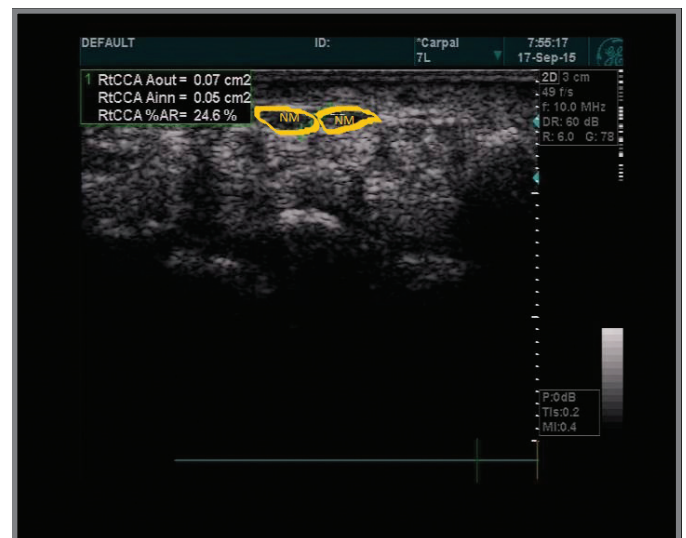
Syndrom karpálního tunelu (SKT) je nejčastější periferní neuropatií. Zlatým standardem v diagnostice SKT jsou elektrofyzilogické studie, tyto však poskytují informaci zejména o tíži léze nervu. Ultrazuk v diagnostice SKT prokázal v mnoha studiích stejně dobrou specificitu a senzitivitu jako elektromyografické vyšetření⁽⁶⁻⁹⁾. Vizualizací n. medianus a okolních struktur v karpálním tunelu poskytuje ultrazukové vyšetření navíc užitečné informace pro určení etiologie SKT. Studie v akutní fázi SKT prokázaly vyšší senzitivitu ultrazukové diagnostiky než u elektromyografického vyšetření, které prokazuje lézi nervu až v subakutní a chronické fázi^(6,8,9). Ultrazukové zobrazení se tímto jeví jako ideální skriningové vyšetření první linie u pacientů s anamnestickými a klinickými příznaky SKT.

Ultrazuková diagnostika SKT je založena na zobrazení n. medianus v karpálním tunelu v B-obrazu, kdy zobrazujeme lokální rozšíření a změnu echogenity nervu. CSA měříme v úrovni os pisiforme a v oblasti maximálního rozšíření nervu v karpálním tunelu. CSA menší než 8 mm² svědčí pro normální nálezu a prakticky diagnózu SKT vylučuje, CSA 9-11 mm² má 80% senzitivitu a 70% specificitu pro diagnózu SKT a CSA větší než 13 mm² má 100% senzitivitu pro diagnózu SKT. Další možností je hodnocení rozdílů CSA v oblasti karpálního tunelu a v oblasti předloktí – rozdíl větší než 2mm² podporuje diagnózu SKT. Novinkou v diagnostice

Obrázek 1. Syndrom karpálního tunelu – B-obraz, příčný řez; masivně prosáklý n. medianus (NM) v karpálním tunelu v příčném řezu, obsah průřezu nervu (CSA) je 33 mm².



Obrázek 2. N. medianus bifidus (NM) – B-obraz, příčný řez.



SKT je použití barevného Dopplerova modu k zobrazení fokální hypervaskularizace nervu, která může být známkou akutního poškození nervu ještě v době, kdy nedošlo k otoku nervu, způsobující jeho fokální rozšíření. Dle studií je přítomna u 87 % pacientů s SKT a jen u 11% kontrol^(2,4-9). Ultrazukovým vyšetřením při podezření na SKT lze odhalit také méně časté příčiny potíží – tenosynovitidy okolních šlach, tumor nervu, cysty v oblasti karpálního tunelu a anatomické varianty n. medianus v karpálním tunelu^(2,10) (**obrázek 1,2**).

Ultrazukem můžeme s výhodou monitorovat efekt terapie a dle změn CSA poškozeného nervu dále terapii modifikovat. Studie sledující změny CSA u pacientů po dekompresi n. medianus i u pacientů léčených konzervativně, ukázala výraznější redukci CSA u chirurgické, oproti konzervativní větvi a dále trend závislosti poklesu CSA po terapii na vstupní velikosti CSA – čím větší vstupní CSA, tím výraznější zmenšení CSA po dekompresi nervu⁽¹¹⁾.

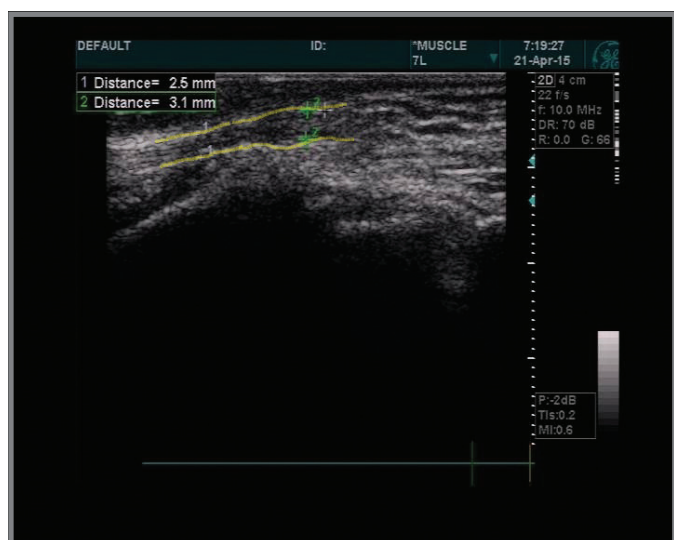
V současnosti lze ultrazukovou diagnostiku SKT považovat za dostatečnou pro stanovení diagnózy (Level A). Pokud je diagnóza stanovena pomocí elektromyografie, je vhodné doplnit ultrazukové vyšetření k odhalení možných strukturálních anatomických abnormalit v oblasti zápěstí (Level B)⁽¹²⁾.

Neuropatie n. ulnaris v kubitálním nebo Guyonově kanále je ultrazukem dobře zobrazitelná. Normální referenční hodnoty CSA n. ulnaris jsou $5,9 \pm 1,1 \text{ mm}^2$ v oblasti zápěstí a $6,6 \pm 1,1 \text{ mm}^2$ v oblasti lokte. Hodnota CSA nad 10 mm^2 má senzitivitu 95-100% pro diagnózu neuropatie^(2,4,13) (**obrázek 3**). Užitečný může být ultrazukový nález luxace n. ulnaris v kubitálním kanále při flexi lokte s návratem nervu do kanálu při extenzi, čímž dochází k opakovaným mikrotraumatům nervu nebo nález trombózy ulnární artérie, která běží spolu s nervem v Guyonově kanále.

Neuropatie n. peroneus nejčastěji nastává kompresivně ischemickým inzultem v oblasti hlavičky fibuly, kde lze nerv ultrazukem zobrazit. Ultrazukové vyšetření zde využijeme zejména k vyloučení jiné lokální patologie.

Neuropatie n. tibialis (syndrom tarzálního tunelu) vzniká nejčastěji netraumatickým útlakem nervu v oblasti tarzálního tunelu. Příčinou zde jsou ganglia, varikózní cévy a talokalkaneární koalice. Ultrazukové vyšetření n. tibialis v tarzálním tunelu se

Obrázek 3. N. ulnaris v sulcus n. ulnaris – B-obraz, podélný řez, lokální rozšíření nervu.



provádí sondou orientovanou kolmo na nerv mezi vnitřním kotníkem a kostí patní. N. tibialis zde typicky běží podél cév. Studie u pacientů se syndromem tarzálního tunelu prokázala četný výskyt ganglií jako příčiny útlaku nervu a zároveň senzitivita detekce ganglií ultrazukem byla vyšší než při vyšetření MRI. Nálezy ultrazukové zde byly plně konzistentní s perioperačním nálezem u všech pacientů⁽¹⁴⁾.

Neuropatie n. cutaneus femoris lateralis (meralgia paresthetica) nastává nejčastěji při útlaku tohoto nervu v oblasti spina iliaca anterior superior, kde nerv běží v blízkosti inkuinálního ligamenta. Ultrazukové vyšetření nervu provedeme se sondou orientovanou podél inkuinálního ligamenta s laterálním pólem sondy u spina iliaca anterior superior, mediální pól sondy směřuje k os pubis. Velmi důležité je zobrazení nervu při provádění lokálního obštíku z důvodu výrazné anatomické variability průběhu nervu, která vede k selhání „na slepo“ prováděné intervence až v 60%⁽¹⁵⁾.

U většiny výše zmiňovaných úžinových syndromů, kromě syndromu karpálního tunelu, chybí dostatečně silná data ke stanovení patologických CSA hodnot a musíme si zde vystačit zejména se stranovým srovnáním a hodnotami normálních CSA^(2,16).

Hereditární demyelinizační polyneuropatie:

Difúzní poškození periferního nervového systému u těchto onemocnění a jen omezené množství dat vede k nižší výtěžnosti ultrazukového vyšetření než u elektromyografie. U demyelinizačních forem onemocnění dosavadní studie ukázaly difúzní rozšíření periferních nervů. Studie u pacientů s nemocí Charcot-Marie-Tooth typu 1a prokázala trojnásobné rozšíření n. medianus (s průměrnou hodnotou CSA $18,4 \text{ mm}^2$) oproti kontrolám^(2,17,18). Axonální formy hereditárních demyelinizačních onemocnění mají výrazně heterogenní ultrazukový nález.

Imunitně podmíněné polyneuropatie:

Jak u akutní, tak u chronické idiopatické demyelinizační polyneuropatie prokázaly ultrazukové studie difúzní rozšíření periferních nervů oproti kontrolám. Dat v této oblasti není mnoho, nicméně naznačují možnost využití ultrazuku zejména v časných stádiích onemocnění, kdy může elektromyografické vyšetření prokazovat ještě normální nebo nespecifický nález^(2,18).

Traumata periferních nervů:

U kompletní traumatické léze nervu je charakteristický nález diskontinuity nervu a ev. nález koncového rozšíření (stump neuronu). Parciální lézi nervu lze zobrazit jako hypoechogenní defekt v části nervu. V některých případech může být zobrazena i příčina traumatu nervu – kostní úlomek, cizí těleso atd. V akutní fázi traumatu však většinou lokální otok a hematoma zkrusují B obraz a tím ultrazukové vyšetření komplikují.

Tumory:

V diagnostice tumorů periferních nervů má ultrazuk minimálně stejnou výtěžnost jako vyšetření magnetickou rezonancí, zejména pokud jsou uloženy povrchově a to z důvodu lepší rozlišovací schopnosti ultrazuku (až $40 \mu\text{m}$). Tumor periferního nervu se v B-obrazu jeví jako hypoechogenní léze (nejčastěji kulovitá nebo ovoidní) v přímé kontinuitě nervu. Jednotlivé tumory mají podobný ultrazukový nález, u většiny lze v barevném a dopplerovském modu zobrazit hypervaskularizaci. U neurofibromatózy typu I lze zobrazit mnohočetné fuziformní rozšíření nervu (neurofibromy) difúzně na periferních nervech.

Intervenční výkony pod ultrazukovou kontrolou

Základními intervenčními výkony, kde lze ultrazvuk uplatnit, jsou lokální podání léčebné látky, regionální anestézie a biopsie. Výhodou ultrazvuku je jeho využitelnost v běžné ambulantní praxi, přímo u lůžka pacienta nebo na operačním sále.

Ultrazvuk při těchto intervencích lze využít dvěma základními přístupy – zobrazit si před samotnou intervencí ultrazukem konkrétní anatomické poměry v intervenované oblasti a výkon samotný již dále provést standardně bez ultrazvuku, což nám oproti výkonu „naslepo“ dá jasnou představu o lokální anatomii a její individuální variantě (cévy, interspinální prostory, anatomické varianty atd.). Druhou možností je si ujasnit konkrétní anatomické poměry před intervencí a následně provádět i samotnou intervenci pod přímou ultrazukovou kontrolou, kdy kontinuálně sledujeme špičku jehly při průchodu tkání k cílové struktuře a ev. monitorujeme i depo lokálně podávané látky. První přístup je vhodný u intervencí, kde by výkon s ultrazukovou asistencí znamenal spíše komplikaci, ale naopak znalost konkrétních anatomických poměrů nám pomůže při výkonu samotném a zároveň nám umožní eliminovat případné komplikace (punkce některých cév, lumbální punkce). Druhý přístup využijeme tehdy, potřebujeme-li se důsledně vyvarovat např. poranění periferního nervu při jeho obstrukci či svodné anestezii, při punkci artérie při zajišťování centrálního žilního přístupu, potřebujeme-li podat léčebnou látku do konkrétní lokalizace (okolí nervu) nebo při ultrazukem asistované biopsii nervu^(16,19).

Nové trendy a výzkum v oblasti MSK ultrazvuku

V posledních dvou dekáдах a zejména v posledních letech skokově narůstá množství publikací a studií v oblasti MSK ultrazvuku. Byly publikovány první soubory pacientů s konkrétními

patologiemi a jejich koreláty v ultrazukovém obraze, což pomáhá k výraznému rozšiřování indikací MSK ultrazukového vyšetření. V oblasti periferních nervů je v posledních letech zkoumána vaskularizace nervů a měření jejich echogenity⁽²⁰⁻²²⁾. Nález hypervaskularizace by mohl být využit k hodnocení míry zánětu nervu, byly reportovány nálezy lokální hypervaskularizace také u úžinových syndromů⁽²¹⁾.

Kvantitativní měření echogenity nervu (denzita nervu), se dle publikovaných sdělení zdá být přínosné v diagnostice jak lokálních, tak difúzních patologií nervů, zejména u hereditárních a zánětlivých polyneuropatií⁽²⁰⁻²²⁾.

Závěr

Ultrazukové vyšetření je rychlou, neinvazivní, široce dostupnou, levnou a pro pacienta pohodlnou vyšetřovací metodou použitelnou při diagnostice a diferenciální diagnostice patologií periferních nervů. Tato metoda umožňuje také dynamické vyšetření tkání. Je to vhodná zobrazovací diagnostická metoda první volby. Ultrazukové vyšetření spolu s elektromyografií, u pacientů s podezřením na patologii periferních nervů, poskytují komplexní diagnostická data, kdy k informacím z elektromyografického vyšetření získáme také informaci o strukturální patologii nervu a jeho okolních struktur. U některých patologií, např. syndromu karpálního tunelu, lze již ultrazukovou diagnostiku považovat za metodu první volby (Level A).

Adresa ke korespondenci:

MUDr. Martin Kuliha
Neurologická klinika, Fakultní nemocnice Ostrava
17. listopadu 1790/5, 708 52 Ostrava-Poruba
e-mail: martin.kuliha@email.cz

Literatura

- Martinoli C, Bianchi S, Dahmane M, et al. Ultrasound of tendons and nerves. *Eur Radiol.* 2002 Jan;12(1):44-55.
- Hobson-Webb LD, Padua L, Martinoli C. Ultrasonography in the diagnosis of peripheral nerve disease. *Expert Opin Med Diagn.* 2012 Sep;6(5):457-71.
- Cartwright MS, Passmore LV, Yoon JS, et al. Cross-sectional area reference values for nerve ultrasonography. *Muscle Nerve.* 2008 May;37(5):566-71.
- Hobson-Webb LD, Padua L. Ultrasound of Focal Neuropathies. *J Clin Neurophysiol.* 2016 Apr;33(2):94-102.
- Klauser AS, Tagliafico A, Allen GM, et al. Clinical indications for musculoskeletal ultrasound: a Delphi-based consensus paper of the European Society of Musculoskeletal Radiology. *Eur Radiol.* 2012 May;22(5):1140-8.
- Tai TW, Wu CY, Su FC, et al. Ultrasonography for diagnosing carpal tunnel syndrome: a meta-analysis of diagnostic test accuracy. *Ultrasound Med Biol.* 2012 Jul;38(7):1121-8.
- Roll SC, Case-Smith J, Evans KD. Diagnostic accuracy of ultrasonography vs. electromyography in carpal tunnel syndrome: a systematic review of literature. *Ultrasound Med Biol.* 2011 Oct;37(10):1539-53.
- Mondelli M, Filippou G, Gallo A, et al. Diagnostic utility of ultrasonography versus nerve conduction studies in mild carpal tunnel syndrome. *Arthritis Rheum.* 2008 Mar 15;59(3):357-66.
- Yurdakul OV, Mesci N, Çetinkaya Y, et al. Diagnostic Significance of Ultrasonographic Measurements and Median-Ulnar Ratio in Carpal Tunnel Syndrome: Correlation with Nerve Conduction Studies. *J Clin Neurol.* 2016 Jul;12(3):289-94.
- Padua L, Liotta G, Di Pasquale A, et al. Contribution of ultrasound in the assessment of nerve diseases. *Eur J Neurol.* 2012 Jan;19(1):47-54.
- Vögelin E, Nüesch E, Jüni P, et al. Sonographic follow-up of patients with carpal tunnel syndrome undergoing surgical or nonsurgical treatment: prospective cohort study. *J Hand Surg Am.* 2010 Sep;35(9):1401-9.
- Cartwright MS, Hobson-Webb LD, Boon AJ, et al. American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine. Evidence-based guideline: neuromuscular ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.* 2012 Aug;46(2):287-93.
- Beekman R, Visser LH, Verhagen WJ. Ultrasonography in ulnar neuropathy at the elbow: a critical review. *Muscle Nerve.* 2011 May;43(5):627-35.
- Nagaoka M, Matsuzaki H. Ultrasonography in tarsal tunnel syndrome. *J Ultrasound Med.* 2005 Aug;24(8):1035-40.
- Klauser AS, Abd Allah MM, Halpern EJ, et al. Meralgia paraesthetica: Ultrasound-guided injection at multiple levels with 12-month follow-up. *Eur Radiol.* 2016 Mar;26(3):764-70.
- Klauser AS, Abd Allah MM, Halpern EJ, et al. Meralgia paraesthetica: Ultrasound-guided injection at multiple levels with 12-month follow-up. *Eur Radiol.* 2016 Mar;26(3):764-70.
- Martinoli C, Schenone A, Bianchi S, et al. Sonography of the median nerve in Charcot-Marie-Tooth disease. *AJR Am J Roentgenol.* 2002 Jun;178(6):1553-6.
- Zaidman CM, Al-Lozi M, Pestronk A. Peripheral nerve size in normals and patients with polyneuropathy: an ultrasound study. *Muscle Nerve.* 2009 Dec;40(6):960-6.
- Tagliafico A, Bodner G, Rosenberg I, et al. Peripheral nerves: ultrasound-guided interventional procedures. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2010 Nov;14(5):559-66.
- Tagliafico AS. Peripheral nerve imaging: Not only cross-sectional area. *World J Radiol.* 2016 Aug 28;8(8):726-8.
- Hobson-Webb LD. Neuromuscular ultrasound in polyneuropathies and motor neuron disease. *Muscle Nerve.* 2013 Jun;47(6):790-804.
- Boom J, Visser LH. Quantitative assessment of nerve echogenicity: comparison of methods for evaluating nerve echogenicity in ulnar neuropathy at the elbow. *Clin Neurophysiol.* 2012 Jul;123(7):1446-53.