

特 集

疼痛の機序解明と疼痛治療の最前線
超音波解剖学的アプローチ

¹⁾ 水谷痛みのクリニック

²⁾ 獨協医科大学 麻酔科学

³⁾ 獨協医科大学 解剖学 (マクロ)

白井 要介^{1,2,3)} 北島 敏光²⁾ 松野健二郎³⁾

はじめに

近年、超音波診断装置が高解像度化・小型化したためベッドサイドにおける超音波ガイド下神経ブロックが普及してきた。ペインクリニック領域ではこれまで腕神経叢と頸神経叢が共に前斜角筋と中斜角筋に挟まれているという考え方が一般的であった。Chan は超音波ガイド下に C6 レベルで斜角筋筋溝内への局所麻酔薬注入による腕神経叢ブロックを報告した¹⁾ (図 1B ①)。Winne は非透視下に C6 レベルで斜角筋筋溝内に局所麻酔薬 10 ml 注入すると腕神経叢だけがブロックされ²⁾ (図 1A ①)、20 ml 注入すると腕神経叢だけでなく頸神経叢も

同時にブロックされる³⁾ (図 1A ②) と報告した。一方、Roessel は超音波ガイド下に C4 レベルで上部斜角筋筋溝と思われる部位に局所麻酔薬 20 ml を注入したが、腕神経叢はブロックされずに頸神経叢だけがブロックされると報告した⁴⁾ (図 1B ②)。

我々はこのブロック効果における矛盾を明らかにするために、献体による基礎研究とボランティアによる臨床研究を行い、頸部の筋群と神経系の超音波解剖学的位置関係を明確にした⁵⁾。本稿ではこれらの研究をもとに、超音波ガイド下頭長筋内注入による頸神経叢と上頸交感神経節の同時ブロック^{6,7)} について説明したい。

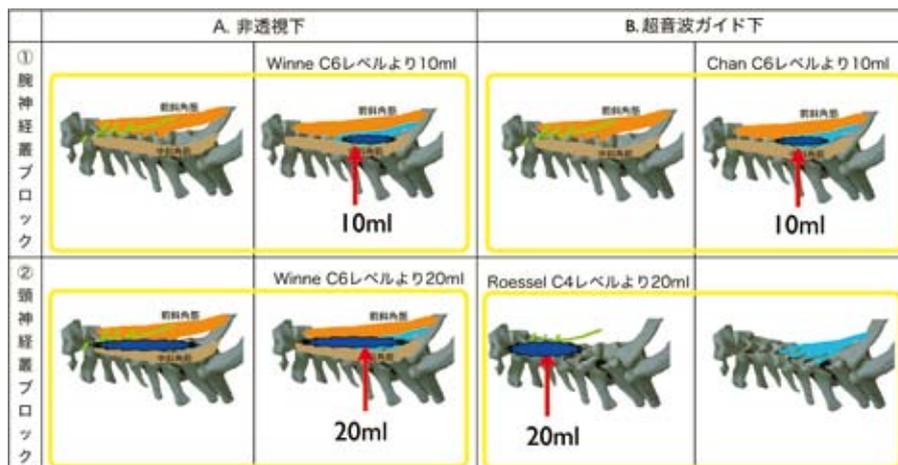


図 1 これまでの研究

非透視下ブロックでは、C6 レベルで前・中斜角筋からなる筋溝内に局所麻酔薬 10 ml 注入すると腕神経叢だけがブロックされ (A ①)、20 ml 注入すると腕神経叢だけでなく頸神経叢も同時にブロックされる (A ②) と考えられていた。超音波ガイド下ブロックでは、C6 レベルでは非透視下と同様の結果となったが (B ①)、C4 レベルでは腕神経叢はブロックされずに頸神経叢だけがブロックされた (B ②)。

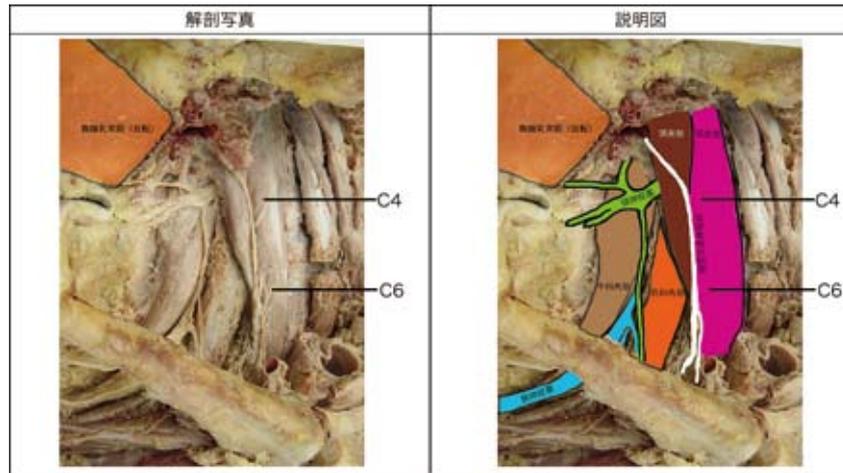


図2 頸部右前方からの解剖

腕神経叢は前斜角筋と中斜角筋に挟まれているが、頸神経叢は頭長筋と中斜角筋に挟まれている。頸部交感神経幹はC6レベルより尾側では頸長筋の腹側・外側にあり、C6～C4までは頸長筋と頭長筋の間にある。C4レベルでは頭長筋の腹側にあり、C3レベルより頭側では頸動脈鞘へ向かう。

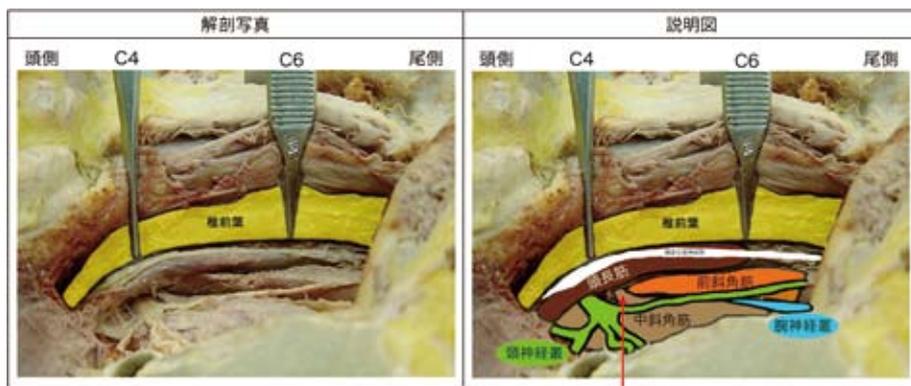


図3 頸部右側方からの解剖

頸椎周辺の椎前筋群（頸長筋・頭長筋）や斜角筋群（前・中・後斜角筋）を包む結合組織である椎前葉をはがし、めくり上げている。中斜角筋は頸神経叢と腕神経叢の背側の壁となっているだけでなく、C4前結節にも付着し両神経叢を頭側と尾側に分ける隔壁にもなっている（矢印）。

基礎研究・方法

28体の献体遺体を用いて前斜角筋、中斜角筋、頭長筋、頸長筋の起始・停止と、これらの筋群と腕神経叢、深頸神経叢、頸部交感神経幹との位置関係を詳細に調べた。

基礎研究・結果

前方と側方からの頸部解剖図を示す（図2, 3）。前斜角筋の前結節付着部最高位はC5が55.4%、C4が28.6%であり、筋の直径は頭側へ行くほど細くなる（図4A①）。中斜角筋の後結節付着部最高位は全例C2であり、深頸神経叢と腕神経叢の背側の壁となる。また中斜角筋

は全例C4前結節にも付着し深頸神経叢と腕神経叢を頭側と尾側に分ける（図4A②）。頭長筋の前結節付着部最低位はC6が93%であり、筋の直径は頭側へ行くほど太くなり（図4B①）、頸長筋は頭長筋内側のC1からT3椎体に付着していた（図4B②）。したがって腕神経叢の背側の壁は中斜角筋であり腹側の壁は前斜角筋である（図5A）。一方、深頸神経叢の背側の壁は中斜角筋であり腹側の壁の大部分が頭長筋となり、前斜角筋は腹側の壁のうち尾側の一部しか形成しないことがわかった（図5B）。また頸部交感神経幹のうち上頸交感神経節は頭長筋の腹側に、中頸神経節・椎骨動脈神経節・星状神経節は頭長筋の腹側から外側に存在した（図5C）。

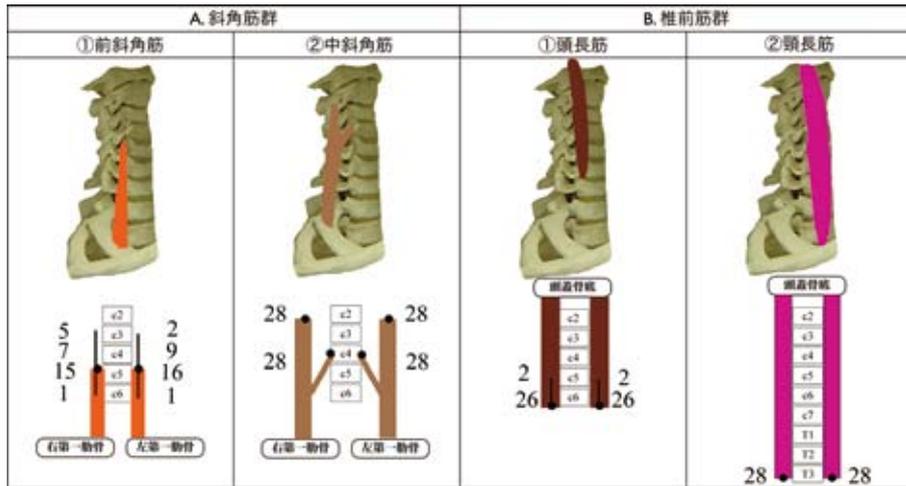


図4 椎前葉内の筋の関係

前斜角筋の前結節付着部最高位はC6は1.8%，C5は55.4%，C4は28.6%，C3は12.5%であり頭側へ行くほど細くなる。中斜角筋の後結節付着部最高位は全例C2であり，全例C4前結節にも付着していた。頭長筋の前結節最低位はC6は92.9%，C5は7.1%であった。頸長筋は全例C1からT3の椎体に付着していた。

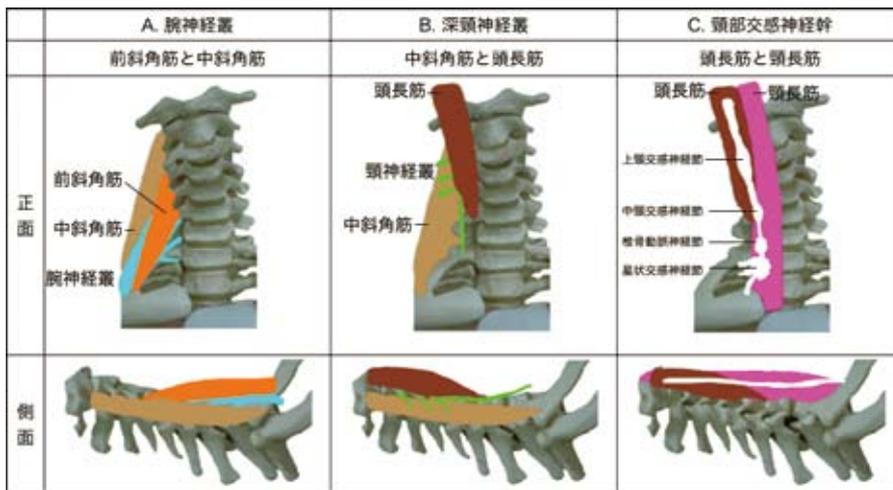


図5 筋と神経系の関係

腕神経叢は前斜角筋と中斜角筋間 (A)，頸神経叢は頭長筋と中斜角筋間 (B)，頸部交感神経幹はC6より頭側は頭長筋の腹側，C6より尾側は頸長筋の腹側にある (C)。

臨床研究・方法

上の結果からC4レベルで頭長筋が上頸交感神経節と深頸神経叢に挟まれている事に注目し，頭長筋内に局所麻酔薬を注入すれば深頸神経叢のみならず頭頸部への交感神経ブロックが可能になるのではないかと考えた。ボランティア3人に対し造影剤1mlと1% mepivacaine 5mlの混合液6mlを超音波ガイド下に頭長筋内注入し，3D-CTによる混合液の広がり局所麻酔薬の効果を調べた。

人体を3次元の空間と考え，Z軸は高さ，Y軸は深さ，

そしてX軸はZ軸とY軸に直交する軸とする時，XZ面は超音波プローブが接地する面となり，XY面は超音波画像となる (図6)。C4レベルで頭長筋内にブロック針を穿刺する時，まずXZ面上でプローブを動かしZ軸上のC4レベルの高さを決め，次にXY面上の超音波画像で目標点となる頭長筋を同定する。プローブ端の刺入点から目標点に向けてブロック針を平行に進める。高さを決める基準はC6前・後結節に挟まれたC6神経根と，C6前結節に付着する頭長筋になる (図7)。頭長筋に注目しながらプローブをZ軸上に頭側へ移動させていくと徐々に太くなっていく。C5前・後結節に挟まれた神

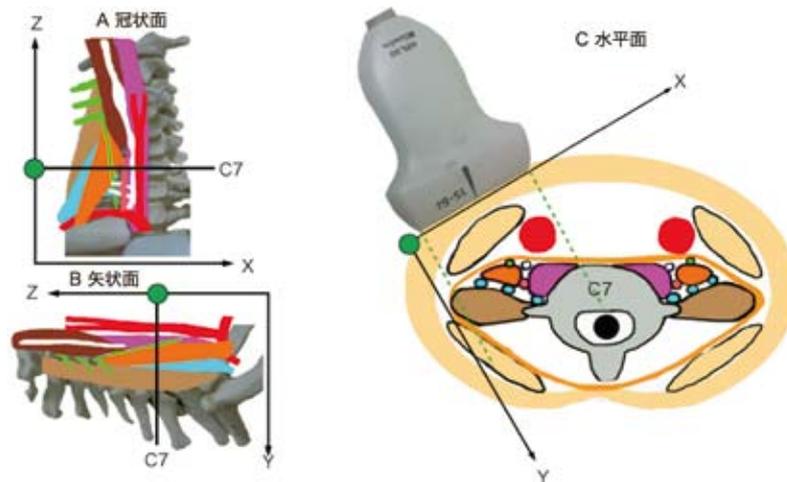


図6 超音波解剖学

Z軸は高さ、Y軸は深さ、X軸はZ軸とY軸に直交する軸とする時、XZ面は超音波プローブが接地する面となり、XY面は超音波画像となる。

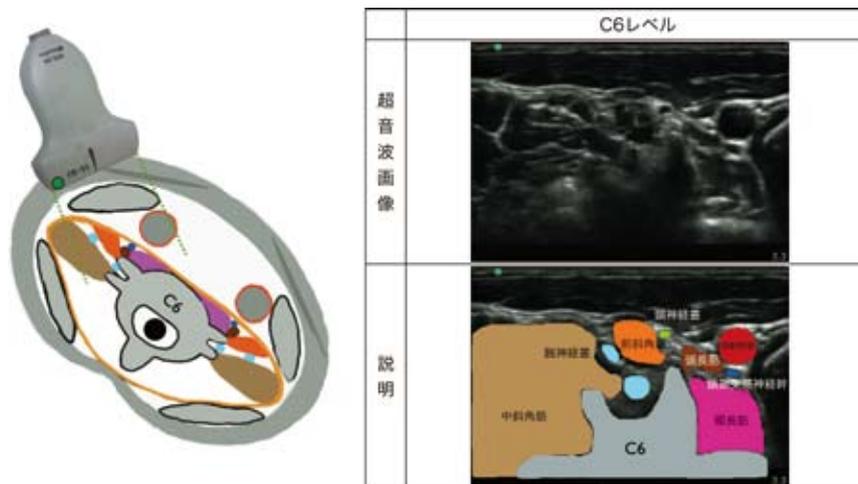


図7 C6レベルの超音波画像

前結節と後結節からなる結節間溝が「カニの爪」として確認できC6神経根をつまんでいる。C6前結節に付着する頭長筋が高さを決める基準となる。

神経根を確認しながらさらに頭側へ移動すると頭長筋は太くなっていく。C4前・後結節に挟まれた神経根を確認しC4レベルの高さを決定する。C4前結節の腹側にある頭長筋は太く、ここが注入部位となる(図8)。

臨床研究・結果

造影剤の広がりには頭長筋内に一致していた。基礎研究と同様にC6前結節の頭長筋付着部は細いが頭側へいくほど太くなっていき、C5, 4, 3では前・後結節を覆うように造影剤は広がる(図9)。局所麻酔薬の頭長筋内注入による交感神経系への効果は注入側のみにホルネル徴候、鼻閉感、顔面の温感を確認したが上肢の温感と発汗停止はなく、頸部交感神経幹のうち頭頸部を支配する上

頸交感神経節のみがブロックされた。頸神経叢への効果は大耳介神経、小後頭神経、頸横神経、肩甲上神経領域の知覚低下があり、浅頸神経叢ブロックが確認された。また横隔膜の動きを吸期と呼期時に確認した所、運動麻痺が確認され深頸神経叢もブロックされた。一方、肩関節周辺の知覚低下はあったがそれより末梢の上肢の知覚低下は認められず、肩関節、肘関節、手関節、指関節の運動麻痺もなかったため腕神経叢はブロックされなかった。

欧米人の内外頸動脈分岐部は下顎に重ならず、術野が広くとれるために内頸動脈内膜剥離術の手術時間は短時間であり、術中脳塞栓などのモニタリングとして気管内挿管せずに頸神経叢ブロックだけで行うことが多いが、

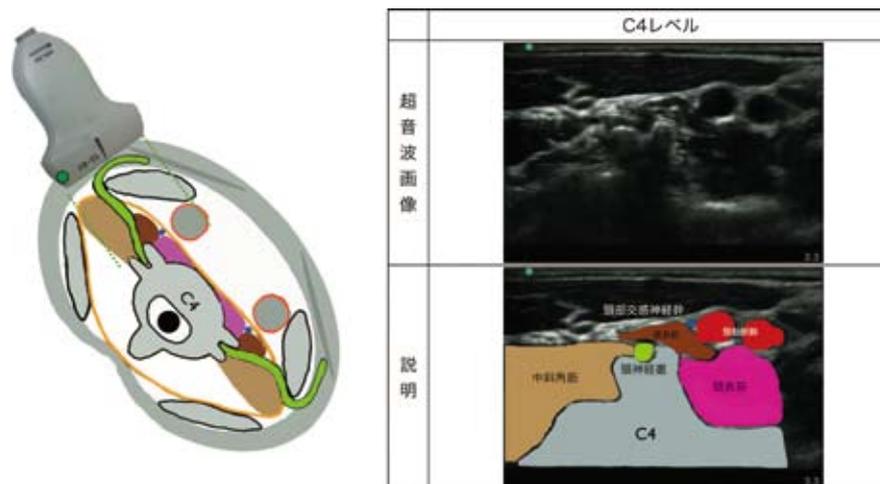


図8 C4レベルの超音波画像

C6レベルで確認した頭長筋は頭側へ移動していくと徐々に大きくなっていく。C6レベルと比較するとC4の「カニの爪」は浅く、C4神経根をつまんでいる。

頸動脈鞘内の操作が始まると痛みが生じるため術中に麻薬の追加投与が必要となる⁸⁾。一方、日本人は頸が短く内外頸動脈分岐部が高いため、術中に長時間下顎挙上を維持しなければならず、一般的に全身麻酔下で行われている。我々は内頸動脈内膜剥離術の全身麻酔導入前に超音波ガイド下に0.75% ropivacaine 5mlを頭長筋内に注入し、深頸神経叢と上頸交感神経節を同時にブロックした。Propofol, Sevoflurane, Suxamethoniumで導入後に気管内挿管しSevoflurane 2%だけ使用し自発呼吸で術中管理をしたところ、執刀開始時から頸動脈鞘内の操作時でも追加の鎮痛薬は一切必要なかった。

考 察

本研究によりWinneに代表される頸・腕神経叢が共に前・中斜角筋に挟まれているという通念は誤りであることが明らかになった⁵⁾。Roesselが行った上部斜角筋筋溝内注入では頸神経叢だけがブロックされ腕神経叢はブロックされなかった⁴⁾。ここで、Roesselの注入した部位は斜角筋筋溝ではなく、頭長筋と中斜角筋に挟まれた部位であったと考えられる。頸部交感神経幹はC6より尾側では頭長筋の腹側に、C6からC3までは頭長筋の腹側にあり椎前葉に包まれている。そしてC3より頭側では椎前葉を貫き頸動脈鞘の中に入り頭蓋骨の中へ入っていく⁹⁾。これらよりC4レベルでは頭長筋は頸部交感神経幹と深頸神経叢に挟まれている。内頸動脈内膜剥離術にも本ブロック法が有効であることが明らかになった。これは内頸動脈の痛みが上頸交感神経節に由来し体性神経系の頸神経叢ブロックだけでは完全な鎮痛は得られないためだと考えられる。

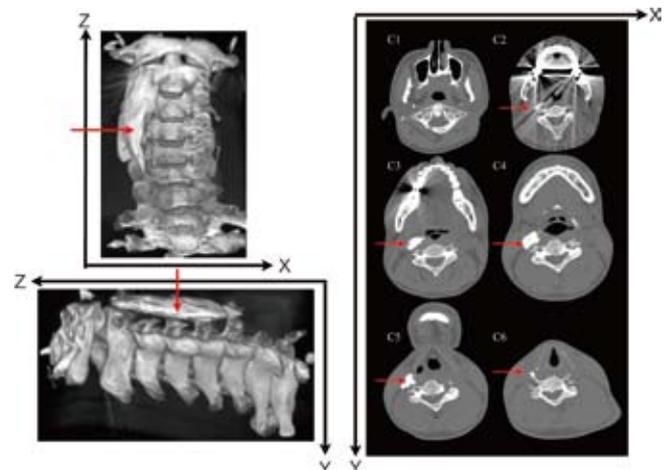


図9 頭長筋内注入 3D-CT

超音波ガイド下に造影剤1mlと局所麻酔薬5mlの混合液を頭長筋内注入後にCT撮影した。造影剤は最上部はC2前結節からC3・C4・C5では前・後結節を覆い、最下部のC6前結節まで広がる。

頸神経叢ブロックには知覚神経のみをブロックする浅頸神経叢ブロックと、運動神経もブロックする深頸神経叢ブロックがある。Panditは頸神経叢ブロックの注入部位を浅部（皮下組織と胸鎖乳突筋の間）、中間部（胸鎖乳突筋と椎前葉の間）、深部（椎前葉内）に分類⁸⁾し、局所麻酔薬を浅部へ注入すると浅頸神経叢ブロック、深部へ注入すると深頸神経叢ブロックとなり、中間部へ注入すると深頸神経叢ブロックになることを献体で確認した¹⁰⁾（図10）。中間部への注入は深部への注入と比較して合併症が少ないため、中間部への注入による深頸神経叢ブロックを勧めている⁸⁾。しかし従来の深部への注入

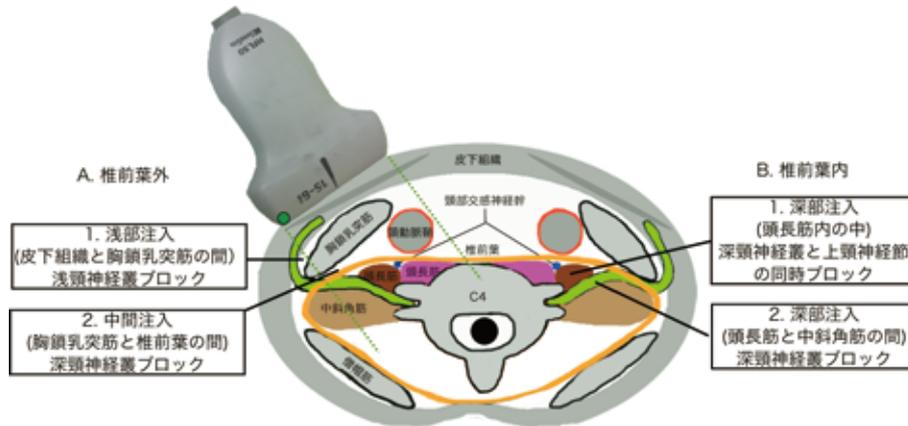


図 10 頸神経叢ブロックの分類

頸神経叢ブロックの注入部位を浅部（皮下組織と胸鎖乳突筋の間）、中間部（胸鎖乳突筋と椎前葉の間）、深部（椎前葉内）に分類し、局所麻酔薬を浅部へ注入すると浅頸神経叢ブロック、深部へ注入すると深頸神経叢ブロックとなり、中間部へ注入すると椎前葉内に浸潤し深頸神経叢ブロックになる。



図 11 分離麻酔；神経線維の太さと局所麻酔薬濃度

細い神経をブロックするためには局所麻酔薬は低濃度でいいが、太い神経をブロックするためには高濃度が必要になる。

部位は一定しておらず、さらに使用された局所麻酔薬の量は 15 ml~40 ml と大量である^{3,4,11,12}。一方、我々の方法は深部への注入となるが超音波ガイド下に頭長筋内へ 5 ml 注入するだけなので従来の方法より安全であると思われる。

Choquet は局所麻酔薬の筋肉内注入による石灰沈着性筋壊死の可能性から我々の頭長筋内注入法について批判的な報告をしている¹³。Zink はブタの筋肉内に長時間作用型局所麻酔薬 20 ml (0.5% bupivacaine または 0.75% ropivacaine) を 1 回注入し、8 ml/h (0.25% bupivacaine または 0.375% ropivacaine) を 6 時間持続注入した後に筋組織を調べた結果、どちらも石灰沈着性筋壊死が起きたと報告している¹⁴。この研究で使用された局所

麻酔薬は長時間作用型であり、その量は 68 ml である (bupivacaine 220 mg, ropivacaine 330 mg)。一方我々は短時間作用型の 1% mepivacaine 5 ml (50 mg) または長時間作用型の 0.75% ropivacaine 5 ml (37.5 mg) の 1 回注入だけである。筋肉内注入による石灰沈着性筋壊死は局所麻酔薬の作用による細胞内 Ca 流入による Ca 濃度の上昇が最も重要な要素^{15,16}なので、筋壊死は筋細胞内に注入される局所麻酔薬の作用時間、使用量、そして投与方法に依存すると考えられる。日本では 1% mepivacaine 5 ml の頸長筋内注入による星状神経節ブロック¹⁷ が日常的に行われているが筋壊死の報告は 1 つもない。これらより、我々は超音波診断装置を用いて頭長筋内に確実に少量の短時間作用型局所麻酔薬を注入す

る本法は臨床的には問題ないという反論の報告を行った¹⁸⁾.

体性神経系と交感神経系の神経線維を同時にブロックする方法として硬膜外ブロックがある。神経線維には運動神経の A_α (直径 12~20 μm)、触圧覚の A_β (12~20 μm)・筋紡錘の A_γ (5~12 μm)・温痛覚の A_δ (2~5 μm)・自律神経節前線維の B (1~3 μm)・そして自律神経節後線維と温痛覚の C (0.5~1 μm) 線維がある。細い神経をブロックするためには局所麻酔薬は低濃度でいいが、太い神経をブロックするためには高濃度が必要になる。1% mepivacaine は運動神経の A_α 線維をブロックし¹⁹⁾、頸部硬膜外腔への注入によって両側横隔神経麻痺が起こる可能性があるため、実際の外来では交感神経系の線維だけブロックする目的で 0.5% mepivacaine 5 ml を注入している (図 11)。また脊髄は L2 レベル以下で馬尾神経となるため、それより上位では脊柱管に対する脊髄の占める割合が大きく硬膜外腔に生じる血腫や膿瘍によって腰部の馬尾神経に比べ頸・胸髄は圧迫されやすい。一方、1% mepivacaine 5 ml の頭長筋内注入は片側の横隔神経麻痺にはなるが体性神経系と交感神経系を同時にブロックできる。

以上より内頸動脈内膜剥離術の麻酔、帯状疱疹、帯状疱疹後神経痛、頸椎症、そして頸椎椎間板ヘルニアなどによる頸神経叢領域の痛みに対し、超音波ガイド下頭長筋内注入は非常に有用と考えられる。

文 献

- Chan V WS: Applying ultrasound imaging to interscalene brachial plexus block. *Reg Anesth Pain Med* **28**: 340-343, 2003.
- Winnie AP: Interscalene brachial plexus block. *Anesth Analg* **49**: 455-466, 1970.
- Winnie AP, Ramamurthy S, et al: Interscalene cervical plexus block: A single-injection technique. *Anesth Analg* **54**: 370-375, 1975.
- Roessel T, Wiessner D, Heller AR, et al: High-resolution ultrasound-guided high interscalene plexus block for carotid endarterectomy. *Reg Anesth Pain Med* **32**: 247-253, 2007.
- Usui Y, Kitajima T, Matsuno K, et al: An anatomical basis for blocking of the deep cervical plexus and cervical sympathetic tract using an ultrasound-guided technique. *Anesth Analg* **110**: 964-968, 2010.
- 白井要介, 柿沼宏幸, 渡辺啓介, 小林俊哉: 深頸神経叢ブロック 頭長筋内注入法. *ペインクリニック* **29**: 1475-1482, 2008.
- 白井要介, 白川香, 水谷彰仁: 浅頸神経叢ブロック 深頸神経叢ブロック. *麻酔科学レクチャー末梢神経ブロック Q&A*, 柴田康之 (編), 総合医学社, 2010.
- Pandit JJ, Satya-Krishna R, Gratton P: Superficial or deep cervical plexus block for carotid endarterectomy: a systematic review of complications. *Br J Anaesth* **99**: 159-169, 2007.
- 北山稔恭, 斉藤敏之, 大井良之: 星状神経節の位置と膜構造についての解剖学的研究. *日歯麻誌* **38**: 169-175, 2010.
- Pandit JJ, Dutta D, et al: Spread of injectate with superficial cervical plexus in human: anatomical study. *Br J Anaesth* **91**: 733-735, 2003.
- Sandeman DJ, Griffiths MJ, et al: Ultrasound guided deep cervical plexus block. *Anaesth Intensive Care*. **34**: 240-244, 2006.
- Stoneham MD, Doyle AR, et al: Prospective, Randomized Comparison of Deep or Superficial Cervical Plexus Block for Carotid Endarterectomy Surgery. *Anesthesiology* **89**: 907-912, 1998.
- Choquet O, Dadure C, Capdevila X: Ultrasound guided deep or intermediate cervical plexus block: the target should be the posterior cervical space. *Anesth Analg* **111**: 1563-1564, 2010.
- Zink W, Seif C, Bohl JRE, et al: The acute myotoxic effects of bupivacaine and ropivacaine after continuous peripheral nerve blockades. *Anesth Analg* **97**: 1173-1179, 2003.
- Zink W, Graf BM: Local anesthetic myotoxicity. *Reg Anesth Pain Med* **29**: 333-340, 2004.
- Zink W, Bohl JR, Hacke H, et al: The Long Term Myotoxic Effects of Bupivacaine and Ropivacaine After Continuous Peripheral Nerve Blocks. *Anesth Analg* **10**: 548-554, 2005.
- Shibata Y, Fujiwara Y, Komatsu T: A new approach of ultrasound-guided stellate ganglion block. *Anesth Analg* **105**: 550-551, 2007.
- Usui Y, Kakinuma H, Matsuno K: In Response. *Anesth Analg* **111**: 1564-1565, 2010.
- Taboada M, Rodriguez J, Bermudez M: Low Volume and High Concentration of Local Anesthetic Is More Efficacious than High Volume and Low Concentration in Labat's Sciatic Nerve Block: A Prospective, Randomized Comparison. *Anesth Analg* **107**: 2085-2088, 2008.