

超音波による頸動脈病変の標準的評価法(追補版)検討小委員会

委員長 松尾 汎(松尾クリニック)
副委員長 濱口 浩敏(北播磨総合医療センター)
委員(50音順)
鮎川 宏之(滋賀県立総合病院)
石津 智子(筑波大学)
久米 伸治(広島大学)
斎藤 こずえ(奈良県立医科大学)
竹川 英宏(獨協医科大学)
新田 尚隆(産業技術総合研究所)
萩原 悠太(聖マリアンナ医科大学)

はじめに:

本稿は、2018年1月に公示された「超音波による頸動脈病変の標準的評価法2017」の追補版という形になる。前回の改訂版作成時には検査手技、診断解釈について十分議論されての公示であったが、改訂内容の多さや解釈の違いなどによりいまだに広く周知できていない内容・項目が存在する。また、実臨床の現場ではIMT-C10の評価法など新たに作成した項目について戸惑うことや、どこまで詳細に検査しないといけないのか分からないといった声も挙がっている。一方、超音波検査技術、診断技術の進歩は目覚ましく、新生血管の評価や内頸動脈狭窄の評価法、経口腔超音波検査など新たな知見も出現してきた。

これらの現状を鑑み、今後改訂版を作成するまでの補完を行うため、本追補版が役立てば幸いである。

追補版の内容:

1. IMT-C10の計測方法
2. 可動性プラークの描出方法と評価における課題
3. プラーク内新生血管の解釈
4. 内頸動脈狭窄における評価法(AcT ratio)
5. 経口腔超音波検査法

1. IMT-C10の計測方法

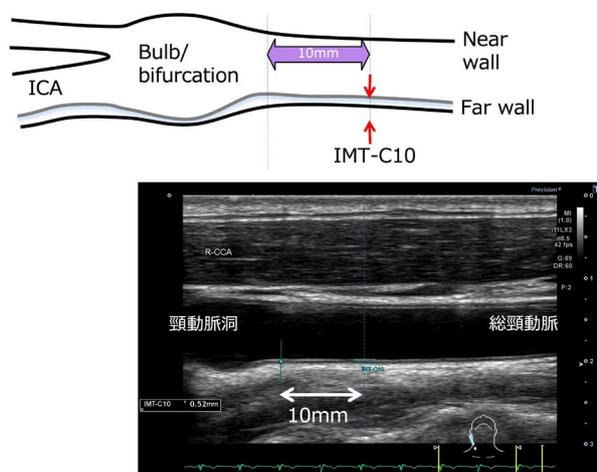
要旨:

- ・IMT-C10は、頸動脈洞より1cm近位側、遠位壁の長軸画像で計測する。
- ・計測に際しては、長軸像でIMTが明瞭に描出できる角度で行う。
- ・IMT-C10の計測位置にプラークが存在する場合は、プラークを含んで計測し、参考値とする。
- ・遠位壁において頸動脈洞との境界が不明瞭な場合、近位壁での境界から垂線を引いて計測する。

標準的評価法 2017 で新たに登場した IMT-C10 は、もともと計測されていた max IMT および mean IMT の計測における問題点を解決する評価法として提唱された。max IMT はプラークを含むため、時期により部位が変化する可能性、mean IMT は max IMT を中心として計測する場合には同じく位置が変わる可能性、また、複数点の評価を行う場合、測定誤差がおこる可能性などが懸念されたため、頸動脈洞より 1cm 近位側、遠位壁での定点計測を行うという手法が考案された(図 1)。一方で、公示後に IMT-C10 の計測には頸部の傾きをどのように調整するか、プラークを含んだ場合どのように計測するか、遠位壁の描出が不十分な場合などの課題を認めた。今回の追補版では、これら課題に対する方向性を示す。

図 1:IMT-C10

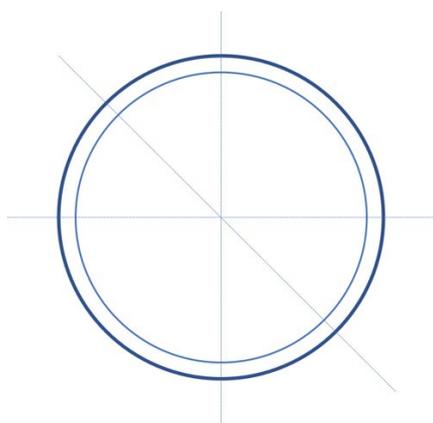
IMT-C10 計測部位 (頸動脈洞より10mm近位側のfar wallで計測)



1) 頸部の傾きについての考え方:

IMT-C10 の前身となる検討では、頸部を 45° 傾けて計測すると記載しているが、実際の臨床現場では厳密な角度調整を行うことは煩雑さを増やすことになる。そもそも、IMT-C10 は動脈硬化伸展の評価として IMT を計測するものであり、全周で IMT が同一であるという前提で計測するとい(図 2)。そのためには、短軸像で局所性の肥厚がないことを確認し、長軸像で遠位壁が明瞭に描出できる角度で計測する。

図 2:IMT-C10 の計測位置



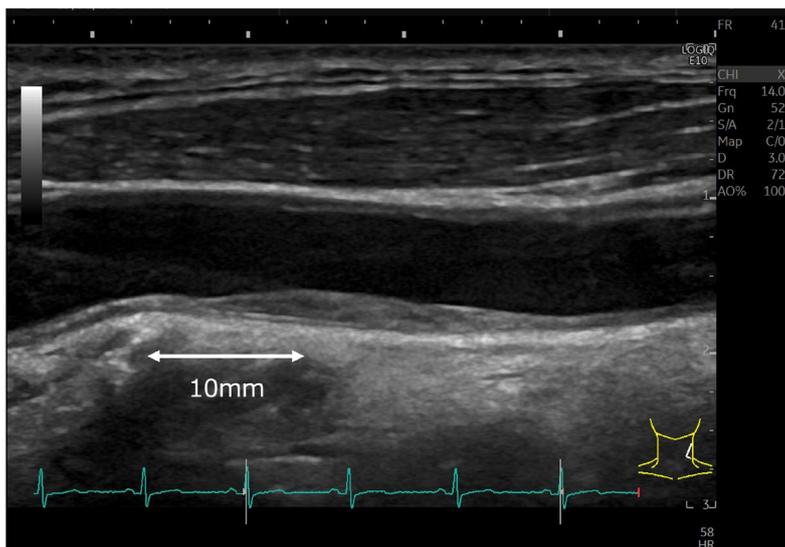
頸部の位置を変えても IMT 値に変化がないという前提で明瞭に描出できる位置を計測する

2) プラークを含んだ場合の考え方:

IMT-C10 の前身となる検討では、プラークを含んだ計測と記載している。この際、プラークの最大肥厚部が IMT-C10 の計測位置に合致するとは限らず、また、プラークが伸展した場合に、患者本来の動脈硬化伸展との対比も困難である。そのため、プラークが存在する場合は、計測自体は通常の IMT-C10 同様 10mm 近位側で計測を行い(図 3)、評価としては

「参考所見」であることを明記する。その他、石灰化プラークが存在する場合は計測自体正確性を欠くため、「計測不能」とする。

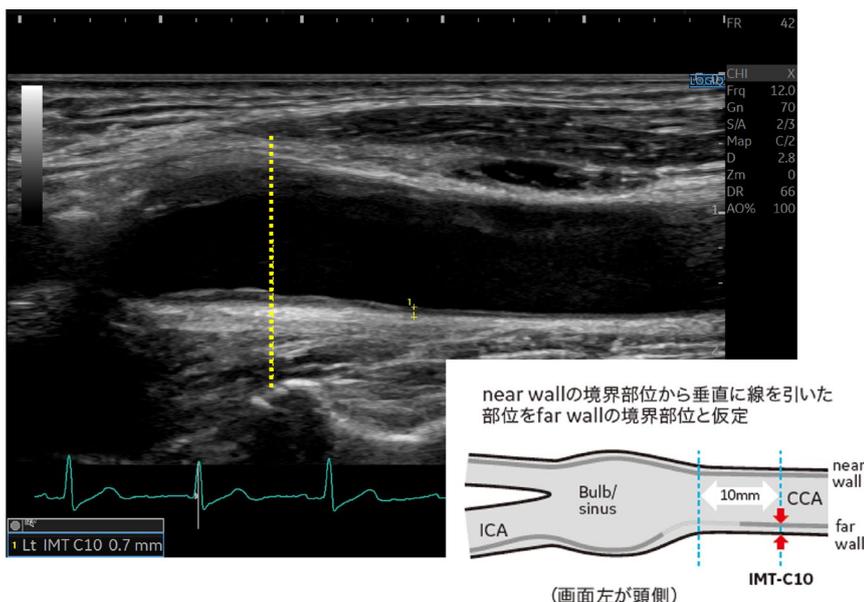
図 3: プラークを含んだ IMT-C10



3) 遠位壁において頸動脈洞との境界が不明瞭な場合の考え方:

総頸動脈から頸動脈洞に移行する部分では、近位壁での拡張を認めていても遠位壁では明確な境界が分からない場合が存在する。その場合は、近位壁でみられた境界部位を基準とし、そこから垂線を遠位壁側に引き、同部位を基準とすると IMT-C10 を計測できる (図 4)。

図 4: 遠位壁の境界が不明瞭な場合の IMT-C10 計測



現在、IMT-C10 についての論文は少なく、診断精度や正常値については今後の構築が必要である。IMT-C10 の計測は決して難しいわけではないため、スクリーニング手順にも組み込んでるように、max IMT、mean IMT と IMT-C10 の使い分けを試みてもらいたい。

付記: 総頸動脈 mean IMT の減少はイベント減少と関連する

従来、mean IMT は様々な study で用いられているが、その計測においては trace 法を用いるか、複数点の計測を平均するかで精度が異なっていた。日本超音波医学会で行ったファントム実験では、現行の機種ごとにばらつきが生じるが、装置搭載の計測ソフトを用いると、ばらつきが少ない結果であった(文献 1)。また、介入試験における mean IMT の経時的変化と予後に関するメタ解析では、mean IMT の減少は CVD 発症の予後改善に関連するという結果であった(文献 2)。これらのことから、trace 法を用いた mean IMT 計測は、イベントとの関連を考える指標となりうる。

2. 可動性プラークの描出方法と評価における課題

要旨:

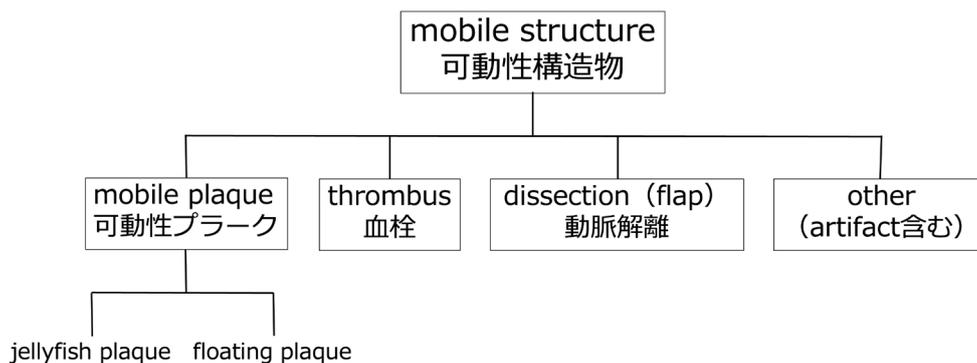
- ・可動性プラークを描出するには、ズームをかけて観察する。
- ・プローブを固定し、3-5 秒程度の動画を保存する。
- ・側壁に存在する場合は側方アプローチで明瞭に描出できる位置で観察する。
- ・可動性プラークは様々な動きを呈するため、詳細な分類を行うことは困難である。Jellyfish plaque と floating plaque に大別する。

標準的評価法 2017 において、可動性プラークについては「プラーク全体や、プラーク内部を含めたその一部が動脈拍動とともに可動性を有する」と記載されている。可動性プラークは、プラーク破綻やプラーク内出血を反映しているとされており、注意すべきプラークのなかでも「パニック所見」として、より慎重に対応する必要がある(文献 3, 4)。さらに、短時間の経過観察中においても可動性部分が剥離し、形態変化を示すこともある。しかし一方で、可動性プラークをどこまで詳細に評価すべきかについては一定の見解をみていない。本稿では、可動性プラークの描出法と評価における課題について記載する。

1) 可動性構造物の分類

血管超音波検査でみられる可動性構造物には、可動性プラーク以外にも血栓や動脈解離、アーチファクトなど様々な動きが観察される(図 5)。いずれも重要な所見であるため、見つけた場合には可動性プラークとの鑑別を行う必要がある。プラークであるかどうかを判別するには、血管壁に付着しているかどうか、内部血流を認めるか、体位で変化するかなどに注目する。

図 5: 可動性構造物



2) 可動性プラークの描出法:

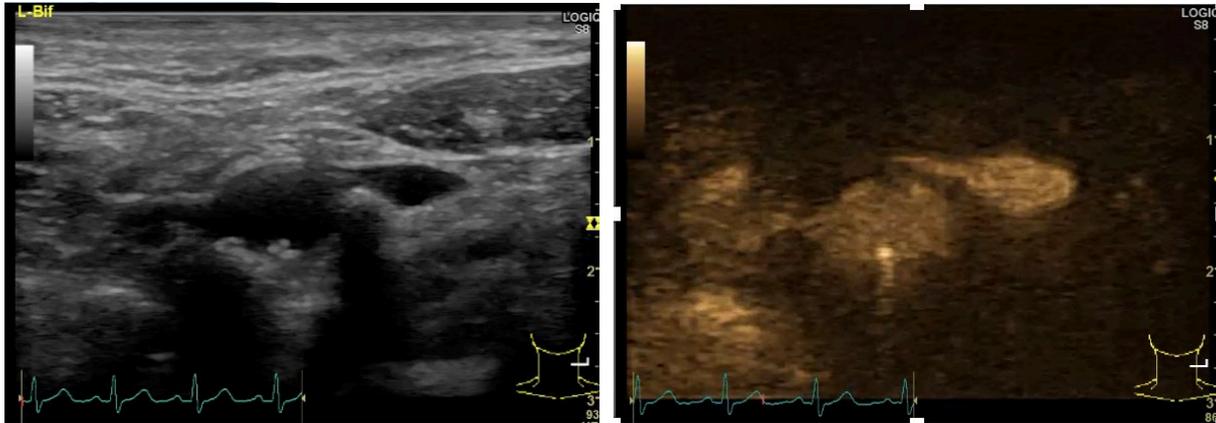
可動性プラークを描出する際には、まず存在を疑うことから始まる。脳梗塞のリスクが高い患者や、プラーク体積が大きな

患者において、表面形状が不整、線維性被膜が薄い、内部性状が不均質で低輝度な成分が存在する場合は、可動性プラークである可能性が高まる。可動性プラークを観察する際には、プラークの表面を明瞭に描出する像で評価する。側壁部分に存在する場合は、側方アプローチなど方向を変更する。

可動性プラークは周囲との動きが異なることに注目し、装置条件を工夫することで描出感度が向上する(図 6)(文献 5～7)。他にも、M-mode 法を用いることで、血管壁の動きとは異なる動きを捉えることができる。

図 6: B-flow を用いた可動性プラークの検出(ウインカーサイン)

左図 B-mode、右図 B-flow



プラークの可動性部分が高輝度に描出されている。

3) 可動性プラークの代表例

ここでは特に重要な Jellyfish plaque と floating plaque の動画を提示する(動画 1, 2, 3, 4)。Jellyfish plaque の場合はプラーク表面の動きに注目するとよい。Floating plaque はプラーク全体、あるいはプラークの表面に付着した部分の動きに注目する。上述のように、装置の条件を工夫することで描出感度が向上する。

4) 可動性プラーク分類についての課題

標準的評価法 2017 では、a) プラーク表面全体もしくは表面の一部が動脈拍動とともに変形するもの (Jellyfish plaque)、b) プラーク内に可動性の構造物を認めるもの (plaque with fluctuating contents)、および潰瘍底が一部液状化したような動きを認め動脈拍動とともに変形するもの (fluctuating ulcer plaque)、c) プラーク全体もしくはプラークの表面に付着した構造物が血流により可動 (振動) するもの (floating plaque) などに分類されて記載されている。一方、Jellyfish plaque だけでも様々な動きを呈しており、文献 8 のように、b) に相当するプラークも包括している。可動性プラークの存在は、要注意プラークとして普段から注目して評価する必要がある反面、可動形態によりリスクが変化するか、また、血行再建術の適応が変わるかについてもエビデンスがない。さらに、超音波でみられる可動性プラークと、病理学的な対比を示した論文もほとんどなく、MRI におけるプラーク性状診断との対比など他のモダリティとの比較から推測している部分もある。超音波装置の性能、検者の技量によっても描出感度が変化し、表面が動いているのか、内部が動いているのかといった詳細な分類は実臨床の現場ではあまり意味をなさない。そのため、今後可動性プラークの評価については、jellyfish plaque と floating plaque に大別することを提案する。

3. プラーク内新生血管の解釈

要旨:

- ・頸動脈プラーク内に新生する血管は脆弱で破綻しやすく、粥腫内出血のリスクとなり虚血イベントと関連し、新生血管増生はプラーク不安定性の指標となる。
- ・プラーク内新生血管は極めて細く、パルスドプラで血流速度が計測できないほど非常に遅い。造影超音波を用いてマイクロバブルの軌跡を追うことで、線状に描出することができる。造影効果は血管新生の程度と関連する。
- ・MVFIを用いて新生血管を描出できる場合があり、今後の性能向上が期待される。

1) プラーク内新生血管について

動脈を栄養する血管は vasa vasorum とよばれ通常外膜側から血管内部に流入する。

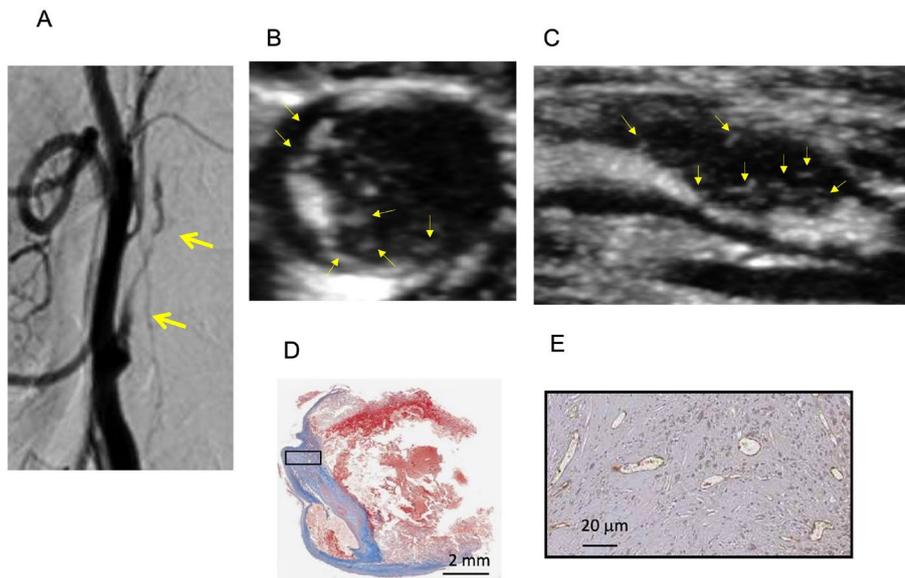
動脈硬化が進むと、内膜肥厚や組織内低酸素、炎症反応などにより内腔側・外膜側いずれからも内部に血管が誘導され、新生血管が増生する。新生血管は内皮細胞で囲まれた大小不同の微細な血管で、平滑筋細胞を欠き脆弱で破綻しやすい。このような特徴から新生血管が増生することは粥腫内出血のリスクとなり、さらにはプラーク破綻につながることが知られている(文献 9)。このため、プラーク内新生血管は虚血イベントと関連し、プラーク不安定性の指標となる(文献 10)。頸動脈プラークにおいても、新生血管増生がプラーク破綻や虚血イベントと関連することが知られている(文献 11)。

2) プラーク内新生血管の超音波診断

プラーク内部の血流は通常非常に遅い流れであり、血流速度がパルスドプラ法では通常は捉えられないほど微細な血管で遅い血流である。また血管径も極めて細く評価が難しい。超音波造影剤のペルフルブタン(ソナゾイド®)は生体内で安定し、低い音圧で共振させながら造影効果を得るため壊さずにマイクロバブルを追跡評価でき、血管内から滲出することがない優れた vascular tracer として遅い微細な血管を描出することができる。造影超音波で新生血管はプラーク内部に流入するマイクロバブルの軌跡を追うことで線状に描出され(図 7)、潰瘍や線維性被膜の破綻を示唆するような形状とは異なる。造影効果と新生血管増生の程度が病理学的にも関連することが示され、新生血管増生の程度を表す指標として用いられてきた(文献 12~14)。造影効果が症候性病変で高いことが多くの報告で示され(文献 15)、プラーク不安定性の評価法として有用であることがメタ解析からも示されている(文献 13, 14)。また、MR プラークイメージングと組み合わせることで、粥腫内出血に至る前段階で不安定プラークを診断できる可能性を示唆する報告もあり(文献 16)、より早期からのプラーク不安定化を評価できる可能性がある一方で、MR プラークイメージングで示された粥腫内出血がある程度以上高度になると造影効果が低下することも報告されており(文献 17)、評価する際にプラーク進展過程を考慮した解釈が必要な場合もある。臨床において、将来の脳虚血イベント発生の予測に有用かどうかについては、脳梗塞症例での前向き観察研究で造影効果が高いプラークではその後のイベント再発が多いという報告(文献 18)もある。無症候性プラークで有用かどうかなどを含めていずれも今後のさらなる研究が待たれる。

なお、造影超音波を用いプラーク内新生血管が評価されてきたが、ペルフルブタンは本邦では(頭頸部)血管領域に対して保険的適応がないため、現時点では日常臨床で使用することは困難である。

図7



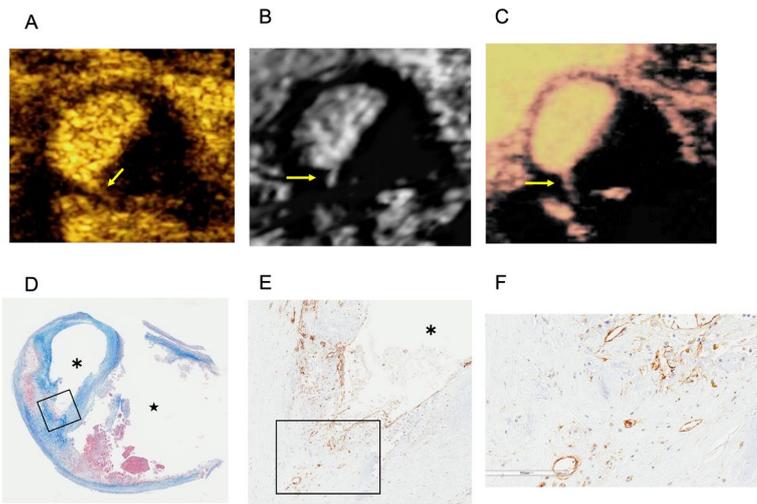
偽閉塞症例

血管造影で高度狭窄による造影遅延を認める(A:側面像矢印)。造影超音波では(B:短軸像、C:長軸像)血管造影で十分に描出されなかった血管内腔が明瞭に描出され、プラーク内に多数の新生血管を認める。(造影超音波シネ画像B:短軸像、C:長軸像、矢印:新生血管)内膜剥離術で得られたプラーク病理像では、plaque shoulderを中心に多数の新生血管を認めた(D: Masson-Trichrome染色、E: Factor VIIIによる免疫染色(D四角内))

付記: MVFIを用いた新生血管評価

近年非造影で低流速の血流を高分解能に描出可能な手法として、microvascular flow imaging (MVFI)での評価が注目されている(図 8)。これらの技術を用いプラーク内血流信号と造影超音波での造影効果とが相関すること(文献 19)、非造影で新生血管を描出でき病理像での新生血管の密度と相関することなどが報告され、プラーク内新生血管の新たな評価法として利用されてきている。さらに新生血管増生の程度評価は基本的には定性評価になるが、造影所見や病理所見と比較し十分な相関が得られたとするメタ解析もある(文献 21)。MR プラークイメージングとの比較からプラーク内血流信号が粥腫内出血と関連することも示されるなど(文献 22)、日常臨床でもプラーク内新生血管を評価できる可能性が示されてきている。しかし、現時点ではいずれの手法も造影超音波と比較するとアーチファクトや感度など課題や限界もある。造影と非造影で同一症例を比較すると、造影剤で得られるほどの感度はまだなく、拍動による組織信号や高輝度病変がアーチファクトとして血流信号のように描出されることもある。また、非造影で新生血管のように線状に血流信号が見えていても、造影すると微小な潰瘍であることもしばしば経験される(図 9)。造影超音波でなければ観察や評価ができない部分もまだまだ多いが、保険適応の問題や利便性から必要性は高く、MVFI のさらなる性能向上が期待される。

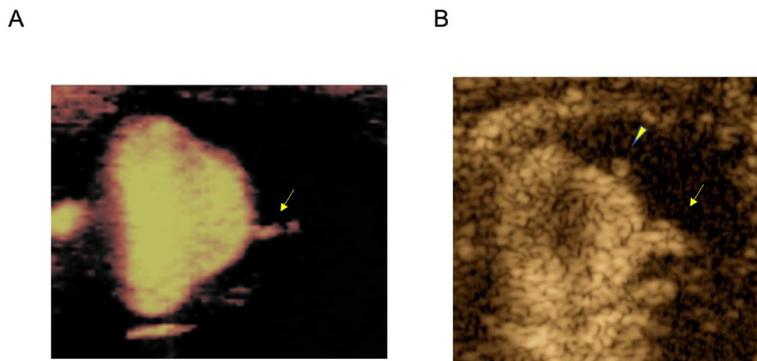
図 8



症候性狭窄病変の超音波画像(プラーク短軸像)いずれも同一症例

A:造影超音波像、B: Superb Micro-vascular Imaging、C; Micro Vascular Imaging、(A-C 矢印は新生血管を示す)D;内
膜剥離術で得られたプラーク病理像(Masson-Trichrome 染色、*は血管内腔を、標本摘出時に中膜が断裂されているが
星印は粥腫を示す)、E:CD31 による免疫染色(D 四角内)、F: 内皮細胞を伴う新生血管を多数認める(E 四角内)

図 9



非造影では新生血管を疑う血流信号(A 矢印)と考えたが、造影超音波では血管内腔から入り江のように回り込みながら
プラーク内部に向かうマイクロバブルの溜りが観察され潰瘍と診断し(B 矢印)、さらに非造影では指摘できない潰瘍も描
出された(B 矢頭)。

4. 内頸動脈狭窄における評価法(AcT ratio)

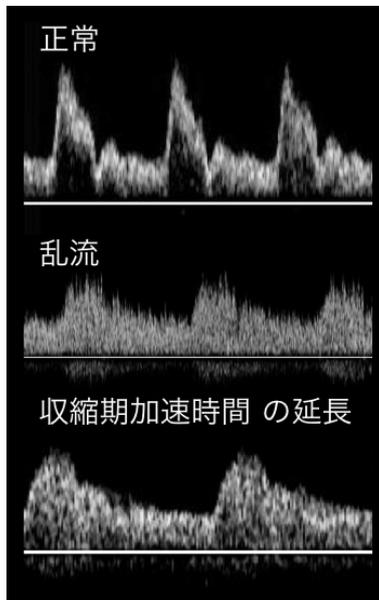
要旨:

- AcT の計測は、総頸動脈は頸動脈洞から約 2cm 体幹側、内頸動脈は起始部から約 3cm で行う。
- 1 峰性波形は最小流速から最大流速までの時間、2 峰性波形では 1 峰性目までの時間、1 峰性 2 峰性に関わらず 1 峰性目に明らかな屈曲点がある場合はその屈曲点までの時間を AcT とする。
- AcT ratio は内頸動脈(ICA)の AcT を同側総頸動脈(CCA)の AcT で除した値、すなわち ICA の AcT / 同側 CCA の AcT で得られる値とする。
- AcT ratio が 1.16~1.31 以上の場合は NASCET 狭窄率 50%以上、1.22~1.35 以上の場合は 70%以上狭窄病変について精査することが望ましい。
- 頸動脈ステント留置術後の 70%以上の再狭窄では AcT ratio は 2.1~2.35 以上となる。

1) 内頸動脈起始部狭窄の末梢(頭側)側におけるパルスドプラ波形変化

内頸動脈 (internal carotid artery: ICA) 起始部に狭窄があると、狭窄の程度によっては末梢側のパルスドプラ波形が乱流を呈したり、収縮期加速時間 (acceleration time) が延長する(文献 23~27) (図 10)。狭窄率診断は最狭窄部の収縮期最大血流速度 (peak systolic velocity: PSV) が最も重要な指標であるが、全周性の石灰化病変では音響陰影のために最狭窄部の PSV が計測できなくなる。このような例では収縮期加速時間や AcT ratio を用いた狭窄率診断が有用となる。

図 10



2) 収縮期加速時間の計測方法

収縮期加速時間の計測は以下の2つの方法がある。すなわち、1) 最小流速から最大流速までの時間(日本超音波医学会の医用超音波用語集における加速時間、略語は AT) (図 11 点線矢印)と、2) 2 峰性の波形では1 峰性までの時間、さらに 1 峰性、2 峰性であっても最初の峰に明らかな屈曲点がある場合はその屈曲点までの時間(AcT) (図 11 実線矢印)の2方法である。

ICAのAT(文献 23, 24)、AcT(文献 25~27)ともICA 起始部狭窄診断に有用であるが、脳血管撮影 (digital subtraction angiography: DSA)によるICA 起始部のNACSET 狭窄率の推察にはAcTの方が優れている(文献 27)。

このため、収縮期加速時間の計測は1 峰性波形では最小流速から最大流速までの時間、2 峰性波形では1 峰性までの時間、明らかな屈曲点がある場合はその屈曲点までの時間、すなわち AcT で計測するのが合理的である。

なお、収縮期前拡張の影響で、拡張末期血流速度 (end-diastolic velocity: EDV) から緩やかに立ち上がりが出現し、その後急峻に立ち上がるパルスドプラ波形が見られることがある。AT は最小流速のため EDV から計測を開始(図 12 点線矢印)するが、AcT では収縮期前拡張後の急峻な立ち上がりから計測(図 12 実線矢印)するため注意が必要である。また CCA はリニア型探触子を用いて頸動脈洞 (carotid bulb: CB) から約 2cm 体幹側、ICA はコンベックス型探触子などで狭窄部からできるだけ末梢側(なるべく 3cm 前後)で計測する。

図 11

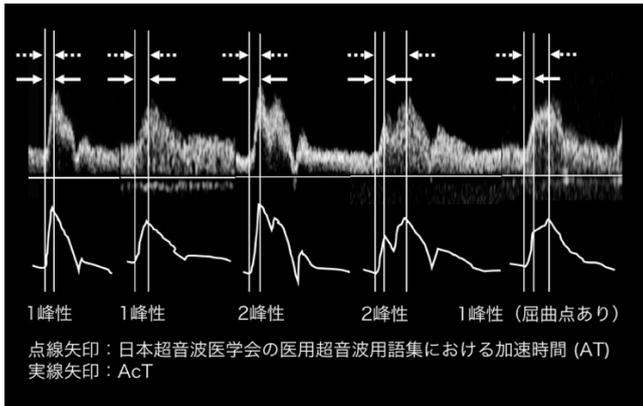
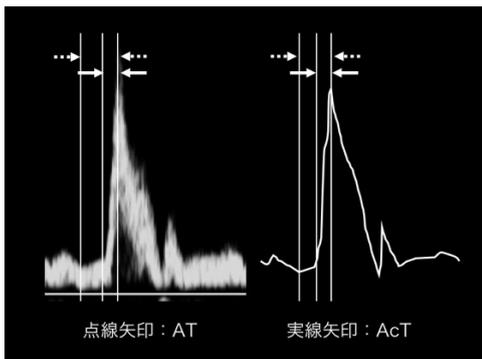


図 12



3) 収縮期加速時間に影響を及ぼす要因

AcT および AT は狭窄部位の末梢側で延長するが、大動脈弁狭窄症 (aortic stenosis: AS) でも延長する。重度 AS では AT は両側 CCA、ICA、ECA で延長し、右 CCA は $150 \pm 30 \sim 190 \pm 20$ ms、左 CCA は $150 \pm 70 \sim 160 \pm 20$ ms、右 ICA は $160 \pm 30 \sim 190 \pm 10$ ms、左 ICA は $180 \pm 20 \sim 200 \pm 10$ ms であった。これに対して正常対象は右 CCA が 30 ± 20 ms、左 CCA、両側 ICA は 20 ± 10 ms であった。なお椎骨動脈については検討がなされていない(文献 28)。

また、CCA の AcT が 110 ms 以上、ICA の AcT が 120 ms 以上は中等度以上の AS である確率が感度 97% 以上、特異度 99% 以上となる(文献 29)。

4) AcT ratio

ICA の AcT を同側 CCA の AcT で除した値、すなわち ICA の AcT / 同側 CCA の AcT で得られる値を AcT ratio と定義する(文献 25~27, 29, 30)。AcT ratio は ICA 起始部狭窄の存在で高値を示すが、AT や AcT と異なり AS の影響は受けない。

頸動脈超音波検査で計測可能な径狭窄率 (ECST 法) が 65% 以上の場合、AcT ratio のカットオフは 1.5 (感度 90.0%、特異度 93.5%) となる(文献 30)。また、DSA による NASCET 狭窄率では、1.31 をカットオフとした場合、感度 94.5%、特異度 91.0% で 50% 以上、1.35 をカットオフとした場合、感度 97.1%、特異度 93.2% で 70% 以上狭窄の診断率となる(文献 26)。

一方、多施設共同研究の結果では、NASCET 狭窄率 50% 以上の診断率は AcT ratio 1.16 以上の場合、感度 71.4%、特異度 70.3%、陽性的中率 (PPV) 34.9%、陰性的中率 (NPV) 91.7%、正診率 70.5%、1.17 以上では感度 70.2%、特異度 71.6%、正診率 71.4% であった。また 70% 以上の診断率は 1.22 以上で、感度 70.5%、特異度 72.1%、正診率 72.5%、1.23 以上で感度 65.9%、特異度 73.1%、正診率 72.5% と報告されている(文献 31)。

これらの報告から、AcT ratio が 1.16～1.31 以上の場合は 50%以上の狭窄、1.22～1.35 以上の場合は 70%以上の狭窄を疑って精査することが望ましく、その逆にカットオフ未満、特に 1.16 未満の時は狭窄病変が存在する可能性は非常に低いと考えられる。狭窄を疑った場合は他のモダリティと合わせて評価することが望ましい。

なお、頸動脈ステント留置術の再狭窄診断への有用性も示唆されているが、70%以上の再狭窄を疑うカットオフは 2.1～2.35 と報告されており、ステントの有無でカットオフが異なる可能性があり注意が必要である(文献 25)。

5. 経口腔超音波検査

要旨:

- ・経口腔超音波検査には、①高位の頭蓋外内頸動脈を観察する経口腔頸動脈超音波検査(Transoral carotid ultragraphy; TOCU)、②舌・咽頭の不随意運動を定量的に評価する経口腔 M モード超音波検査(Trasoral M-mode ultrasonography; TOMU)、③耳鼻咽喉科領域疾患に用いる経口腔咽頭超音波検査(Trasoral pharyngeal ultrasonography; TOPU)がある。
- ・脳神経領域における経口腔超音波検査は高位の内頸動脈病変(狭窄や解離など)を観察することができる。

1) 経口腔超音波検査の装置設定:

経口腔超音波の装置設定は、頸動脈超音波の検査設定で行われることが多く、体腔用探触子(中心周波数 6-7.5MHz)を使用して検査を行う(文献 32)。高位の内頸動脈の評価に用いる TOCU は、被検者は仰臥位とし、咽頭麻酔は使用しない。探触子先端にゼリーを乗せ、専用コンドームでカバーする(図 13)。探触子はペンを持つように把持する。観察したい頸動脈側の扁桃へ向かい、対側口角から探触子を口腔内に挿入し、舌を横断するように探触子をを進める。探触子を挿入すると、内頸動脈短軸像がまず描出されることが多いが、血管の走行によっては、不完全な長軸像が現れることもある。内頸動脈が同定できない際は、探触子を上下・左右方向に振ることで、深度 1.0-3.0cm に存在する血管を検索する。血管が確認できたら探触子を反時計回り(もしくは時計回り)に回転させ、なるべく全長が観察できるように内頸動脈の長軸像を描出する(図 14)。

図 13: 探触子の準備



図 14 内頸動脈長軸像, 短軸像



2) 画像の条件設定

1. エコーゲイン

TOCU は低輝度病変の観察をすることが多いため、通常の頸動脈超音波検査と同様にややゲインを上げて観察するのが望ましい。

2. フォーカスポイント

TOCU における内頸動脈は、外頸動脈より深部(深度 1.0~3.0cm)で弧を描くように走行し、血管の蛇行が少なく、分枝がないことが特徴である。そのためフォーカスを 2.0cm 付近で設定するのが望ましい。外頸動脈との区別が難しい場合は、パルスドプラでの血流波形から判断することも可能である。

3. 表示深度

表示深度は、内頸動脈の走行により変更するが、通常は 3.5~4.0cm で観察するのが適切である。

4. ドプラ法の設定

TOCU では弧を描くように内頸動脈が描出されるため、計測部位でドプラ入射角補正を 60° 以内 とすることは比較的容易である。カラードプラ法の最大流速表示範囲は 30 cm/s 前後 の設定を推奨する。

5. 長軸像の画像設定

探触子の照射面を咽頭上方に向けて挿入することで、適切な画像が描出されることが多い。長軸像を得る際は、照射面が血管側(咽頭側壁)に向くように探触子を時計軸方向に回転させる走査を行う。本検査において長軸像の左右(頭側足側)に規定はなく、施設の頸動脈超音波検査の長軸方向に合わせるには、装置側のプリセット設定や画像反転機能を活用しつつ画像を得ることが望ましい。

3) TOCU の観察部位

TOCU では頭蓋外内頸動脈を、近位(proximal)、中位(middle)、遠位(distal)の3区画に分けて全長を検査する(図 15~17)。なお、頭蓋内の評価は困難である。

図 15 経口腔頸動脈超音波(TOCU)における観察部位

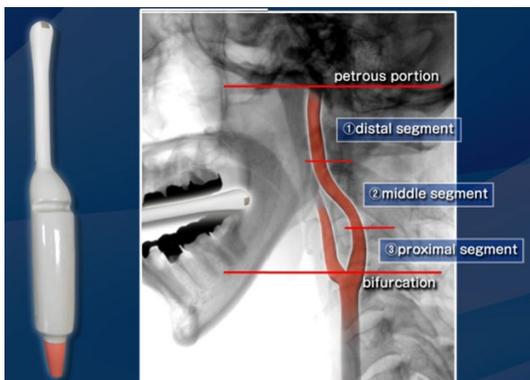
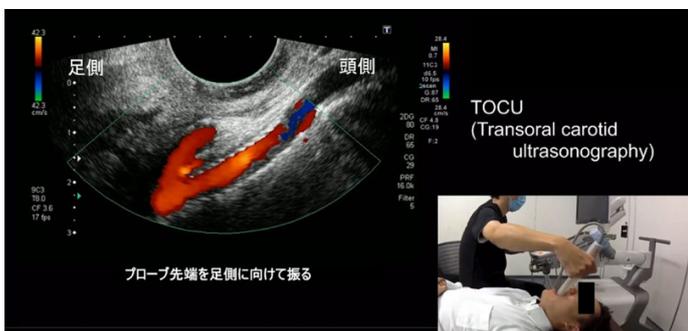
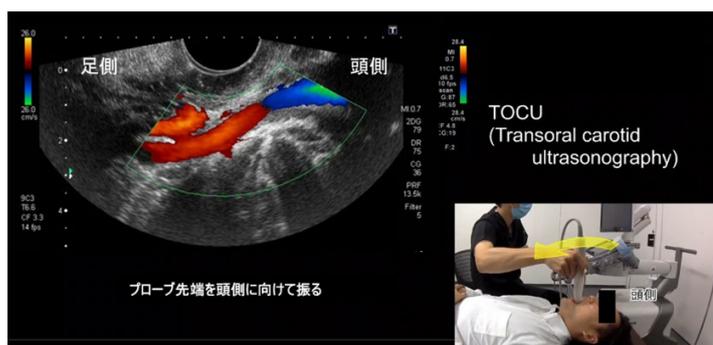


図 16 近位部(proximal)の観察



口腔内に挿入した探触子の先端を下方に振ると、頸動脈分岐が確認できる(本症例は頸動脈ステントが留置されている)。

図 17 中位 (middle)～遠位部(distal)の観察

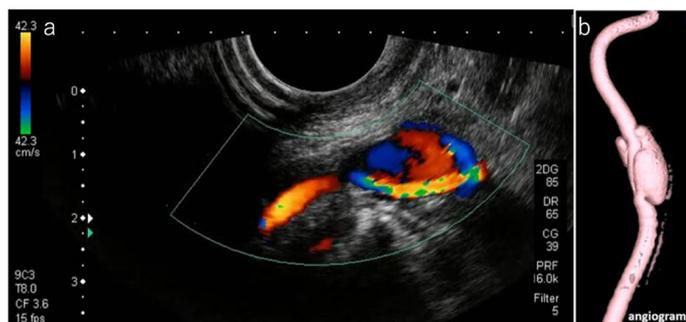


探触子先端を上方に振ると、遠位部が描出される。図 17 では中部～遠位部までが描出されている。3つの区画を合わせて評価することで、起始部から頭蓋内入口部までの頭蓋外内頸動脈全長の観察が可能である。

3) TOCU の適応疾患

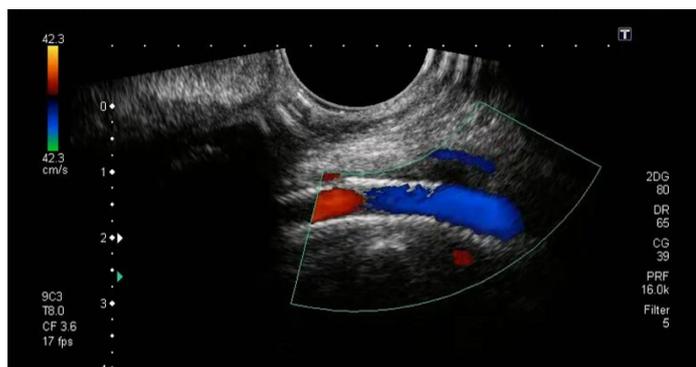
TOCU は高位の頭蓋外内頸動脈病変を検査対象としている。適応病変は、頸動脈高位分岐、頭蓋外内頸動脈解離(図 18a, b, c) (文献 33, 34)、頭蓋外内頸動脈瘤(文献 35)、頸動脈ステント遠位端病変(文献 36)、頸動脈ステント内血栓・ステント内膜肥厚(文献 37, 38)、頸動脈内膜剥離術後(頸部に創部のある症例)が挙げられる。TOCU は CT-angiography や頸動脈血管撮影に比べ、被曝と造影剤投与がなく低侵襲であるため、汎用性に優れており、繰り返しの経時的評価が可能である。開口障害、重度の嚥下障害を伴う症例、咽頭反射の強い症例は検査不能である。

図 18 解離性内頸動脈瘤 治療前 (a:TOCU color-Doppler b:3D-angiography)



図は中位の観察である。本症例では、解離性動脈瘤を伴う右内頸動脈解離をみとめる。偽腔は豊富な血流を伴い、真腔は偽腔からの圧排により狭窄している。

図 18c 解離性内頸動脈瘤 ステント留置後 (TOCU color-Doppler)



同症例は頸動脈ステント留置術を施行され、治療後評価の目的で TOCU が施行されている。偽腔内外側にわずかな血

流をみとめるものの偽腔はほぼ血栓閉塞し、真腔の狭窄は解除された様子がわかる。

おわりに:

今回の追補版では普段の検査で戸惑っていると思われる項目の補足説明と、新たな評価法について解説した。エビデンスに基づいた詳細な改訂は次回の改訂版で行うこととしたい。

参考文献:

- 1) Ishizu T, Hamaguchi H, Nitta N, et al. Intervendor variability of carotid intima-media thickness measurement: validation study using newly developed ultrasound phantom. *J Med Ultrason* (2001). 2020 Apr;47(2):155-165. doi: 10.1007/s10396-019-00995-7. Epub 2020 Feb 17.
- 2) Willeit P, Tschiderer L, Allara E, et al. Carotid Intima-Media Thickness Progression as Surrogate Marker for Cardiovascular Risk: Meta-Analysis of 119 Clinical Trials Involving 100 667 Patients. *Circulation*. 2020 Aug 18;142(7):621-642. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.046361. Epub 2020 Jun 17. PMID: 32546049
- 3) 超音波検査時の「直ちに報告すべき異常値/異常所見」検討小委員会. 超音波検査の「パニック所見:緊急に対応すべき異常所見」:総論. https://www.jsum.or.jp/committee/diagnostic/pdf/0066371_total.pdf(2023年11月17日公示)
- 4) 超音波検査時の「直ちに報告すべき異常値/異常所見」検討小委員会. 超音波検査の「パニック所見:緊急に対応すべき異常所見」:各論. https://www.jsum.or.jp/committee/diagnostic/pdf/0066371_unit.pdf(2023年11月17日公示)
- 5) 久米伸治, 日比野誠一郎, 小林益樹, 他. B-flow による頸動脈微小 floating plaque の検出. *Neurosonology*. 2005; 18(2-3): 74-78
- 6) 久米伸治, 坂本繁幸, 岡崎貴仁, 他. 頸部内頸動脈遠位部の可動性 flap をマイクロコンベックス型プローブと B-flow winker (Winker sign) で検出した 1 例. *超音波検査技術*. 2019; vol. 44 No. 3
- 7) 山口枝里子, 土井尻遼介. 可動性腕頭動脈プラークの診断に Superb-Micro-vascular Imaging が有用であった 1 例. *超音波医学*. 2024, in press.
- 8) 久米伸治, 豊田章宏, 栗栖薫, 他. Jellyfish plaque の可動形態と検出法. *Neurosonology*. 2010; 23(1): 1-4
- 9) Kolodgie FD, Gold HK, Burke AP, Fowler DR, Kruth HS, Weber DK, et al. Intraplaque Hemorrhage and Progression of Coronary Atheroma. *N. Engl. J. Med*. 2003;349:2316-2325.
- 10) Fleiner M, Kummer M, Mirlacher M, Sauter G, Cathomas G, Krapf R, et al. Arterial neovascularization and inflammation in vulnerable patients: Early and late signs of symptomatic atherosclerosis. *Circulation*. 2004;110:2843-2850.
- 11) Nighoghossian N, Derex L, Douek P. The vulnerable carotid artery plaque: current imaging methods and new perspectives. *Stroke* [Internet]. 2005;36:2764-2772. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16282537
- 12) Saito K, Nagatsuka K, Ishibashi-Ueda H, Watanabe A, Kannki H, Iihara K. Contrast-enhanced ultrasound for the evaluation of neovascularization in atherosclerotic carotid artery plaques. *Stroke*. 2014;45:3073-3075.
- 13) Huang R, Abdelmoneim SS, Ball CA, Nhola LF, Farrell AM, Feinstein S, et al. Detection of Carotid Atherosclerotic Plaque Neovascularization Using Contrast Enhanced Ultrasound: A Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic Accuracy Studies. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* [Internet]. 2016;29:491-502. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2016.02.012>
- 14) Schinkel AFL, Bosch JG, Staub D, Adam D, Feinstein SB. Contrast-Enhanced Ultrasound to Assess Carotid Intraplaque Neovascularization. *Ultrasound Med. Biol*. 2020;46:466-478.
- 15) Saito K, Nagatsuka K, Ishibashi-ueda H, Watanabe A, Kannki H, Iihara K. Contrast-Enhanced Ultrasound for the Evaluation of Neovascularization in Atherosclerotic Carotid Artery Plaques. *Stroke*. 2014;45:3073-3075.

- 16) Rie M, Kozue S, Shuichi T, Hatsue Ishibashi-Ueda, Hiroharu K, Koji I, et al. Contrast-Enhanced Ultrasound is Useful for Detection of Vulnerable Plaques. Nashville: International Stroke Conference; 2015.
- 17) Shimada Y, Oikawa K, Fujiwara S, Ogasawara Y, Sato Y, Narumi S, et al. Comparison of Three-Dimensional T1-Weighted Magnetic Resonance and Contrast-Enhanced Ultrasound Plaque Images for Severe Stenosis of the Cervical Carotid Artery. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* [Internet]. 2017 [cited 2017 Aug 1]; Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1052305717303233>
- 18) Camps-Renom P, Prats-Sánchez L, Casoni F. Plaque neovascularization detected with contrast-enhanced ultrasound predicts ischaemic stroke recurrence in patients with carotid atherosclerosis. *Eur. J. Neurol.* 2020;27:809-816.
- 19) Oura K, Kato T, Ohba H, Terayama Y. Evaluation of Intraplaque Neovascularization Using Superb Microvascular Imaging and Contrast-Enhanced Ultrasonography. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* [Internet]. 2018 [cited 2018 Jun 6]; Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29754774>
- 20) Zhang H, Du J, Wang H, Wang H, Jiang J, Zhao J, et al. Comparison of diagnostic values of ultrasound micro-flow imaging and contrast-enhanced ultrasound for neovascularization in carotid plaques. *Exp. Ther. Med.* 2017;14:680-688.
- 21) Yang F, Wang C. Consistency of superb microvascular imaging and contrast-enhanced ultrasonography in detection of intraplaque neovascularization: A meta-analysis. *PLoS One* [Internet]. 2020;15:e0230937. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0230937>
- 22) Hoshino M, Shimizu T, Ogura H, Hagiwara Y, Takao N, Soga K, et al. Intraplaque Microvascular Flow Signal in Superb Microvascular Imaging and Magnetic Resonance Imaging Carotid Plaque Imaging in Patients with Atheromatous Carotid Artery Stenosis. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* [Internet]. 2018 [cited 2019 Mar 20];27:3529-3534. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1052305718304592>
- 23) 竹川英宏, 浅川洋平, 李東旭, 山本真也, 岡部龍太, 田中秀明, 平田幸一. 頸動脈狭窄における収縮期加速時間の有用性. *Neurosonology.* 2009;22:79-82.
- 24) 田村 智, 赤岩靖久, 恩田 清. 内頸動脈起始部狭窄病変における収縮期加速時間の有用性. *脈管学.* 2011;51:365-371.
- 25) 神谷雄己, 森美砂子, 栗城綾子, 水間啓太, 市川博雄, 河村満. 頸部エコー検査の収縮期加速時間を用いた頸動脈ステント留置術後再狭窄の評価. *Neurosonology* 28(2):54 - 58, 2015
- 26) Nishihira T, Takekawa H, Suzuki K, Suzuki A, Tsukahara Y, Iizuka K, Igarashi H, Iwasaki A, Okamura M, Hirata K. Usefulness of acceleration time ratio in diagnosis of internal carotid artery origin stenosis. *J Med Ultrason* (2001). 2018 Jul;45(3):493-500.
- 27) Iizuka K, Takekawa H, Iwasaki A, Igarashi H, Suzuki K, Kobayashi S, Tsukui D, Hirata K. Suitable methods of measuring acceleration time in the diagnosis of internal carotid artery stenosis. *J Med Ultrason* (2001). 2020;47:327-333.
- 28) O'Boyle MK, Vibhakar NI, Chung J, Keen WD, Gosink BB. Duplex sonography of the carotid arteries in patients with isolated aortic stenosis: imaging findings and relation to severity of stenosis. *AJR* 1996;166:197-202.
- 29) 岡村稔, 竹川英宏, 鈴木圭輔, 豊田茂, 大谷直由, 井上晃男, 高田悦雄, 平田幸一. 頸動脈エコーにおける前方循環系の収縮期加速時間に影響を及ぼす因子. *Neurosonology.* 2013;25:81-85.
- 30) Takekawa H, Suzuki K, Takada E, Tanaka H, Okabe R, Yamamoto M, Ishii Y, Okamura M, Hirata K. Acceleration time ratio for the assessment of extracranial internal carotid artery stenosis. *J Med Ultrason* (2001). 2014;41(1):63-67.
- 31) Tsukui D, Takekawa H, Saito K, Okabe R, Tanaka A, Kobayasi S, Igarasi H, Suzuki K, Hamaguchi H. Usefulness of "AcT ratio" in diagnosis of internal carotid artery stenosis: a multicenter, retrospective, observational study. *J Med Ultrason* (2001). 2024;51(2):347-353.
- 32) Yasaka M, Kimura K, Otsubo R, et al. Transoral carotid ultrasonography. *Stroke* 1998; 29: 1383-1388.

- 33) 萩原悠太、清水高弘、田中成明ら。症候性頭蓋外内頸動脈解離後に新たな対側内頸動脈の無症候性解離の出現を確認し得た1例:経口腔頸部血管超音波検査法(TOCU)による経時的観察の意義 Neurosonology 2015; 28(2): 63-66.
- 34) 萩原悠太、吉江智秀、徳山承明ら。頭蓋外内頸動脈解離に対する頸動脈ステント留置術前後の評価に経口腔頸動脈超音波検査(transoral carotid ultrasonography)が有用であった1例. Neurosonology 2016; 29(3):185-190.
- 35) 萩原悠太、小野寺英孝、内田将司ら。巨大頭蓋外感染性内頸動脈瘤に対する内頸動脈母血管コイル閉塞術と排膿穿刺術における経口腔頸動脈超音波検査(transoral carotid ultrasonography)の有用性. 脳卒中 2017; 39(3): 215-219
- 36) Hagiwara Y, Yoshie T, Shimizu T, et al. A case in which contrast-enhanced transoral carotid ultrasonography was useful for pre- and post-procedural evaluation in carotid artery stenting. J Med Ultrason. 2017; 44: 207-210.
- 37) Hagiwara Y, Yoshie T, Shimizu T, et al. Contrast-enhanced transoral carotid ultrasonography for the evaluation of plaque protrusion after carotid artery stenting. J Med Ultrason. 2018; 46(9): 598-601.
- 38) Hagiwara Y, Shimizu T, Hoshino M, et al. The utility of superb-microvascular imaging for evaluating the full length of carotid artery stents. J Clin Ultrasound. 2019; 47(4): 239-242.