初めて末梢神経・筋エコーをする人のために —末梢神経・筋エコーの基礎—

高松 直子¹⁾, 濱口 浩敏²⁾, 野寺 裕之¹⁾

¹⁾ 徳島大学病院神経内科

²⁾ 北播磨総合医療センター神経内科

Basic neuromuscular ultrasound for beginners

Naoko TAKAMATSU¹⁾, Hirotoshi HAMAGUCHI²⁾, Hiroyuki NODERA¹⁾

¹⁾ Department of Neurology, Tokushima University Hospital

²⁾ Department of Neurology, Kita-Harima Medical Center

Neuromuscular ultrasound is one of the fastest growing areas. Due to the close anatomical relationship, vascular sonographers should have seen nerve structures during their routine studies. In this review, brief technical comments are provided for “novice” neuromuscular sonographers, in order to depict major peripheral nerves. Furthermore, images show characteristic sonographic changes in various neuromuscular diseases.

Keywords: neuromuscular sonography, carpal tunnel syndrome, amyotrophic lateral sclerosis, myositis

はじめに

末梢神経・筋エコーに関しては、最近急速にまた世界的に普及しつつあり、欧米ではテキストも発刊され¹⁾、論文数もこの2～3年で急激に増加している²⁾。一方、麻酔科や整形外科領域ではすでに日本語のテキストも発刊され一般的に普及している^{3,4)}。またスポーツ医学やリハビリテーションの分野でも積極的に筋エコーが取り入れられている。しかしながら、末梢神経疾患・筋疾患のエコー診断において、日本は欧米に比べてはるかに出遅れている。日本語のテキストはなく、日常的に検査している施設もほとんどないのが現状である。

頸部や四肢には血管、末梢神経、筋、腱、靱帯、骨などさまざまな構造物があるが、連続性の線状構造物は血管と神経だけであり、血管エコーを行っている人は必ず近傍にある神経をとらえているはずである。たとえばFig.1のように、総頸動脈と内頸静脈の間に描出されているわずか1～2mm²の筒状の構造物は、迷走神経である。これら末梢神経は、その存在に意識を向けることにより、今まで認識していなかったものが構造物として

みえてくるようになる。

本稿では、日常臨床の現場で頸動脈、下肢静脈エコーを行っている方々に興味をもってもらえるように、初心者にもわかりやすく解剖を中心に解説する。

Fig.1 The vagus nerve (cross-sectional area: approximately 1mm²) is depicted between the common carotid artery and vein

Reprint request

高松直子：〒770-8503 徳島県徳島市蔵本町 3-18-15 徳島大学病院神経内科

Naoko TAKAMATSU: Department of Neurology, Tokushima University Hospital, 3-18-15, Kuramoto-cho, Tokushima 770-8503, Japan

E-mail: ntakamatsu56@gmail.com, Tel: 088-633-7207, Fax: 088-633-7208

Fig.2 cervical nerve root

A: The vertebral artery usually enters into the foramen transversarium, usually at the C6 level.

B: Longitudinal image of the neck: nerve roots cross vertebral artery and vein.

Fig.3 peripheral nerve

A: The median nerve at the wrist by using a 22-MHz linear probe.

B: A short-axis image of a peripheral nerve shows endoneurium, perineurium, and epineurium.

神経

末梢神経は、体性神経と、意思とは関係なく内臓・血管などの自動的制御に関わる自律神経とに大別される。体性神経はさらに運動神経（筋肉の運動を起こす）と、感覚神経（末端器官からの熱さ、冷たさ、痛さといった温痛覚や触覚を伝え、手足の位置、振動などを認識する深部感覚を伝える）に分けられる。末梢神経エコーでは主にこの体性神経を観察している。最も近位で描出されるのは頸髄から出ている頸部神経根である。神経根は頸椎横突起の溝に沿って走行し、椎骨動脈はそれを横断するような形で横突起孔の中を突き抜けている。神経根は血管と同じように低輝度の線状構造物として描出されるため、椎骨動脈と混同する可能性がある。カラードブラ表示にしてもカラーが入らない管腔構造物のようにみえるため、頸動脈エコーの初心者では椎骨動脈閉塞と間違えないように注意が必要である（Fig.2）。また、四肢で

はほとんどの部位で動静脈と伴走しているため、末梢動脈や静脈の閉塞と間違える可能性もあることに注意が必要である。実際の神経エコーでは、近位部は頸部を、遠位部は末梢側から描出するため、便宜上、頸部神経根と末梢神経は分けて検査することも多い。なお、腰髄から出る神経根については深部に位置するため、現在のエコー装置では明瞭に描出できない。

1. 末梢神経

末梢神経は、神経束の中に運動神経、感覚神経（一次感覚ニューロン）といった機能的に異なる神経線維を含み、さらに自律神経を含む部分もある。それらの神経束は神経周膜によって覆われる。神経束が集簇し、周囲に血管が伴走し、神経上膜によって束ねられ1つの神経幹として構成される（Fig.3）。

計測が可能な神経は、比較的太く体表面に近い神経（基本的に神経伝導検査が可能な神経）であり、上肢では正

Fig.4 The cross-sectional area (CSA, mm²) is measured along the inner-most border of the epineurium
Because of its thickness, accurate tracing along the segment is important for reliable measurement of CSA.

中神経、尺骨神経、橈骨神経、下肢では脛骨神経、腓腹神経、腓骨神経などがエコーで描出可能である。

神経エコーでは神経の太さ（径、断面積）や浮腫、腫瘤などの有無を観察する。腫瘤については特にガングリオンや神経鞘腫などが観察できる。疑われる疾患によって両側または片側のみ、上肢あるいは下肢のみを観察することもあるが、左右を比較する場合や、病変が多巣性の場合には基本的に両側を観察する必要がある。

末梢神経を観察する際、主に使用するプローブは10～24MHzのリニア型を使用し、部位によって使い分ける。プリセットは鮮明に描出できるように工夫する必要があるが、まずは各装置に初期設定として搭載されている表在を中心としたプリセット（MSKやNerveなど）を使用するとよい。いずれの神経も、基本的には短軸走査で末梢側（上肢の場合は手首）から中枢側に向かって（上肢の場合は上腕）、プローブを上下にずらしながら連続性のある構造物を同定する。多くは血管と伴走しているため、適宜カラードプラ画像を用いてさがすとよい。計測部位は手首、前腕、肘部、上腕などを設定し、その他特に腫大している部位を計測する。基本的に短軸像で断面積（cross-sectional area: CSA）をトレースし計測する。神経幹周囲の神経上膜は高輝度に描出されるが、神経上膜はいくらかの厚みがあり、外側からと内側からでは断面積の計測値に大きな誤差が生じる。現在のところ神経上膜の最内側部で計測するのが一般的である（Fig.4）。また病変が存在した場合は、長軸走査も併用

し広範囲に描出する。腫瘤があれば形状を観察し、サイズや内部性状を計測する。

日本人の正常値に関しては現在あるのは少数例のデータのみであり⁵⁾、多施設で評価した正常値はない。今後神経筋超音波研究会が発刊する教科書を参考にされたい。

正中神経（median nerve）

正中神経は、上腕部では上腕動脈の外側を走行しており、烏口腕筋の付着部では前方に交差し肘窩でその内側に走行する（Fig.5）。正中神経エコーは特に手根管症候群の診断に有用である。手根管は底部を手根骨、上部を屈筋支帯で形成される狭いトンネルのような空間であり、手根管内を正中神経と滑液鞘に包まれた9本の腱が通っている。何らかの原因によって手根管内の圧力が高まると、正中神経の圧迫性障害が生じ、正中神経領域のしびれ、知覚低下を呈する。手指の屈伸や手を振る動作で改善がみられる。障害が進行すると、母指球筋が萎縮し、短母指外転筋や母指対立筋の筋力低下、巧緻性低下などがみられる。診断にはPhalenテスト陽性、Tinel徴候などが認められる。手をよく使う職業、スポーツ選手、中年女性、妊婦に多い。神経伝導検査で診断するのが一般的であるが、最近ではエコーで診断する施設も増えてきた。正中神経エコーの観察では絞扼部よりも近位側で神経肥厚像を確認できる（Fig.6）。限局性あるいはびまん性の肥厚が観察され、内部は低エコーを呈する。手根管部では神経の扁平を確認する（Fig.6）。手首対前腕比（wrist-to-forearm ratio: WFR）がカットオフ値1.4

Fig.5 The median nerve at the wrist is located in-between the superficial finger flexors and the flexor pollicis longus at the flexor retinaculum

Fig.6 The median nerve in a 49-year-old woman with carpal tunnel syndrome

A: At the wrist: cross-sectional area (CSA) of 24mm^2 (increased).

B: In the forearm, CSA is normal (9mm^2). The wrist/forearm ratio is 2.7 (increased).

C: Long-axis view. a: At the wrist, the diameter is 3.2mm. b: At the carpal segment, the diameter is 2.3mm. There is focal compression at the carpal tunnel and focal swelling is present proximal to the compressive site.

Fig.7 The ulnar nerve in a 56-year-old man with cubital tunnel syndrome who has focal nerve swelling at the elbow

A: The distal elbow: the cross-sectional area (CSA) = 7.1mm^2 (normal).

B: At the elbow: CSA = 12.0mm^2 (increased).

C: The proximal elbow: CSA = 6.8mm^2 (normal).

と設定されている⁶⁾。また、病変が限局していることをあわせて診断できる。そのほか、炎症性あるいは遺伝性末梢神経障害の診断にも有用である⁷⁻⁹⁾。

尺骨神経 (ulnar nerve)

手関節部で Guyon 管 (豆状骨、有鈎骨によって形成される) を通過したのち、浅枝と深枝の 2 つに分かれる。上腕での神経走行は中央部までは上腕動脈の内側に位置しており、次いで内側筋膜中隔を貫通し、さらに後方筋区画の中に入っていく。前腕前面に移行する際に尺側手根屈筋の肘部管を走行していく。尺側手根屈筋と深指屈筋との間では深部に位置し前腕遠位部 2/3 では尺骨動脈の内側を走行している。尺骨神経障害で一番多いのは肘部管症候群である。何らかの原因で肘部管の内部が狭くなり、尺骨神経が慢性的に圧迫されて起こる。肘関節部の骨折、ガングリオン、外傷などから起こることが多い。肘部管症候群の主な臨床症状としては、尺骨神経領域のしびれ、知覚低下であるが、特に第 4 指尺側、第 5 指のしびれがみられる。障害が進行すると、母指球筋と示指・中指の虫様筋を除くすべての手内筋の運動麻痺を呈し、環指・小指に限局した鉤爪指 (claw finger) を呈する。診断には Froment 徴候や Tinel 徴候などが認められる。

肘部管症候群のエコー検査としては、肘部における尺骨神経の絞扼部を確認する。肘部をエコーで描出する場合、肘の内後方を走査できるよう仰臥位とし、肘を外転・外旋すると描出しやすい。尺骨神経の観察では尺骨と内側上顆で挟まれている部位やその前後で神経が腫大する。絞扼部よりも近位側で神経肥厚像を確認できる。限局性あるいはびまん性の肥厚が観察され、内部は低エコーを呈する (Fig.7)。肘部管部では神経の扁平を確認す

る。この際、ガングリオンなどの有無も確認するとよい。

脛骨神経 (tibial nerve)

膝窩中央部を垂直に浅層で走行している。下腿における走行は浅層から深部に入り、腓腹筋とひらめ筋の間を通過し最深部にある後脛骨筋後面と脛骨の間を走行していく。上肢の神経に比べると 2 倍程度太い。

腓腹神経 (sural nerve)

膝窩部から腓腹筋の二頭筋間溝を下降し、下腿遠部 1/3 で表在になり、外果後方を通過し足外側縁に至る。基本的に腓腹神経は小伏在静脈に隣接するが、離れている場合もある。腓腹神経は感覚神経のみで構成され、運動枝に比べるとかなり細く、非常に表皮に近い部位にあり健常人でもみえない場合が多い。神経生検が施行可能な唯一の神経である (Fig.8)。

2. 頸部神経根

神経の一部は分枝、あるいは筋の中に埋没することもあるが、基本的に近位部から遠位部まで、連続性をもって分布している。頸部神経根エコーは脊髄から分枝した最も近位部の神経をみている。脊髄神経根は脊髄前面の前外側溝から出る前根と、脊髄後面の後外側溝から出る後根の 2 つがある。前根は主に骨格筋を支配する運動線維、後根は主に皮膚などの知覚を伝える感覚線維が含まれる。前根と後根が合流した先で、脊髄神経は細い硬膜枝と交通枝を出したのち、交感神経幹の神経節に入る。一部の前枝は、神経叢を形成して異なる高さからの線維と交換し、さまざまな高さからの線維を含んだ神経になって末梢へ向かう。エコーで描出できるのは前根と後根が合流したところから神経叢までの領域である。

Fig.8 The sural nerve (arrow), 12cm proximal to the lateral malleolus, where the small saphenous vein is closely located

Fig.9 C6 nerve root can be identified by characteristic shapes of anterior and posterior tubercles
The C6 root appears a "V" shape.

頸部神経根を観察する際に用いられるプローブとしては、頸動脈エコーで用いられている約5～10MHzを中心周波数帯としたリニア型を用い、プリセットはCarotidまたはNerve-deepを選択するとよい。神経根は深部で描出されるため、まず、短軸像で頸動脈を描出し、甲状腺が一番大きくみえる高さでプローブを外側に振ると、ほとんどの場合、C6神経根が描出できる。頸椎の横突起の溝にはまったような形で描出されるが、それぞ

れの頸椎から出る神経根の太さに差があり $C5 < C6 < C7$ の順に太くなるため、同定が必要になる。C5、C6、C7では横突起の前結節と後結節の構造に違いがある。短軸で描出するとC5は結節の間が狭いため溝はU字型になり、C6は前後結節の間が広がるためV字型になる (Fig.9)。それぞれUシェイプ、Vシェイプと呼んで区別している。C7には前結節がないため同定しやすい。

Fig.10 The biceps brachii in a 28-year-old healthy man

A: Cross-sectional image, observe echogenicity and muscle thickness.

B: Long-axis image to observe muscle fibers.

長軸像で神経根を描出する際は、椎骨動脈が横突起孔内に入孔するのが主にC6であるため、C6横突起から出ている神経がC6神経根と同定できる。しかし、椎骨動脈はC7やC5などから入孔する場合もあるため、短軸像で結節の構造を確認しながら神経根を同定するのが主流である。神経根の計測は末梢神経同様、短軸像で神経上膜最内側部をトレースし、断面積を求める。炎症性の脱髄性疾患¹⁰⁻¹²⁾や遺伝性末梢神経障害¹³⁾などで腫大し、軸索性病変¹⁴⁾や運動ニューロン疾患¹⁵⁾などでは萎縮することが報告されている。

筋エコー

筋疾患の診断は、臨床症状、血液検査、針筋電図などで行われ、確定診断には筋生検を行っている。画像診断としては、MRIやCTが一般的ではあるが、それらに対しエコーはベッドサイドでも施行することができ、一度の検査で広範囲を観察することが可能である。最近の超音波装置の解像度は優れており、筋組織0.1mmレベルでの解析が可能である。

骨格筋は筋束が集まって1つの筋を形成している。その周囲は筋膜で覆われ、それぞれの筋の境界は筋膜によって区別され、筋線維束の周囲は周膜によって覆われている。筋膜や周膜は高輝度に描出されるが、それ以外の筋線維そのものは通常、低輝度に描出される。主な評価項目は筋の輝度、筋の厚み（萎縮、肥厚）、線維束性収縮（fasciculation）などである。短軸像で輝度、筋の厚みを観察し、長軸像で筋線維（便宜上の表現法で実際には筋束、筋周膜をみている）を観察する（Fig.10）。

日常的に観察する筋は頸部、四肢であるが、必要に応

じて後頸部、腹部、背部なども観察する。

プローブは5～10MHzのリニア型を使用し、プリセットは各装置に初期設定として搭載されている表在を中心としたプリセット（MuscleやCarotidなど）を使用するとよい。プローブ走査は、必ず皮膚表面に対して垂直に当てる必要がある。斜めに当てると輝度が低下してしまうため注意が必要である。筋の厚みは20～40歳でピークになり、その後は萎縮する¹⁶⁾。年齢的な傾向が強いのは大腿四頭筋であり、上腕二頭筋での年齢差は少ない。

筋強直症ジストロフィーや急性の筋炎では筋の肥厚あるいは浮腫を生じる場合があるが、多くの筋疾患では萎縮するため、超音波検査にて筋厚の減少を検出することが重要である。筋膜や周膜は高輝度に描出されるが、それ以外の筋線維そのものは通常は低輝度に描出される。正常の場合でも年齢によって輝度の変化がみられ、20～40歳で低輝度になり、その後加齢とともに上昇する¹⁶⁾。

筋エコーは主に筋炎などの筋疾患の診断に有用である。多発筋炎などの急性の筋炎では輝度上昇が重要な所見となる。筋炎の慢性期や封入体筋炎では筋萎縮および筋の脂肪置換が起こり、筋線維は消失し、輝度は著明に上昇する（Fig.11）。そのほか、サルコイド結節の有無を確認することにより、筋サルコイドーシスの補助診断や筋生検の部位を決定するのが容易になる¹⁷⁾（Fig.12）。また、fasciculationの有無をみることにより、運動ニューロン疾患の補助診断にもなりうる^{18,19)}（Fig.13）。

Fig.11 Abnormal echogenicity of biceps brachii due to inflammatory change

A: Normal. B: Partially hyperechoic. C: Diffusely hyperechoic. D: Fat deposition.

Fig.12 A 62-year-old man with sarcoidosis

A: Tibialis anterior.

B: Rectus femoris.

There are intramuscular hyperechoic nodule-like structures that have regular borders (possibly irregular).

おわりに

超音波装置の性能向上に伴い、今までみえていなかった神経・筋の領域も脚光を浴びるようになってきた。今後さらなる発展を期待する。

利益相反：すべての著者に申告すべき利益相反事項はない。

Fig.13 A 48-year-old woman with amyotrophic lateral sclerosis (ALS)

A: B-mode image of the tongue, showing irregular movements in some parts of the tongue.

B: M-mode image obtained at the same location as A.

●文献

- 1) Walker FO, Cartwright MS: Neuromuscular Ultrasound, Philadelphia: Elsevier, 2011, 208p
- 2) 野寺裕之：神経筋疾患の超音波診断，鈴木則宏，荒木信夫，宇川義一，他（編）：Annual Review 神経 2017，東京：中外医学社，2017，p243-249.
- 3) 中西康顕（著），田中康仁（監）：超音波でさがす末梢神経，東京：メジカルビュー社，2015，176p.
- 4) 皆川洋至（著）：超音波でわかる運動器疾患—診断のテクニック，東京：メジカルビュー社，2010，328p.
- 5) Sugimoto T, Ochi K, Hosomi N, et al.: Ultrasonographic reference sizes of the median and ulnar nerves and the cervical nerve roots in healthy Japanese adults. *Ultrasound Med Biol* 2013; 39: 1560-1570.
- 6) Orman G, Ozben S, Huseyinoglu N, et al.: Ultrasound elastographic evaluation in the diagnosis of carpal tunnel syndrome initial findings. *Ultrasound Med Biol* 2013; 39: 1184-1189.
- 7) Zaidman CM, Al-Loiz M, Pestronk A: Peripheral nerve size in normal and patients with polyneuropathy: an ultrasound study. *Muscle Nerve* 2009; 40: 960-966.
- 8) Cartwright MS, Brown ME, Eulitt P, et al.: Diagnostic nerve ultrasound in Charcot-Marie-Tooth disease type 1B. *Muscle Nerve* 2009; 40: 98-102.
- 9) Martinoli C, Schenone A, Bianchi S, et al.: Sonography of the median nerve in Charcot-Marie-Tooth disease. *AJR* 2002; 178: 1553-1556.
- 10) Taniguchi N, Itoh K, Wang Y, et al.: Sonographic detection of diffuse peripheral nerve hypertrophy in chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy. *J Clin Ultrasound* 2000; 28: 488-491.
- 11) Matsuoka N, Kohriyama T, Ochi K, et al.: Detection of cervical nerve root hypertrophy by ultrasonography in chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy. *J Neurol Sci* 2004; 219: 15-21.
- 12) Beekman R, van den Berg LH, Franseen H, et al.: Ultrasonography shows extensive nerve enlargements in multifocal motor neuropathy. *Neurology* 2005; 65: 305-307.
- 13) Sugimoto T, Ochi K, Hosomi N, et al.: Ultrasonographic nerve enlargement of the median and ulnar nerves and the cervical nerve roots in patients with demyelinating Charcot-Marie-Tooth disease. *J Neurol* 2013; 260: 2580-2587.
- 14) Nodera H, Sato K, Terasawa Y, et al.: High-resolution sonography detect inflammatory changes in vasculitic neuropathy. *Muscle Nerve* 2006; 34: 380-381.
- 15) Nodera H, Takamatsu N, Shimatani Y, et al.: Thinning of cervical nerve roots and peripheral nerves in ALS as measured by sonography. *Clin Neurophysiol* 2014; 125: 1906-1911.
- 16) Pillen S, Arts IM, Zwartz MJ: Muscle ultrasound in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve* 2008; 37: 679-693.
- 17) 高松直子，寺澤由佳，酒井和香，他：超音波所見を契機として確定診断できたサルコイドーシスの1例. *Neurosonology* 2012; 25: 13-16.
- 18) Misawa S, Noto Y, Shibuya K, et al.: Ultrasonographic detection of fasciculation markedly increases diagnostic sensitivity of ALS. *Neurology* 2011; 77: 1532-1537.
- 19) Takamatsu N, Nodera H, Mori A, et al.: Which muscle shows fasciculations by ultrasound in patients with ALS? *J Med Invest* 2016; 63: 49-53.