

超音波による頸動脈病変の標準的評価法 2017

日本超音波医学会用語・診断基準委員会

委員長 廣岡 芳樹

頸動脈超音波診断ガイドライン小委員会

委員長 松尾 汎¹副委員長 谷口 信行²委員 石津 智子³, 尾崎 俊也⁴, 小谷 敦志⁵, 長束 一行⁶, 濱口 浩敏⁷, 原田 烈光⁸, 古井 英介⁹, 松村 誠¹⁰

-----脚注部分-----

¹松尾クリニック, ²自治医科大学臨床検査医学, ³筑波大学臨床検査医学, ⁴トラストクリニック臨床検査課, ⁵近畿大学医学部奈良病院臨床検査部, ⁶国立循環器病研究センター脳神経内科, ⁷北播磨総合医療センター神経内科, ⁸日立製作所ヘルスケアビジネスユニット, ⁹富山県済生会富山病院脳卒中内科, ¹⁰埼玉医科大学循環器内科

はじめに, この標準的評価法は, 日本脳神経超音波医学会と日本超音波医学会とが共同で作成し, 現段階で推

奨される事項を提示したが, これに制約されるものではない。

推奨度とエビデンスレベル

推奨度は, 検査法や治療法を行うことを, どのくらい強く勧めているのかを示す指標である。推奨度の強さは, 一般にエビデンスレベルに基づいて決められ, エビデンスレベルが高い検査法や治療法ほど推奨度は高くなる。本書では, 推奨度はA～Dの5段階に設定した。推奨度Aの場合は, その推奨文の内容を行うことが強く勧められることを意味する。

エビデンスとは医学的な根拠という意味である。エビデンスレベルとは, ガイドラインが推奨する検査法や治療法が, どの程度信頼できるエビデンスによって実証されているのかを示す指標である。メタアナリシスやランダム化比較試験など, 信頼性の高いエビデンスによって実証されている場合は, エビデンスレベルが高い。本書では, エビデンスレベルはI～VIの6段階に設定し, 数字が小さい方が信頼度は高い。

・有効性による分類 (推奨度)

- | | | |
|-------|----|------------------|
| Grade | A | 強く勧められる |
| | B | 勧められる |
| | C1 | 勧められるだけの根拠が明確でない |
| | C2 | 根拠がないので勧められない |
| | D | 行わないよう勧められる |

・研究デザインによる分類 (エビデンスレベル)

- | | | |
|-------|-----|--------------------------------------|
| Level | I | 系統的レビュー・メタアナリシス |
| | II | ランダム化比較試験 |
| | III | 非ランダム化比較試験 |
| | IV | 準実験的・分析疫学的研究
(コホート, 症例対照, 横断研究など) |
| | V | 記述研究 (症例報告, ケースシリーズ) |
| | VI | 専門家委員会や権威者の意見
(患者データに基づかない) |

頸動脈超音波検査の意義（推奨度の現状）

1. 頸動脈超音波の意義

生活習慣病には、頸動脈超音波検査が勧められる **A** **I**

参考：欧米での推奨度

ACC/AHA ガイドライン：冠動脈疾患中等度リスク群において行うことを推奨(クラス IIa)¹⁾.

NCE-ATPIII：脂質管理における潜在的動脈硬化性病変評価に有用と推奨²⁾.

スペイン ESH/ESC ガイドライン：高血圧症における標的臓器障害の指標として推奨³⁾.

2. 超音波所見と病理所見

両者の対比は良好である **B** **III**

3. IMT 評価の意義

1) max IMT 生活習慣病例では肥厚する **B** **II**

検討のあるもの：年齢，喫煙，高血圧，糖尿病，脂質異常，肥満

2) mean IMT 加療により，進行度が抑制される **B** **II**

血糖降下薬，脂質改善薬，降圧薬，抗血小板薬，運動

3) IMT は予後指標の surrogate marker である

一般住民 **C2** **I**

動脈硬化性疾患 **C1** **IV**

4) 総頸動脈のびまん性 IMT 肥厚所見は，高安動脈炎を強く示唆する **B** **III**

4. プラーク診断の意義

注意すべきプラークとして，表面性状では潰瘍型，輝度では低輝度型，
および可動性のあるプラークが挙げられる **C1** **IV**

5. 狭窄病変の診断

ドプラ法による評価が用いられる **B** **III**

狭窄率による評価が可能である **C1** **IV**

狭窄率は，内頸動脈での血管造影所見との一致率は低い **C1** **IV**

6. 動脈硬化疾患における頸動脈狭窄合併

全身に動脈硬化を合併することから

頸動脈の IMC 肥厚は，冠動脈疾患危険度 15%/0.1 mm 肥厚 **B** **I**

脳動脈疾患危険度 18%/0.1 mm 肥厚

頸動脈 IMC 肥厚群，プラーク群，狭窄群の順に，冠疾患合併が増加 **B** **III**

【脚注】 max IMT と mean IMT はどちらが有用か？

内頸動脈・頸動脈洞・総頸動脈を含んだ max IMT は総頸動脈 mean IMT に比較して冠動脈疾患の存在^{4, 5)}，予後との関連⁶⁾においては重要度が高い。糖尿病症例⁷⁾，高血圧症例⁸⁾では総頸動脈の mean IMT はフラミンガムリスクスコアに付加価値がないか，あるいはあったとしてもごくわずかであり臨床的には意味がないとする報告⁹⁾がある。これらから，臨床における疾患リスク層別化を目的とした場合，mean IMT よりも max IMT の方が

有用と考えられる。

一方，max IMT は内頸動脈で約 20%の症例では評価が不十分となるという欠点がある。特に日本人は欧米人と比較し，頸動脈分岐部が下顎角よりも高位に存在する症例が多いという指摘もある。

生活習慣病の治療効果の比較検討には，方法は異なるが mean IMT が指標として用いられている。

従って，両指標を相互補完的に用いることが望ましい。

1. 目的

◆ 頸動脈超音波検査の標準的評価法を提示することを目的とする。

超音波検査は無侵襲で簡便に実施でき、低コストで普遍化が可能である。さらに近年の画像診断の進歩により、頸動脈を詳細に評価できるようになり、広く普及し、生活習慣病（糖尿病、脂質異常症、高血圧症、喫煙、肥満など）や閉塞性動脈疾患（脳血管障害、虚血性心疾患、閉塞性動脈硬化症など）の診療に際して、さらに高安動脈炎（高安病）、動脈解離・瘤などの「頸動脈病変」や巨細胞性動脈炎（側頭動脈炎）などの臨床に、超音波検査が広く応用されてきた。そして、その臨床的意義などについても、多くの報告がなされてきたことから、日本

脳神経超音波学会と共同で、超音波による頸動脈病変の標準的評価法を改定し、提示することとなった。

本標準的評価法では、測定項目、測定方法、検査法の標準化、現時点での臨床的意義、代表的疾患の特徴的所見などをまとめた。未だ十分なエビデンスのない領域もあり、今後の課題も残されているが、頸動脈超音波検査が正しく普及し、正しく実施されることを目指して作成した。

2. 適応

◆ 適応は、①頸動脈病変を疑う症例、②他部位の動脈硬化性疾患治療時のリスク評価および③生活習慣病症例での動脈硬化進行度評価が必要な場合などである。

頸動脈超音波検査の適応は、①頸動脈の狭窄および閉塞病変を伴いやすい疾患（脳血管障害の他、血管炎：高安動脈炎、巨細胞性動脈炎（側頭動脈炎）、頸部動脈解離、動脈瘤など）やそれを示唆する臨床所見・徴候（意識障害、片麻痺、頸動脈雑音、脈拍減弱、頭痛、めまい、血管痛など）がある場合、または②他の領域の動脈硬化性疾患（冠動脈疾患、閉塞性動脈硬化症、大動脈瘤など）に対する侵襲的治療のリスク評価が必要な場合とする。ただし、③動脈硬化危険因子（糖尿病、脂質異常症、高血圧症、喫煙、肥満など）を持っており、生活習慣病などの動脈硬化危険因子が存在すると、当初は弾性の低下（硬くなること：stiffness parameter β などを指標とする）が生じ、次いで内中膜複合体（intima-media complex: IMC）

の肥厚、更にプラーク形成、狭窄、閉塞へと動脈硬化性病変は進行することが知られている^{1,2)} (Fig.1)。頸動脈超音波検査ではその進行程度が評価でき、動脈硬化の進行の可能性がある場合も検査の適応となる。特に中等度リスクを有する一次予防症例のリスク層別化に有用である³⁾⁶⁾。

その他として、大動脈解離による頸動脈への進展が疑われる場合、急性心筋梗塞で虚血性脳卒中を合併した場合、非失神性意識障害の鑑別、心臓大血管手術時（とくに冠動脈バイパス術）の術前評価、頸動脈内膜剥離術（carotid endarterectomy: CEA）や頸動脈ステント留置術（carotid artery stenting: CAS）などの術後評価なども適応とする⁷⁻¹¹⁾。

動脈硬化の進展

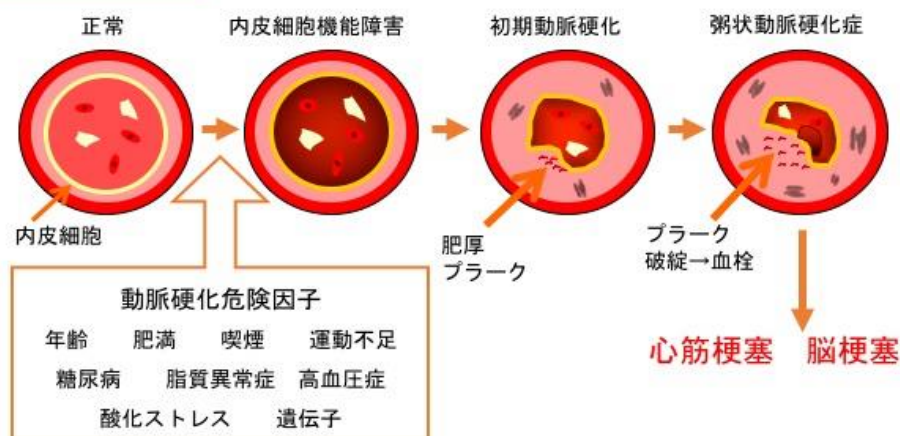


Fig.1 動脈硬化の進展

3. 用語解説・関連略語

はじめに、本稿の内容を理解するに役立つと思われる用語を、key word として関連領域ごとに解説を加える。また繰り返しにはなるが、基本的な関連する略語をまとめて列記する。

3.1 生活習慣病

動脈硬化危険因子とされ、生活習慣により影響を受けるもので、糖尿病、脂質異常症、高血圧症、喫煙、運動不足、肥満などが含まれる。広義には、それら因

子により増悪する脳血管障害，虚血性心疾患，慢性腎臓病（Chronic kidney disease: CKD），動脈瘤，閉塞性動脈硬化症などを含むこともある。

3.2 表示法関連用語

a)中樞側（proximal）と末梢側（distal）：中樞側は心臓を基本とし，末梢側は頭部とする．血管分岐直後は起始部と称す。

b)短軸像および長軸像：断層法にて得られる血管の横断面（短軸断面）での像を短軸像または横断面像とする．血管の縦断面（長軸断面）での像を長軸像または縦断面像とする。

c)近位壁（near wall）および遠位壁（far wall）：血管長軸像でプローブに近い位置（浅部）に表示される血管壁が近位壁で，血管短軸像ではアプローチにより領域が異なるが，各々の血管短軸像における 12 時方向を中心とした浅部（表在側）の領域を言う．一方，血管長軸像でプローブに遠い位置（深部）に表示される血管壁が遠位壁で，血管短軸像ではアプローチにより領域が異なるが，各々の血管短軸像における 6 時方向を中心とした深部側の領域を言う。

d)内側壁（medial wall）と外側壁（lateral wall）：血管短軸像ではアプローチにより領域が異なるが，各々の血管短軸像における正中側の側壁（右側頸部血管では 3 時方向，左側頸部血管では 9 時方向）の領域を内側壁，正中側と対側の側壁（右側頸部血管では 9 時方向，左側頸部血管では 3 時方向）を外側壁と言う。

3.3 内中膜複合体（intima-media complex: IMC），内中膜厚（intima-media thickness: IMT）関連用語

頸動脈の超音波像（Fig.2）は層構造を示すが，内膜と

中膜，および外膜と周囲組織との分離は超音波検査では困難である．ただし，内膜と中膜を合わせた厚みは病理組織像と一致すると報告されている¹⁾．そのため，頸動脈の壁厚を評価する際は，「内膜と中膜の複合体（IMC）の厚み」が用いられ，「内中膜厚（IMT）」と称する．IMT は，頸動脈長軸像における内膜側（血管内腔側）の高エコー層（leading edge: LE）と，その外層の高エコー層（LE）の間の距離と定義される（Fig.2）。

遠位壁（far wall）では内腔と内膜との境界が高エコー層の上縁（LE）に，中膜と外膜との境界が外側の高エコー層の上縁（LE）に一致する。

一方，近位壁（near wall）では，内膜と内腔との境界が高エコー層の上縁（LE）に一致するが，外側の高エコー層の上縁は不明瞭で，中膜と外膜との境界が同定し得ない。

従って，far wall IMC においてのみ「組織学的構造に一致した IMT」計測が可能となる（Fig.2）。

ただし，near wall でのプラーク評価（max IMT 計測）などの時，内膜と血管内腔とで生じた高エコー層の下縁（trailing edge: TE）と，外膜と中膜間で生じた高エコー層の下縁（TE）間（Fig.2：△部位）との計測で代用することが可能である。

超音波法で「血管径」を計測する場合，内径の計測は近位壁での内膜と内腔との上縁（LE）と，遠位壁での内腔と内膜との上縁（LE）で計測が可能である．また外膜間距離の計測は通常は困難だが，近位壁の外膜下縁（TE）と，遠位壁の外膜上縁（LE）で計測する方法がある（本来の距離とは異なるため，「（偽）外膜間距離」とも呼称する）。

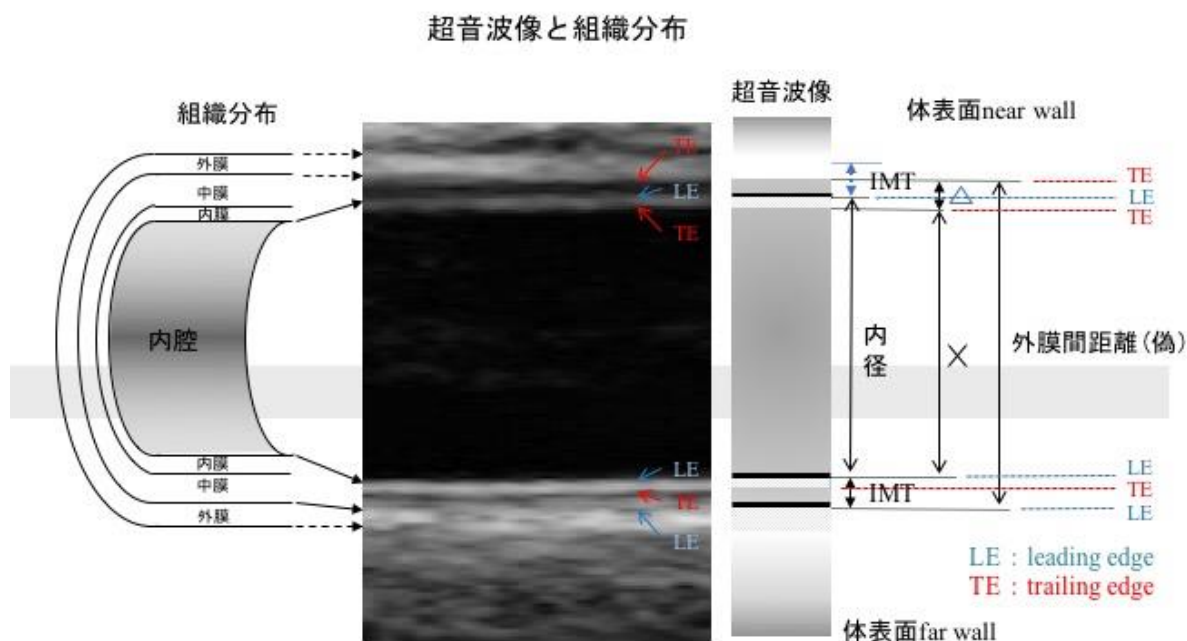


Fig.2 超音波像と組織分布

a)IMT-C10：総頸動脈と頸動脈洞の移行部より中枢側10 mmの「遠位壁」におけるIMTをIMT-C10と呼称する。ベースラインとして使用できる決められた計測部位のIMTとし、“max”の用語を用いず、max IMTとは区別する（Fig.3①）。

b)最大内中膜厚（maximum intima-media thickness: max IMT）：max IMTとは、左右の総頸動脈（common carotid artery: CCA）、頸動脈洞（carotid bulb: CB, carotid sinus: CS）、および内頸動脈（internal carotid artery: ICA）の近位壁、遠位壁および両側壁の観察可能な領域における最大の内中膜厚（maximum intima-media thickness: max IMT）のことをいう。すなわち、総頸動脈での最大内中膜厚（IMT-Cmax）、頸動脈洞の最大内中膜厚（IMT-Bmax）、内頸動脈の最大内中膜厚（IMT-Imax）のうち、最大のものをmax IMTとして代表値とする。

左右別に検討する場合は、rt-max IMT, lt-max IMTと表記して構わない。

max IMTに関しては、研究により定義が異なる場合があり、比較する場合には注意が必要である。

ただし、閉塞または石灰化に伴い計測困難な場合には、

評価不能とする。

本評価法ではmax IMTの測定に際しては、その部位がプラーク病変の範疇に入るか否かは問わずに、最大肥厚部位を計測することを推奨する。病理学的なプラーク形成を超音波形態のみから判定することは厳格には困難であるという立場に基づくものである。

また、超音波の特性から、近位壁でのIMCの描出が困難な場合もあるため、観察領域を遠位壁のみに限定した場合は、その旨を記載する。

c)平均内中膜厚（mean intima-media thickness: mean IMT）：頸動脈の血管長軸像における複数点のIMTの平均値を平均の内中膜厚（mean IMT）という。ただし、計測方法は標準化されておらずオプションの計測項目とする。

計測方法として、取り決められた複数ポイントのIMTの平均をマニュアル計測する方法と、一定の範囲を自動トレースし多数点のIMT（1 cmの範囲で100点以上）の平均を自動計測する方法（Fig.3②）に大別される。今後、トレースした面積や3次元表示による容積も、比較研究における指標になり得る可能性がある。

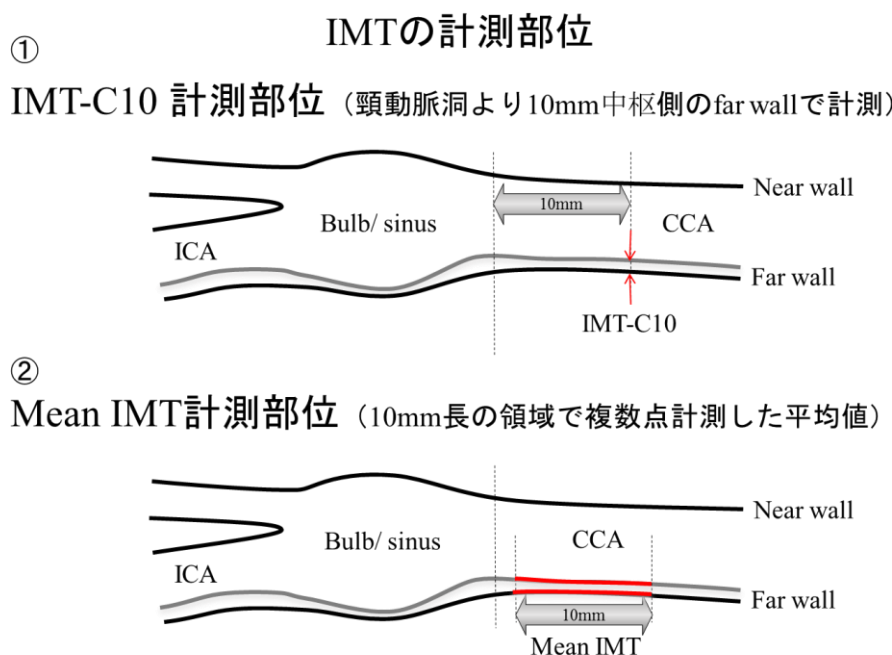


Fig.3 IMT計測法（画面左が頭側）

3.4 プラーク（plaque）関連用語

プラークとは「1.1 mm以上の限局した隆起性病変（血管長軸または短軸断面で隆起と認知できる血管腔へのIMCの突出像）」を総称する。全体がびまん性に肥厚した状態は「びまん性肥厚」として、プラークとは区別する。

なおプラーク性状などを評価する対象となるプラークは、欧米での検討を基に、「最大厚が1.5 mm超のプラーク」とすることを提案する（Fig.4）^{2,3)}（1.5 mm以下

では評価しなくても良い）。また、血管外膜側に隆起するvascular remodelingの症例（Fig.5）も、血管腔側への隆起の有無に関係なくIMCの最大厚が1.5 mm超のプラークを評価対象とする。

#注意すべきプラーク：評価対象となるプラークの内でも一部に脳梗塞再発などとの関連が指摘されている。初回発見時には速やかに報告することが勧められ、以降も注意深く観察すべきプラークである。それらには、①

可動性プラーク、②急速進行・形状変化を示すプラークがあり、その他には、③低輝度プラーク、④線維被膜の薄いプラーク、⑤潰瘍病変などが含まれる。特に、①、

②は、観察次第速やかに報告することが勧められる。(本文プラークの章参照)

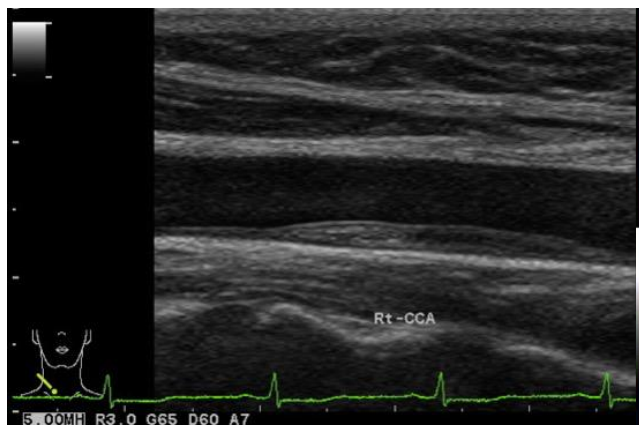


Fig.4 右総頸動脈遠位壁のプラーク

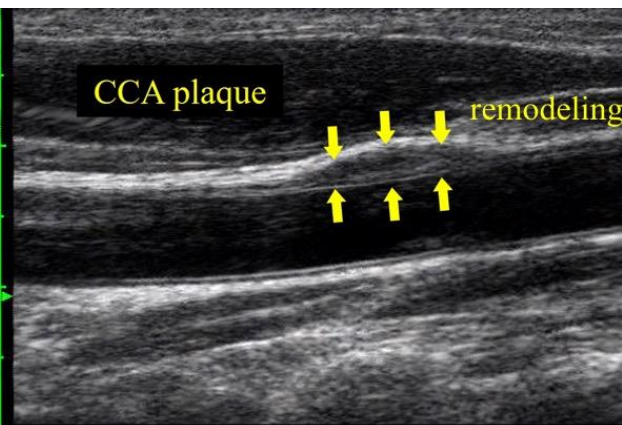


Fig.5 vascular remodeling の plaque

3.5 動脈狭窄関連用語

a)動脈径 (arterial diameter) :超音波検査の動脈径は、内膜と血管内腔の境界を計測ポイントとする血管内径と、外膜内輪径に近似したポイントを計測する (偽) 外膜間距離が用いられている (Fig.2).

頸動脈は血管拍動に伴い動脈径が周期的に変化する

ため、計測時相は心拍の拡張後期 (頸動脈では血管の収縮後期) で計測する。その際、心電図を同時記録すると容易に時相が把握できる。心電図と同時記録した場合の血管径計測の時相は、血管収縮後期 (心拡張末期 : 心電図 R 波相) とする (Fig.6)。

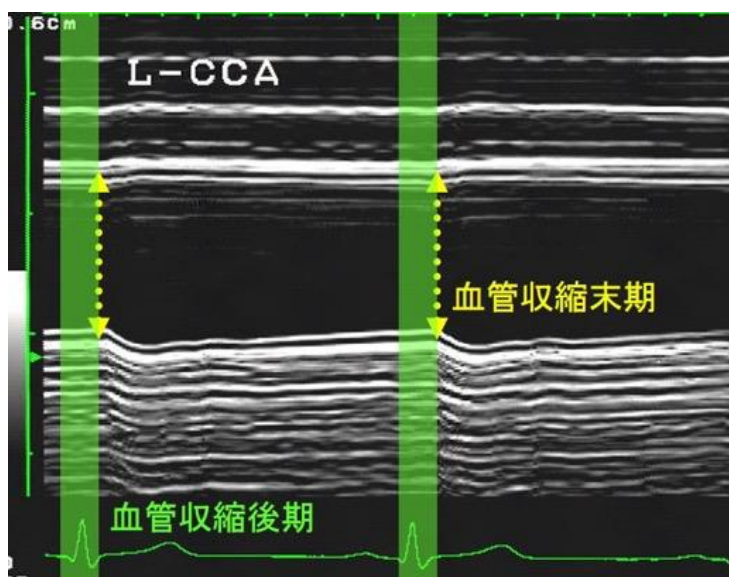


Fig.6 血管径計測時の時相 (心電図 R 波相との関連)

b)動脈狭窄 (arterial stenosis) : 狭窄とは血管の内腔が狭くなっている状態をいう。超音波検査では径狭窄率 (狭窄の最も高度な部位での血流部分の幅を同部位の血管径で除した値) と面積狭窄率 (同様に面積から求めた値) とが得られる (Fig.7)。なお、「内頸動脈」の狭窄を評価する際に限って、径狭窄率を「動脈造影での ECST 法や NASCET 法」に準じて評価しても良い (次項および本文参照)。

プラークの増大に伴い、血管短軸断面でのプラーク占有率 (面積狭窄率) が 50%以上と評価した場合には、ドプラ血流法にて狭窄部最大流速を計測し、狭窄率を評価・推定することを必須とする (有意狭窄の判定は、ドプラ血流法での評価を指標として行う : ドプラ血流法の項参照)。測定可能な場合は、超音波断層法で血管短軸断面による面積狭窄率や径狭窄率を求める。

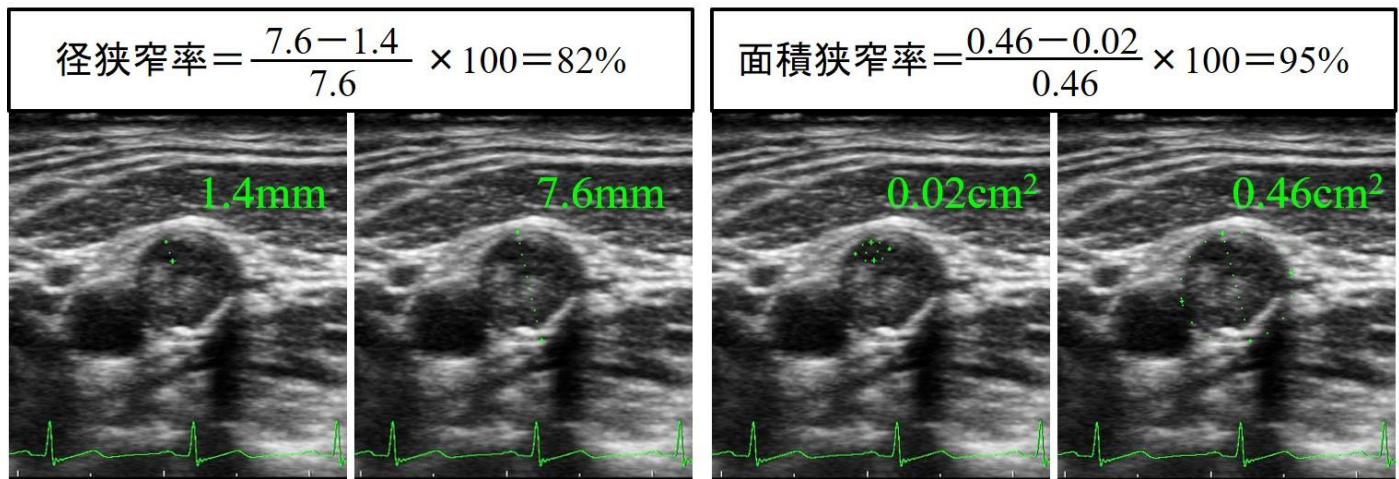


Fig.7 左内頸動脈の径狭窄率（左）と面積狭窄率（右）の測定

c)内頸動脈での狭窄率：NASCET 狭窄率，ECST 狭窄率，面積狭窄率：前2者はNorth American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial と European Carotid Surgery Trial で用いられた「血管造影法にて求められる内頸動脈（頸動脈洞を含む）の狭窄率」^{4,5)}である（Fig.8）. 超音波断層法では，指示医の要望がある場合のみ，それら

を計測する（ルーチン検査で行う必要はない）.

ECST法と同部位での短軸断面における径狭窄率および断面積を用いた「面積狭窄率」も参考にできるが，超音波診断法では，前述のごとくドプラ血流法での計測評価を指標とする.



NASCET法：

$$\frac{b - a}{b} \times 100 (\%)$$

ECST法：

$$\frac{c - a}{c} \times 100 (\%)$$

Fig.8 内頸動脈起始部の NASCET 法および ECST 法での狭窄率の計測方法

d)動脈閉塞（arterial occlusion）:超音波断層法で血管内腔の充実エコーを検出し，同部位の動脈拍動の低下および消失，または，ドプラ血流法での動脈拍動性カラードプラシグナルが描出されない場合は閉塞病変と診断し，閉塞部前後の血流状態を評価する.

関連略語

CCA：common carotid artery 総頸動脈
 CB(CS)：carotid bulb, carotid sinus 頸動脈洞
 ICA：internal carotid artery 内頸動脈
 VA：vertebral artery 椎骨動脈
 IMT：intima-media thickness 内中膜厚

IMC：intima-media complex 内中膜複合体

max IMT：最大内中膜厚

mean IMT：平均内中膜厚

PSV：peak systolic velocity 収縮期最大血流速度

EDV：end-diastolic velocity 拡張末期血流速度

V mean：平均血流速度

ED ratio：拡張末期血流速度比

PI：pulsatility index 拍動係数

RI：resistance index 抵抗係数

PD：pulsed Doppler パルスドプラ

CWD：continuous wave Doppler 連続波ドプラ

4. 検査法

- ◆ 断層像では高分解能な画質が求められ、プローブは視野幅が3～5 cmの高周波リニア型プローブを用いる。
- ◆ 表示方法は、仰臥位の被検者を足側または右側から俯瞰する像を基本とするが、長軸断面は規定しない。
- ◆ カラー Doppler 表示は、プローブに向かう血流を赤色（暖色系）、遠ざかる血流を青色（寒色系）とする。
- ◆ ドプラ血流方向表示は、プローブに向かう血流を基線より上方、遠ざかる血流を下方に表示する。
- ◆ 画像はエコーゲイン、フォーカスポイント、ダイナミックレンジで調整し、表示深度は通常3 cm以下とする。
- ◆ 被検者の体位は、仰臥位を基本とし、心電図の同時記録は、動脈硬化性病変の検索時には必須ではないが、血管径計測や心時相による解析を要する場合は推奨する。

4.1 超音波装置・プローブ（探触子）の選択

1) 超音波診断装置

頸動脈断層像は高分解能な画質が求められるため、tissue harmonic imaging が可能なフルデジタル診断装置が有効である。また、カラー血流記録には、リアルタイム性に優れ、低流速血流が高感度に表示可能な装置が推奨される。

2) プローブ（探触子）

プローブは、血管形態や走行深度から、一般に視野幅

が3～5 cmの高周波のリニア型プローブを用いる。

中心周波数は、IMT の計測精度を考慮すると7 MHz以上を必要とする。ただし、深部を走行する内頸動脈遠位部や椎骨動脈の観察には、5 MHz 前後のリニア型プローブ、コンベックス型プローブやセクタ型プローブも必要とする場合がある。また、浅側頭動脈など浅部の動脈を観察する場合には、12 MHz 以上のリニア型プローブが有効である。

4.2 画像の表示方法

1) 断層像

頸動脈短軸断面の表示方法は、仰臥位の被検者を足側から俯瞰する像を基本とする（Fig.9a）。また、長軸断面

の表示方法は、本評価法では規定しない（Fig.9b）。施設内で統一し、他施設での画像閲覧を考慮して記録画像にコメントやボディマークなどを表示する。

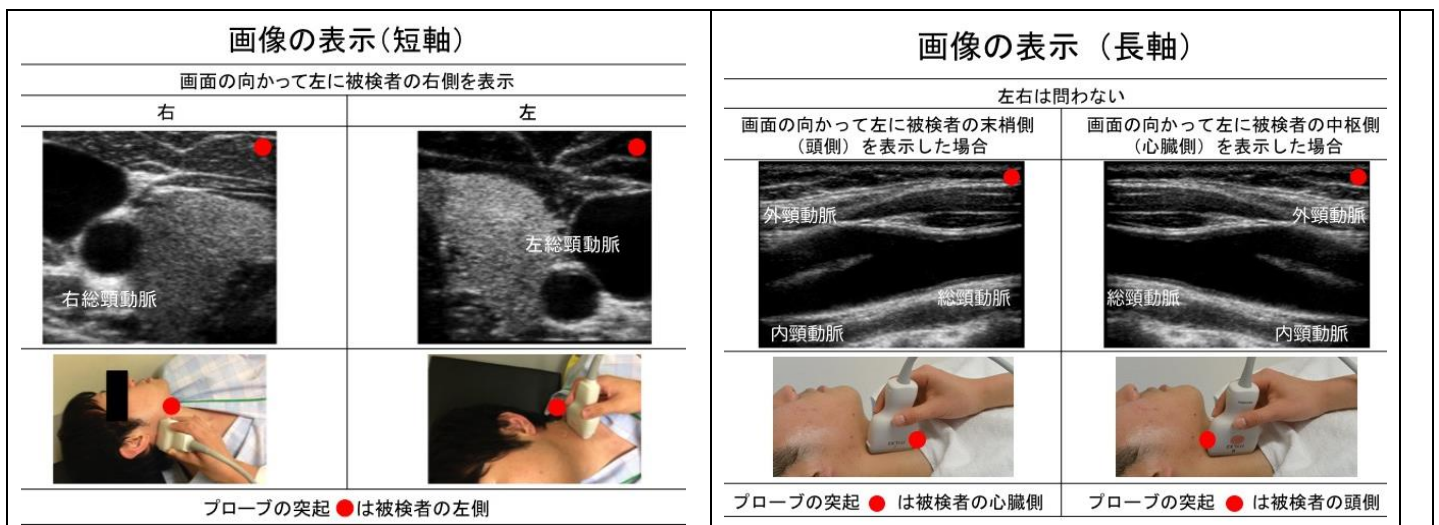


Fig.9 a 頸動脈断層像の表示方法（短軸断面）. b 頸動脈断層像の表示方法（長軸断面）

2) カラー Doppler 法（Fig.10）

カラー Doppler 法の表示色相は、原則的にはプローブに向かう血流を赤色（暖色系）、遠ざかる血流を青色（寒

色系）とする。ただし、記録画像にカラーバーを表示すればその限りではない。

3) パルス Doppler 法（Fig.11）

ドプラ血流波形の基線に対する血流方向の表示は、プローブに向かう血流を基線より上方（正の方向）、遠ざかる血流を基線より下方（負の方向）に表示する。ただ

し、血流方向を記載すればその限りではない。

なお、動脈と静脈との区別や、血流波形の評価を必要とする場合は、心電図の同時記録が有用である。

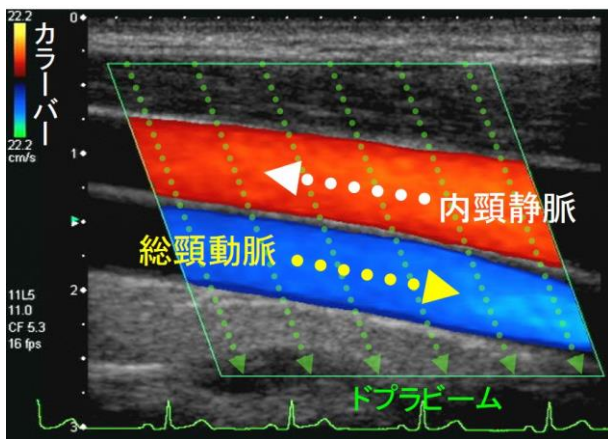


Fig.10 カラー Doppler 法の血流シグナルの表示
(プローブより遠ざかる血流を青で、近づく血流を赤で提示)

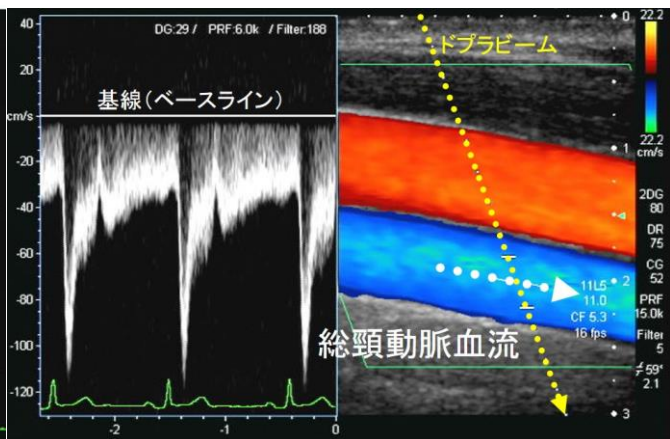


Fig.11 パルス Doppler 法の血流波形の表示
(プローブから遠ざかる血流は基線より下方に提示)

4.3 画像の条件設定

1) エコーゲイン

血管内腔に近い低輝度病変を見落とすことのないように、ややゲインを上げて観察する。ただし、画像記録の際は、病変部のエコー性状が評価可能なエコーゲインに調整する。

2) フォーカスポイント

現行の装置の多くはフォーカスを複数設定することが可能で、深度方向に広範囲に良好な画像を得る利点を有するが、フレームレートが低下する欠点がある。フレームレートの低下は、頸動脈拍動に伴う血管運動に加え、並走する静脈径変化や呼吸に伴う血管の動揺などが、観察に複合的に影響を与える。そのため、フォーカスポイ

ント数は必要最小限に設定する。また、観察領域の血管深度に合わせて、フォーカスポイントを適時設定し観察する。

3) ダイナミックレンジ (Fig.12)

断層像のグレースケールの階調を変化させるダイナミックレンジは、小さくすることで組織間の境界が明瞭となる。ただし、頸動脈隆起性病変は石灰化を示す高エコー輝度から粥腫や出血が疑われる低エコー輝度まで幅広い階調で描出されることから、ダイナミックレンジを小さくすると、輝度差の小さな組織間のエコー性状の比較は困難となる。そこで、ダイナミックレンジを 70 ~ 90 dB と広く設定し、エコーゲインを適時調整しながら検索することを推奨する。

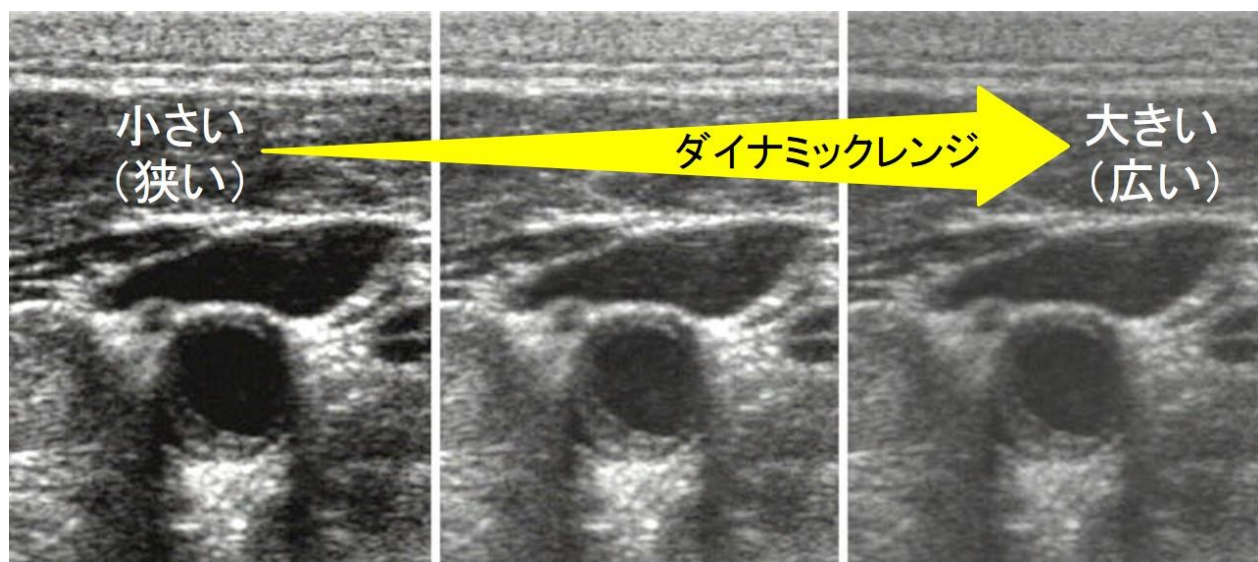


Fig.12 ダイナミックレンジの変更に伴う画像の変化

4) 距離分解能

距離分解能は、波数とその周波数に関連している。

例えばプローブの振動子から送信される超音波パルスの波数を 3 個 (3 波長) とし、その際の距離分解能をパルス時間幅の 1/2 と仮定すると、周波数が 10 MHz の

プローブを用いた場合は、約 0.23 mm が計算上の距離分解能となる。ただし、信号のサンプリングレートや表示系のピクセル分解能は距離分解能より高いので、モニター上では 0.1 mm 単位の計測が可能とされ臨床的にも使用されている。

5)画像サイズ（表示深度）

画像サイズは、観察血管の深度により変更するが、表示深度は IMT 測定など計測精度に応じた調整が重要である。特に、IMT 測定時の表示深度は通常 3 cm に設定する。

IMT 計測では 0.1 mm 単位の精度が必要なため、モニター上の表示深度が計測誤差に大きく影響する。例えば、モニターの縦方向の 1 ドット（ライン）、すなわち計測に用いられるキャリパーの 1 ピクセルの移動距離が 0.1 mm 以下となる画像サイズ（表示深度）を確保する必要がある。特に、最近の装置は高解像度モニターが用いられているが、モニター上には記録画像のサムネイル、特殊機能の操作ボタン、さらに、計測データの表示領域などが配置され、実際の超音波画像の表示領域に注意が必

要である。

4.4 被検者の体位（Fig.13）

被検者の体位は、仰臥位を基本とするが、患者の状態や検査環境を考慮して、座位や体位変換を行い観察領域が広く得られるように工夫する。

基本体位である仰臥位では、顎を軽く上げ、正中位から観察する側の反対側へ顔を 30 度以内に傾け、最も観察しやすい位置で検査を行う。さらに、体型により肩甲骨背部へ枕やタオルなどを挿入すると、総頸動脈起始部が観察し易くなる。また、内頸動脈遠位部の観察には、側臥位にして頸部後方から観察することも有効である。顎を軽く挙げる際、頸椎症や関節リウマチなどの患者や高齢者では十分に気をつける必要がある。



Fig.13 頸部の観察領域（左段）、得難い症例での体位（右段）

4.5 生体信号（心電図）の記録（Fig.14）

動脈硬化性病変の有無を検索する場合は、生体信号の同時記録は必要としない。しかし、断層法では血管径の計測に、また、ドプラ法では不整脈時や、逆行性血流を伴う病変の評価などには心時相による解析が重要となる。そのため、心臓の収縮期と拡張期が同定可能な心電

図(ECG)の同時記録を推奨する。また、検査時に頸動脈洞反射による徐脈、血圧低下、呼吸抑制などが起こることがあるので、心電図の装着に加え、呼吸状態も同時に観察することが重要である。

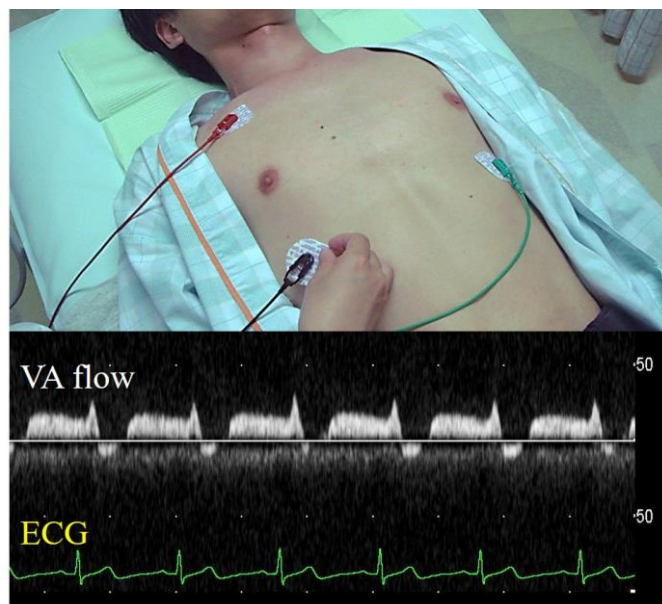


Fig.14 心電計の装着と椎骨動脈血流波形の心電図同時記録
逆行性血流の評価には心電図同時記録が重要となる(VA:椎骨動脈)

5. 超音波断層法

- ◆ 断層像による頸動脈の観察は、血管短軸断面と血管長軸断面の2方向で行い、観察領域は左右共に総頸動脈、頸動脈洞、内頸動脈および椎骨動脈で、観察可能な領域とする。
- ◆ アーチファクト（サイドローブ、多重反射など）軽減の工夫が望まれる。

5.1 観察領域

1)観察断面

断層像による頸動脈の観察は、血管短軸断面と血管長軸断面の2方向での断層像にて行う。特に、血管病変の検索には、血管短軸像によるアプローチが有効である。

ただし、短軸走査は前方と側方（後方）の2方向以上からアプローチし、互いに描出不良な領域を補うように観察する必要がある（Fig.15）



Fig.15 短軸断面による総頸動脈2方向からの観察

2)観察範囲

頸動脈超音波検査の観察領域は、左右共に総頸動脈（CCA）、頸動脈洞（CB または CS）、内頸動脈（ICA）、および椎骨動脈（VA）で観察可能な領域とするが、必要に応じて外頸動脈（external carotid artery: ECA）、鎖骨下動脈（subclavian artery: SCA）、腕頭動脈（brachiocephalic artery: BCA）、浅側頭動脈（superficial temporal artery :

STA）およびそれらの分枝動脈なども含む。

ただし、IMC の厚み（intima-media thickness: IMT）やプラークの評価を行う際は、総頸動脈、頸動脈洞、および内頸動脈を必須観察領域とし、max IMT は最大部位を評価する。

5.2 血管短軸像のアプローチ方法

1) 総頸動脈の観察

①頸部中央部にて血管横断走査でアプローチし、内側の甲状腺と外側の内頸静脈に挟まれた総頸動脈の短軸像を画面の中央に描出する。その際、総頸動脈の短軸直交断面が描出されるように操作する。

②総頸動脈を画面の中央にて、短軸直交断面を保ちながら鎖骨に接するまでプローブを中枢側に移動する。

③鎖骨に接したプローブを、頭側に傾斜させ、可能な限り中枢側を描出する。鎖骨背側の総頸動脈起始部（右側は腕頭動脈まで）を観察する。

④鎖骨上窩でプローブの傾斜を戻し総頸動脈短軸直交断面を保ちながら、一定の速度でゆっくりと末梢側へプローブをスライド移動し、総頸動脈中央部から末梢の頸動脈洞まで観察する。

⑤頸動脈洞は総頸動脈末梢で紡錘状形態を示すため、プローブをさらにゆっくりとスライド移動させて観察

する。

【脚注】頸動脈の病変部位を同定するための工夫

総頸動脈および頸動脈洞の短軸断面での病変部位は、内頸動脈と外頸動脈の短軸断面での分岐部を、同方向から同時記録しておくことで病変の存在部位の同定が可能である。すなわち、ECA と ICA を結ぶ線を 0° として、プラークの存在する「緯度」の同定ができる。分岐方向 (0°) から、どの方向に何度回転した部位に病変があるかを記録できる (Fig.16)。

長軸断面は分岐部からの距離を計測（「経度」として記録）すれば、前回の「緯度と経度」を指標に、同一断面が設定できることから、同一病変での経過観察において「再現性の向上」が期待できる。

可能なら分岐部までの走査を短軸と長軸で動画保存しておくと、より同定しやすくなる。

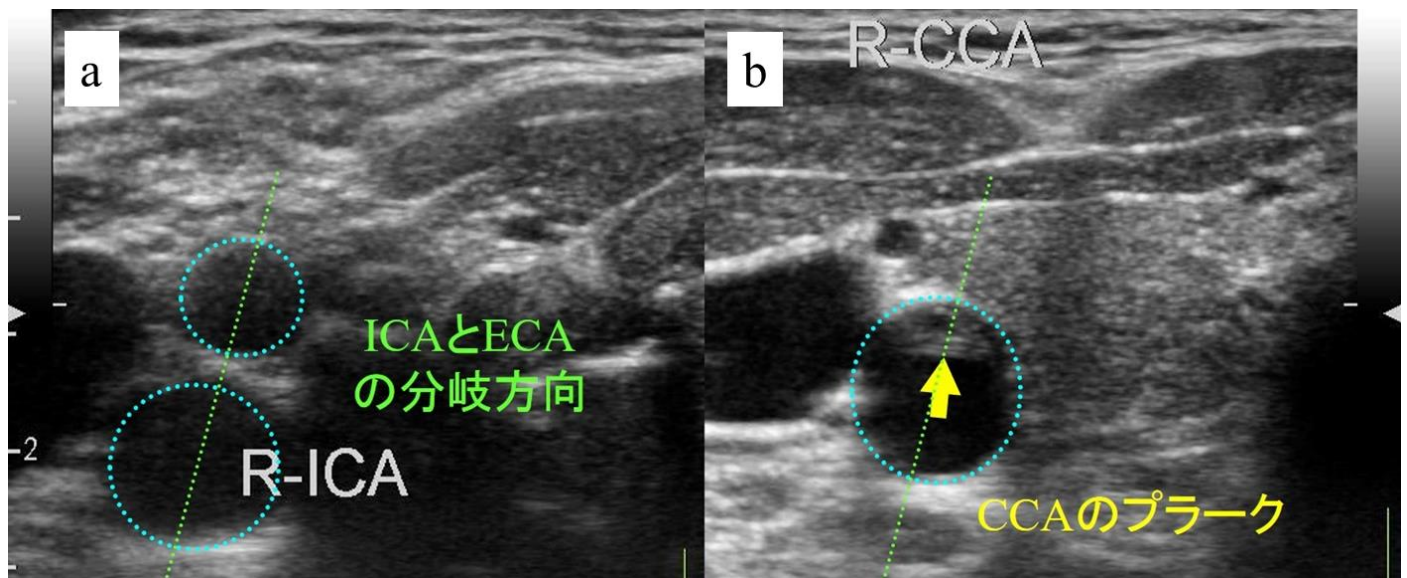


Fig. 16 内頸・外頸動脈の2画面同方向記録による総頸動脈プラーク部位の同定。

総頸動脈のプラーク（図bの矢印）は、図a「内・外頸動脈分岐方向(0°)」から反時計に 5° 方向に存在する事が判る

2) 内頸動脈の観察

①頸動脈洞と連続する内頸動脈起始部は、動脈硬化性病変の好発部位である。また、頸動脈洞から内頸動脈への移行部は特に複雑な形態を示し、かつ血管走行が大きく変化する領域である。そのため、プローブの微妙な回転および傾斜操作による正確な短軸像の描出が必要である。さらに、内頸動脈の走行は末梢側が深部方向に向かうため、プローブの傾倒操作を血管走行に合わせてアプローチする。

②頭蓋外の内頸動脈遠位部は、下顎骨がプローブ操作を制限するため、正しい短軸像の描出が困難となる。そ

のため顎下部の広範囲なアプローチ部位を得ることが重要である。

【脚注】内頸動脈と外頸動脈の鑑別

内頸動脈の多くは、起始部が外頸動脈の外側後方を走行し、遠位部では外頸動脈と背側で交差した後、内側深部で内頸静脈と並走する。ただし、起始部での内頸動脈と外頸動脈の位置関係では、両者の鑑別が困難な場合がある。その他には、内頸動脈は外頸動脈に比べ起始部が太く、通常は分枝血管が存在しないが、断層法での鑑別が困難な場合は、Fig.17のように両者のドプラ血流波形を比較して鑑別することができる。

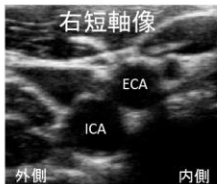
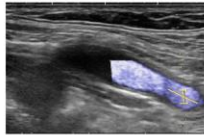
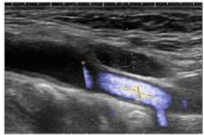
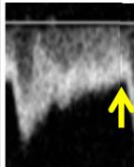
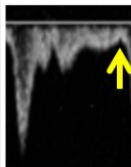
		内頸動脈（ICA）		外頸動脈（ECA）	
解剖	走行	外側後方		内側前方	
	血管径	外頸動脈より太い		内頸動脈より細い	
	分枝血管	なし		あり	
血流	カラードプラ				
	波形 拡張末期血流速度	 外頸動脈より速い 浅側頭動脈の圧迫で血流波形が変化しない	 内頸動脈より遅い 浅側頭動脈の圧迫で血流波形が変化する		

Fig.17 内頸動脈と外頸動脈の同定方法

3) 頸部側（後）方からの観察

① 頸部前方からの血管短軸断面で描出不良な血管側壁の観察に用いる。

② プローブの操作は前方からのアプローチと同様であるが、前方からのアプローチに比べ、血管の描出深度が深いため、フォーカスポイントの調整や、症例によ

てはプローブの周波数の切り替えが必要である。

③ アプローチの部位は、内頸静脈や甲状腺など血管周囲の構造物を指標として、前方アプローチで描出される左右の側壁が、側（後）方アプローチで描出される近位壁と遠位壁に描出されることを確認しながら走査する事が重要である (Fig. 18)。

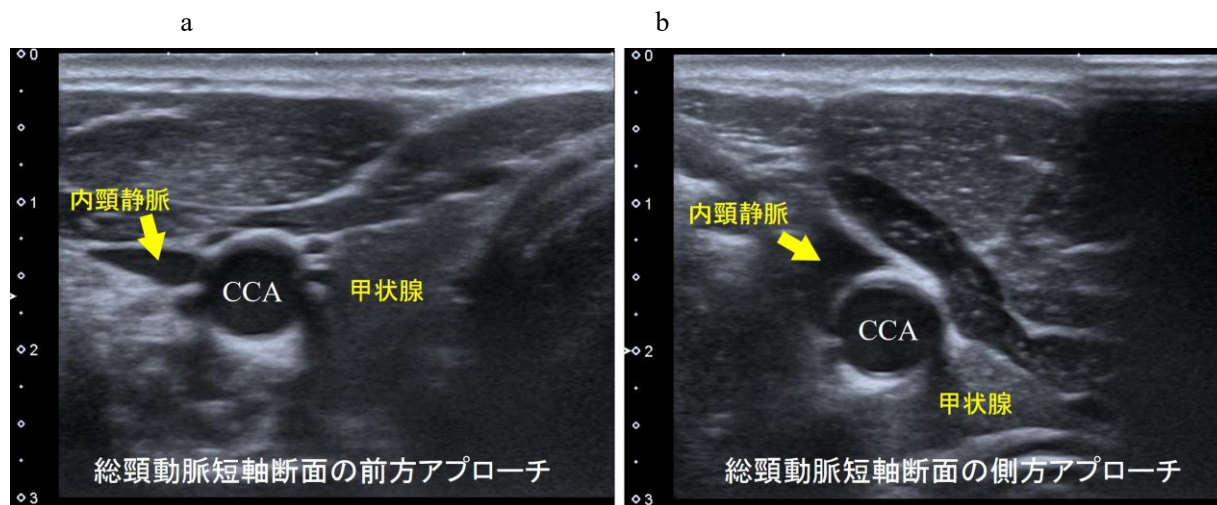


Fig.18 右総頸動脈短軸断面 (a: 前方アプローチ, b: 側方アプローチ)

4) 椎骨動脈の観察

① 頭部の傾きは正中位とし、頸部中央部にて血管横断走査でアプローチする。総頸動脈の短軸像より背外側にある椎骨横突起を確認し、椎骨動静脈を描出する。

② 椎骨動脈を画面の中央にて、短軸直交断面を保ちながら鎖骨に接するまでプローブを中枢側に移動する。

③ 鎖骨に接したプローブ位置を移動させずにプローブを頭側に倒し、可能な限り中枢側を描出する。

④ 鎖骨上窩で鎖骨下動脈が描出されたら、椎骨動脈起

始部を観察する。

⑤ 短軸直交断面を保ちながら一定の速度でゆっくりと末梢側へプローブを移動し、できるかぎり椎骨動脈末梢まで観察する。

5) 浅側頭動脈の観察 (選択対象)

① 外耳道前方で頬骨突起上方に拍動部位を確認し、同部より血管横断走査を開始すると浅側頭動脈が描出される。

②中央に動脈を描出するように調整し、短軸直交断面を保ちながら一定の速度でゆっくりと頭側へプローブを移動し、浅側頭動脈前頭枝、頭頂枝の分岐部まで観察する (Fig.19)。

③浅側頭動脈前頭枝、頭頂枝それぞれを可能な限り末梢部位まで観察する。この際、同時に描出できないため、各々観察する。

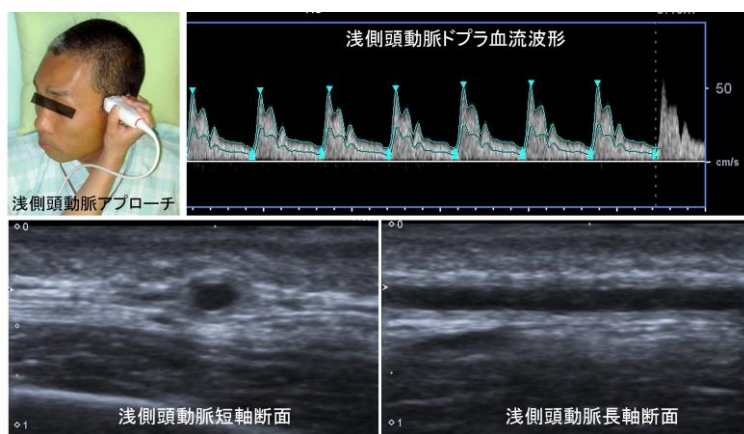


Fig.19 健康者浅側頭動脈の短軸と長軸断面、およびパルスドプラ血流波形

5.3 血管長軸像のアプローチ方法

1)基本長軸断面の設定

血管長軸像での観察は、血管長軸の中央断面の描出が必須となる。長軸断面が血管中央部から外れた場合、血管径は過小評価され、反対に IMT は過大評価されることが多い。

2)血管長軸像の観察 (Fig.20)

①血管短軸像を画面の中央部に描出し、末梢側 (頭側) を画面の左側に表示する場合は、プローブを時計方向 90° 回転し血管を長軸に描出する。また、末梢側 (頭側) を画面の右側に表示する場合は、プローブを反時計方向に 90° 回転し血管を長軸に描出する。

②プローブのレンズ面と血管長軸像が平行に描出

されるようにプローブを操作する。同時に血管遠位壁 (far wall) の IMC が広範囲に明瞭に描出されるように、プローブの平行および回転操作を加える。

③血管遠位壁 (far wall) の IMC 像を保持しながら、わずかにプローブを tilting scan で移動させ、far wall と血管近位壁 (near wall) の IMC が同一断面で良好な画像として広範囲に描出されるように微調整する。

④血管長軸像による観察は、血管中央断面を保持しながら、血管長軸方向に中枢側または末梢側に走査する。また、この操作を頸部の内側および外側から同様に言い、多断面で観察することが重要である。

(病変部位の同定については 5.2 脚注を参照)

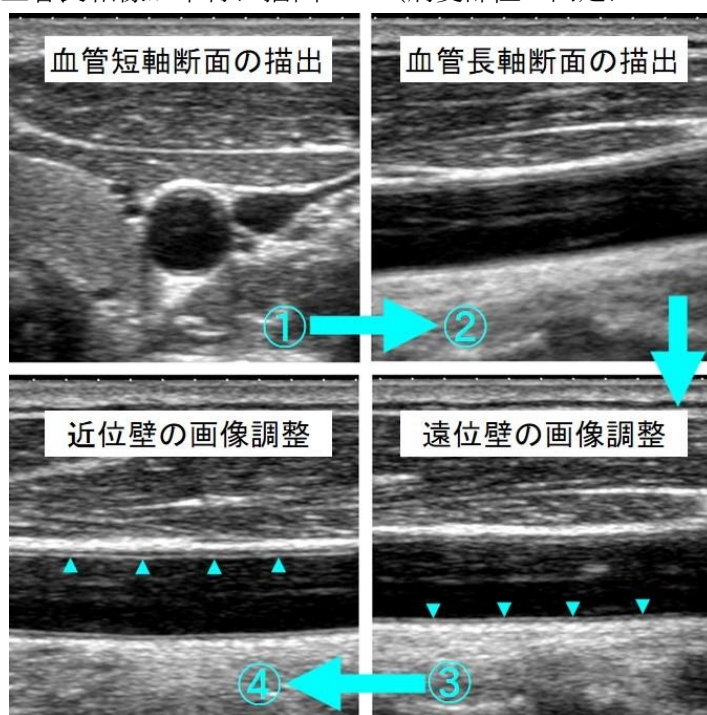


Fig.20 血管長軸中央断面の描出方法

3) 椎骨動脈の観察 (Fig.21)

①長軸像で総頸動脈から頸動脈洞を描出する。椎骨動脈は総頸動脈の背外側にあるため、外側方向にプローブを水平移動、またはプローブを内側方向に傾ける。

②椎骨横突起を背外側部に描出し、横突起内に入孔する椎骨動脈を観察する。大部分は第6頸椎 (C6) 横突起で入孔するため、観察するときに C6 横突起を確認するといよい。

③椎骨動脈の表在側に椎骨静脈が伴走しているため、

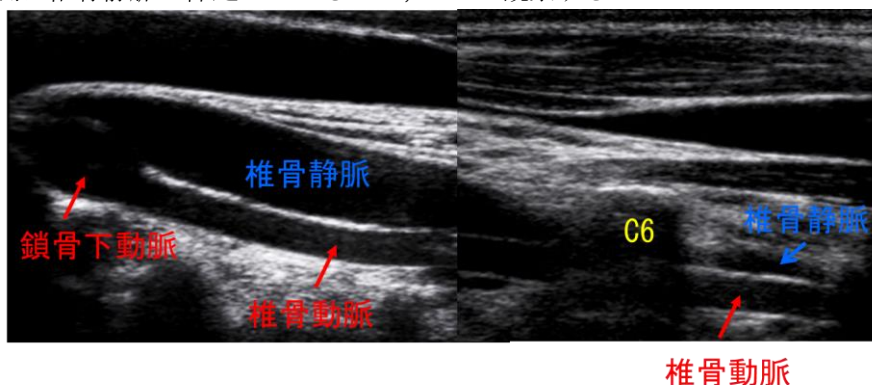


Fig.21 椎骨動脈の観察 (長軸画像合成写真：右が頭側)

5.4 アーチファクトの軽減

1) サイドローブ

頸部が多種の組織によって複雑に構成されていることが原因で、血管周囲の組織間の境界面で生じる高輝度の反射体がサイドローブによるアーチファクトを発生させる。これらを軽減または除去するには、血管周囲の高輝度の組織を避けるようにアプローチ

方向を変更する (Fig. 22a)。また、プローブによる圧迫操作で、血管と周囲組織の位置関係を変えることも有効である。さらに、短軸像でのサイドローブは、必要に応じて、サイドローブの影響を受けにくい血管長軸断面にアプローチを変更して観察することも重要である (Fig. 22b)。

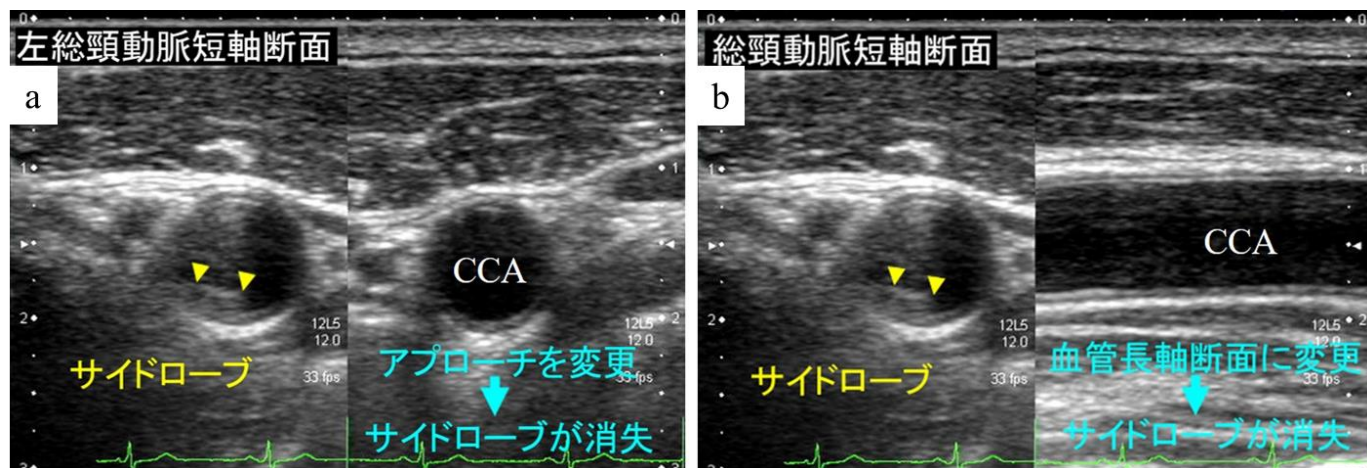


Fig.22 サイドローブの軽減走査 (a：アプローチ方向の変更) (b：長軸アプローチに変更)

2) 多重反射

頸部血管は、浅部を走行するため多重反射の影響を受けやすい。また、多重反射はサイドローブと異なり、短軸断面でも長軸断面でも同様に影響を受ける。さらに、頸部血管は頸筋群が表在側に位置するため、皮下組織に加え筋層での多重反射も影響を受ける。

対策としては、皮下組織や頸筋群の層構造に対し

て斜め方向からビームを入射し、皮下組織層や筋層間の反射を軽減させる (Fig.23)。また、アプローチを変更 (例えば、内頸静脈を入射窓とするなど) したり、プローブによる圧迫を緩めたりすることで、多重反射の影響が減少する深部に観察血管を描出することも有効である。

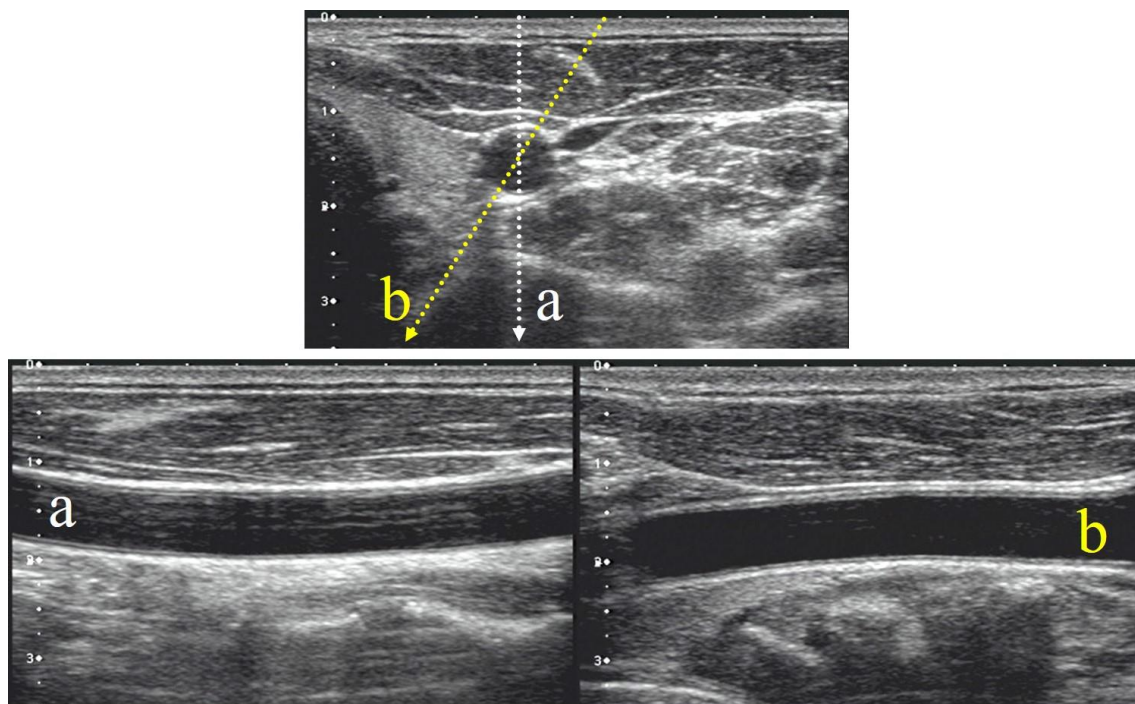


Fig.23 長軸断面アプローチの変更による多重反射の軽減（方向 b で多重反射は軽減）

6. 頸動脈ドプラ血流法

- ◆ 頸動脈狭窄のドプラ評価は有用な指標とされ、断層法による狭窄率よりも信頼性が高いとされている。
- ◆ 血管走行（血流方向）とドプラビームがなす角度（ドプラ入射角）が小さくなるようにプローブを操作する。
- ◆ 良好なドプラ入射角を得るためにカラードプラ表示の傾斜（スラントまたはオブリーク）機能を利用する。
- ◆ サンプルボリュームの設定は、①スクリーニング検査では血管内径の 1/2 以上、②狭窄病変部などでは、内径と同等または内径以上、③血流量を推定する場合は内径とほぼ同程度に設定する。
- ◆ 経過観察を必要とする場合は、前回と同程度のドプラ入射角で記録することを推奨する。

6.1 カラードプラ法の検査手技

1) 血管長軸断面でのアプローチ

血管長軸断面で、良好なカラードプラ血流像を得るにはドプラ入射角度が問題となる。アプローチの基本は断層法とは反対に、血管走行（血流方向）とドプラビームがなす角度（ドプラ入射角）が小さくなるようにプローブを操作する。

プローブの操作方法は、血管長軸断面の走行深度が表在に近いプローブ端を圧迫し、反対に体表面から遠いプローブ端の圧迫を緩めることで、血管長軸像を体表面に対して傾斜させて描出し、ドプラ入射角補正を最小限に設定し、画面の中央付近で計測する（Fig.24）。



末梢側を圧迫

体表に平行

中枢側を圧迫

Fig.24 ドプラ検査時の血管長軸アプローチ操作

2)血管短軸断面でのアプローチ

頸動脈短軸断面のカラー Doppler 血流の観察は、断層像での病変部検索の際に良好な画像が得られない場合や、病変部とアーチファクトとの鑑別が困難な場合、頸動脈解離での真腔と偽腔の鑑別などに用いられる。

短軸操作は、少しプローブを傾斜させ、Doppler 入射角を維持しながら Doppler 感度を優先しアプローチする

(Fig.25). その際、カラー Doppler 血流像は断層像に比べフレームレートが低下するので、プローブ走査をゆっくりと行うことが重要で、プラークの表面など、病変部の詳細な観察を行う場合は、プローブを固定して、血管拍動による血流変化を確認しながら多方向からアプローチして詳細に観察する。

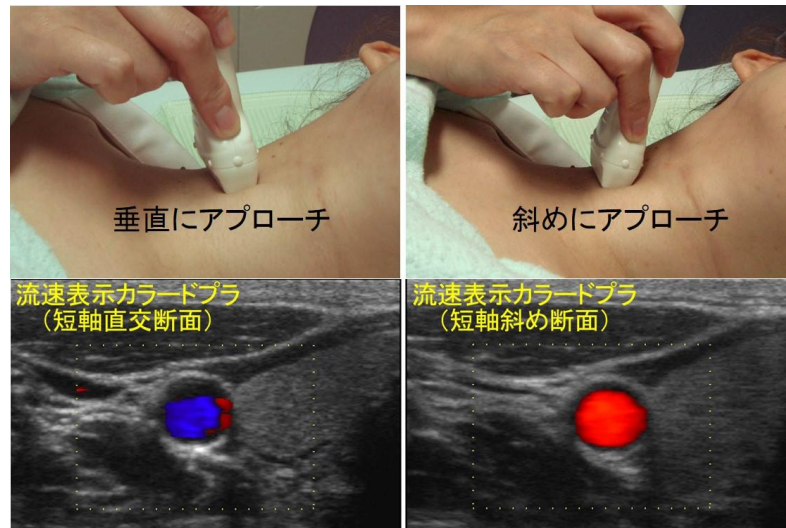


Fig.25 ドプラ検査時の血管短軸アプローチ操作

3)カラー Doppler 表示の調節

体表面と平行に走行する頸動脈は、より良好な Doppler 入射角を得るためにカラー Doppler 表示の傾斜 (スラント または オブリーク) 機能を利用する。装置やプローブの種類によってカラー Doppler 表示の最大傾斜角度は異なるが、一般には多段階に調整が可能である。ただし、その傾斜方向を誤ると、入射角補正が逆に大きくなり、Doppler 感度が大幅に低下する。また、このカラー Doppler 表示の傾斜機能は、傾斜角度が大きくなるに連れて血管ま

での距離が遠く、Doppler ビームの送受信面積が狭くなり Doppler 感度が低下する (Fig.26). さらに、その幅を広くするとフレームレートも低下する。したがって、カラー Doppler 表示の使用にあたっては、段階的に傾斜角度を変更させ、カラー Doppler 血流像が良好に得られる角度に設定し、かつ必要最小限の表示幅とすることが基本となる。また、血管短軸断面での血流観察の際は、その傾斜機能を用いないことを原則とする。

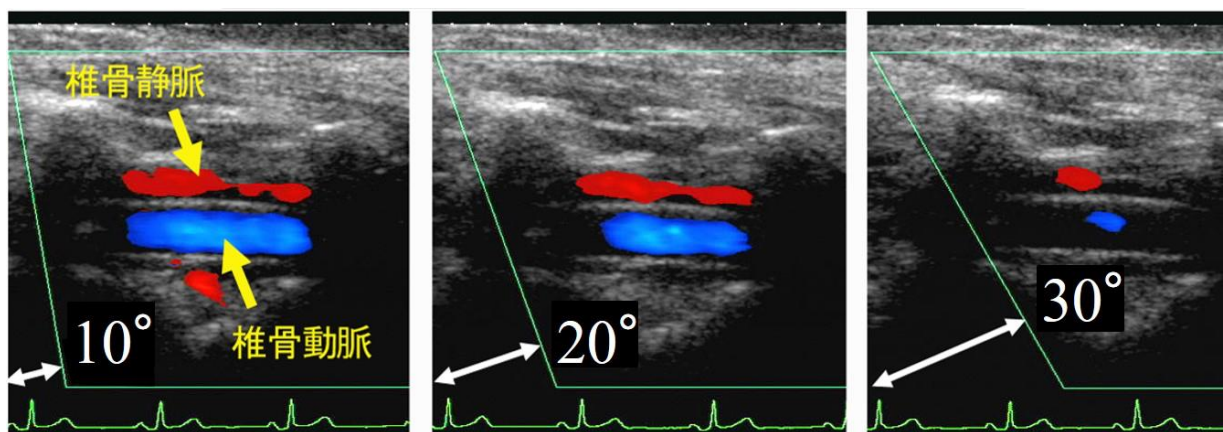


Fig.26 color ROI の傾斜に伴う Doppler 血流感度の変化(画面右が頭側)

4)最大流速表示範囲の設定

カラー Doppler 法の最大流速表示範囲は、対象血管の最高血流速度と Doppler 入射角補正を考慮して設定する。ド

プラ入射角補正が $45 \sim 60^\circ$ の場合は、総頸動脈および内頸動脈血流は 30 cm/s 前後、また、椎骨動脈血流は 20 cm/s 前後での設定を推奨する。

6.2 パルスドプラ法の検査手技

1)プローブの選択

一般に、頸動脈のパルスドプラ波形の記録は、断層像による形態診断で用いられている高周波リニアプローブが使用されているが、深部を走行する内頸動脈末梢や椎骨動脈の血流記録には、良好な血流波形が得られない

場合がある。その際は、3～5 MHz 前後とやや周波数が低く、プローブ操作が容易でより良好なドプラ入射角が確保できるコンベックス型（マイクロコンベックス型）やセクタ型のプローブが有効である（Fig.27）。

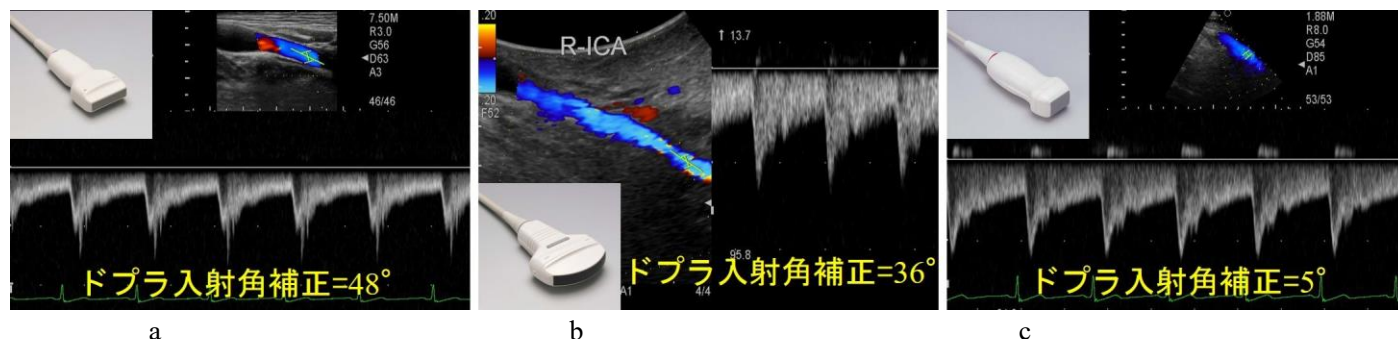


Fig.27 リニア型 (a)、コンベックス型 (b)、セクタ型 (c) プローブによる内頸動脈血流アプローチ(画面右が頭側)
コンベックス型やセクタ型の方が、角度補正が少なく末梢まで描出可能

2)アプローチ方法 (Fig.28)

断層像で血管長軸中央断面を描出し、カラードプラ血流記録と同様に、プローブ操作で体表面に対して血管長軸断面を可能な限り傾斜させて描出する。さらに、color ROI の傾斜機能を用いてドプラ入射角補正を最小限に調整してカラードプラ血流を表示する。次に、パルスドプラ法のサンプルボリュームを血管中央に血管径の 1/2

以上で設定し、血流方向に対してドプラ入射角度を平行に補正しパルスドプラ血流波形を表示する。最後に、血流波形をリアルタイムで観察しながら、できるだけ画面の中央部位に関心領域を設定し、流速レンジ、ゼロシフト、フィルターなどを最適な条件に調整し、パルスドプラ血流波形の静止画を記録する。

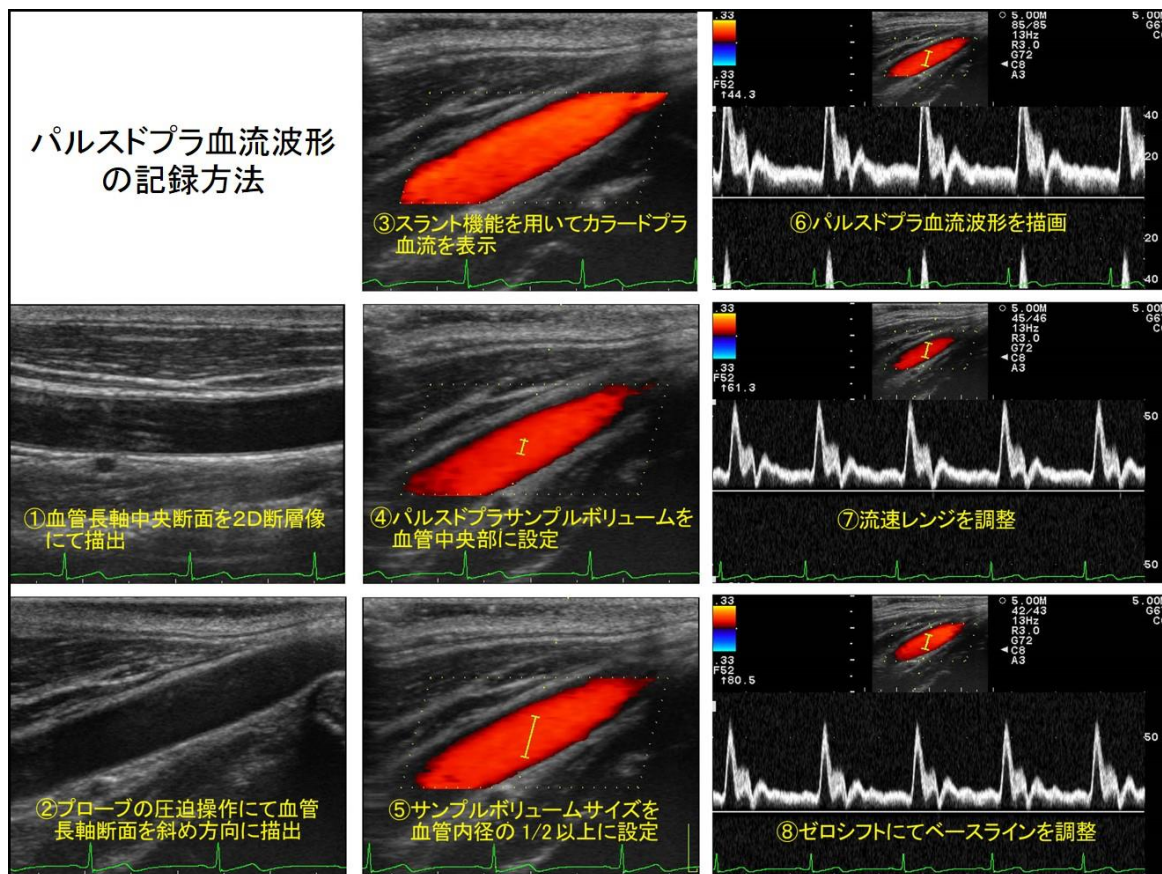


Fig.28 パルスドプラ法での総頸動脈血流波形記録のアプローチ方法

3) サンプルボリュームの設定 (Fig.29a-d)

血管領域におけるサンプルボリュームの設定は、血流波形記録の目的に応じて、大きく3つに分かれる。

第1は、スクリーニング検査で血流波形の左右差などを評価する場合で、サンプルボリュームのサイズは、血管内径の1/2以上で血管壁に接触しない範囲で大きく設定する (Fig.29a)。

第2に、狭窄病変部の収縮期最大血流速度を求める場

合では、最大血流部位に確実にサンプルボリュームが設定できるように、血管径と同等かそれ以上に大きく設定し、最大血流が確実に検出できるように調整する (Fig.29d)。

第3に、血流量を推定する場合には、血管内径とほぼ同程度にサンプルボリュームのサイズに設定する (Fig.29b)。

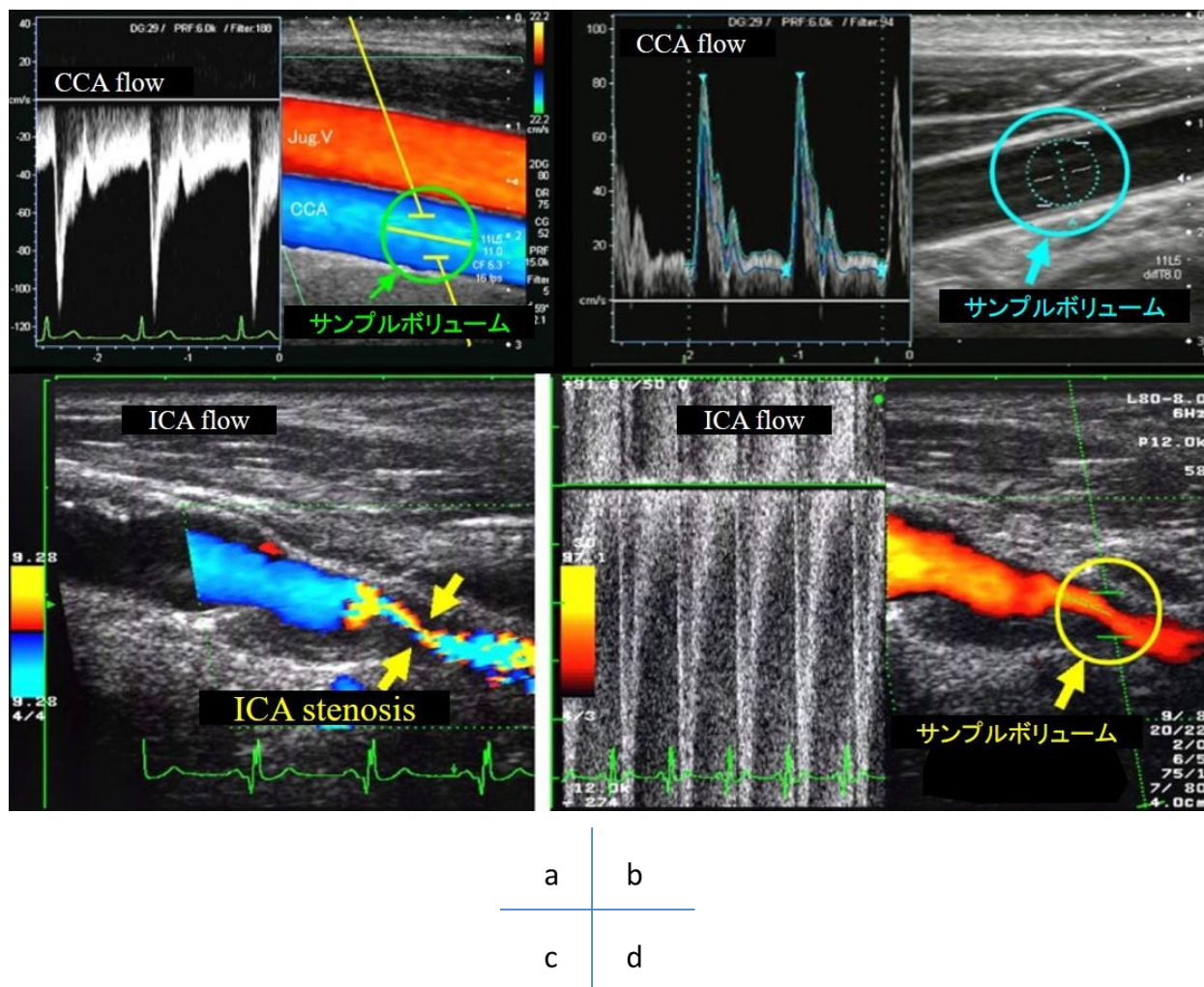


Fig.29 検査目的別のサンプルボリュームの設定

4) ドプラ入射角補正

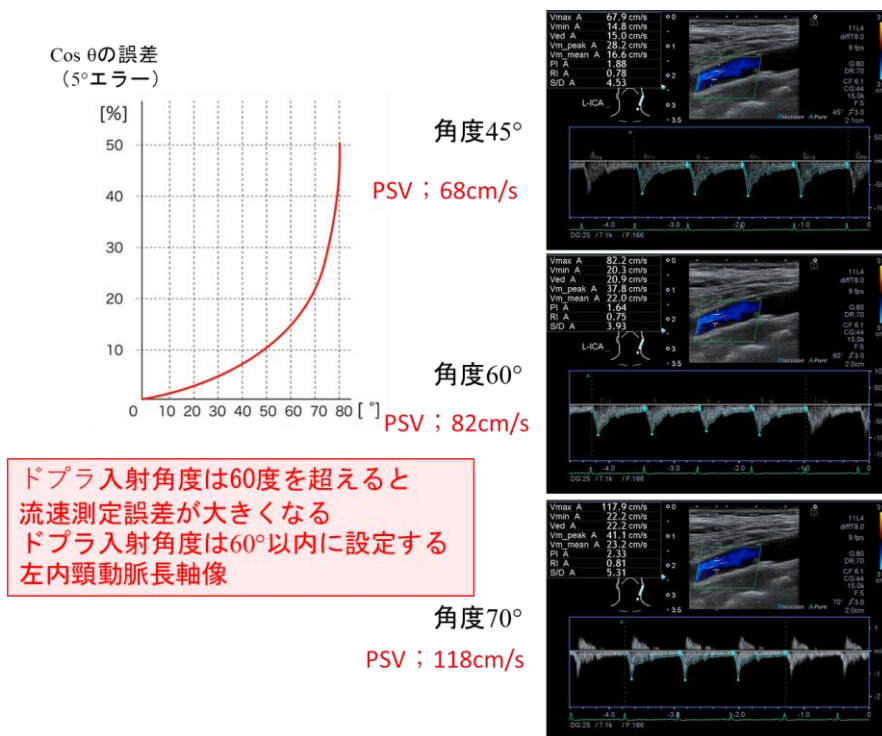
パルスドプラ法では、D/S 比 (EDV と PSV の比) や PI など血流速度比を用いて評価する場合を除き、血流速度の絶対値を求める場合は「ドプラ入射角補正」が必要である。

ドプラ入射角は、補正值が大きくなると測定値の誤差が大きくなる。特に、ドプラ入射角補正が 60° を超えると急激に誤差率が大きくなり計測値の信頼性が低下する (Fig.30)。そのため、血流速度による評価は、ドプ

ラ入射角補正が“ 60° 以内”を条件として、可能な範囲で小さい値に設定できるアプローチが望まれる。

また、計測値の左右差を比較する場合は、可能な限り左右で同一のドプラ入射角で記録し、左右で出来るだけ等しい心拍数で記録するように心がける。

さらに経過観察を行う場合には、 60° 以下の前回と同程度のドプラ入射角で記録すること (あらかじめ同一ドプラ入射角を指定しても良い) が推奨される。



6.3 ドプラ血流の記録部位

1) 総頸動脈

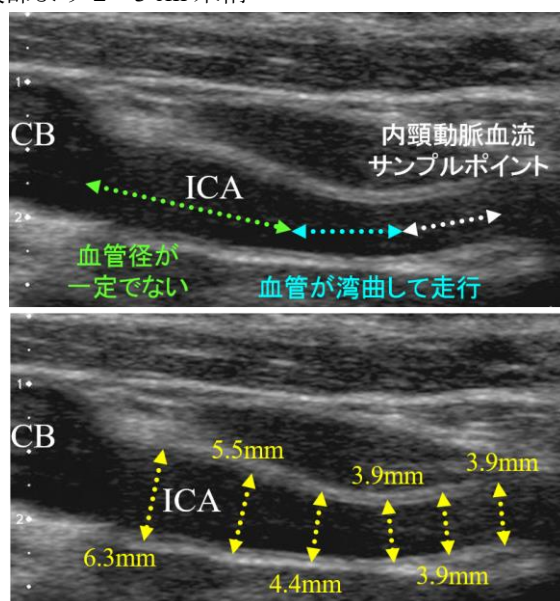
総頸動脈は、分枝血管が存在せず、血流波形の記録部位は任意に設定が可能である。ただし、起始部付近は乱流を伴い、また、中央部の弓状に走行する部位ではドプラ入射角補正に伴う計測誤差が生じるので、中央部より末梢側で、より良好なドプラ入射角度が得られる部位をサンプルポイントとする。

2) 内頸動脈

内頸動脈起始部は、頸動脈洞から連続した瘤状形態が徐々に細くなり、外頸動脈との分岐部より 2～3 cm 末梢

側から一定の血管径となる。内頸動脈は総頸動脈と同様に頭蓋外では分枝血管を持たないが、健常者でも起始部付近と頭蓋内入行部付近で軽度の蛇行を示す。特に高齢者では、起始部側で内側後方に急激に弯曲走行する症例があるので注意が必要である。

内頸動脈血流波形のサンプルポイントは、分岐直後で瘤状の拡張を示す領域と蛇行部を除外して、長軸断層像が広範囲に直線上に描出され、ドプラ入射角補正が最小となる領域で、かつ可及的遠位側を選択する (Fig.31)。



3)外頸動脈

外頸動脈は、総頸動脈からの分岐直後より数 cm の範囲で、上甲状腺動脈、舌動脈、上行咽頭動脈、顔面動脈、後頭動脈など複数の血管が分枝するが、分枝の部位や走行が様々で血流の記録部位を固定するのは困難である。一般に外頸動脈は、分岐部および分岐直後を除き、血管長軸断層像が直線上に描出されドプラ入射角補正が最小となる領域で、かつ可及的遠位側を選択する。

4)椎骨動脈

椎骨動脈は、多くの症例で第 6 (C6) から第 1 頸椎

(C1) の横突孔を走行するため、椎骨横突孔間の走行で椎骨動脈を同定することができる。ただし、断層像でのアプローチでは並走する椎骨静脈 (2 本の椎骨静脈が並走する場合がある) と鑑別が必要であり、カラードプラ法を併用して血流方向を確認してパルスドプラサンプルボリュームを設定することを推奨する。サンプルポイントは、起始部や末梢の蛇行領域を除き、どの部位でも記録可能であるが、一般には第 3 から第 6 頸椎間でドプラ入射角の良好な部位を選択する (Fig.32)。

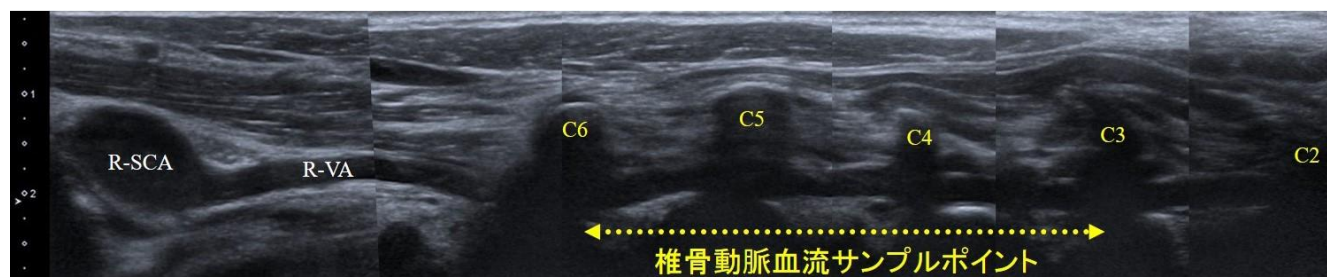


Fig.32 椎骨動脈(VA)血流波形のサンプルポイント (長軸画像合成写真、SCA：鎖骨下動脈、右側が頭側)

6.4 ドプラ血流波形の計測と評価

1)ドプラ血流波形の計測項目

頸動脈狭窄の評価に有用な指標とされ、断層法による狭窄率よりも信頼性が高いとされている。

スクリーニング検査における頸動脈の血流波形の記録は、総頸動脈 (または内頸動脈) および椎骨動脈で行うことを推奨する。また、狭窄病変では、最大狭窄部を必須とし、必要に応じて狭窄の前後、および対側血管の狭窄部と同一部位で記録し、狭窄前後および左右差を比較する。

スクリーニング検査における必須の計測項目は、収縮

期最大血流速度 (peak systolic velocity: PSV)、拡張末期血流速度 (end-diastolic velocity: EDV) とする。期外収縮などの不整脈は不整脈および前後の心拍を除外して計測する。また、心房細動の症例は連続 3 心拍以上の平均値を求め、計測値は参考値とする (Fig.33)。また必要に応じて、収縮期加速時間 (acceleration time: AcT)、抵抗係数 (resistance index: RI)、平均血流速度 (Vmean)、拍動係数 (pulsatility index: PI)、および拡張末期血流速度 (EDV) を用いた ED ratioなどを求める。

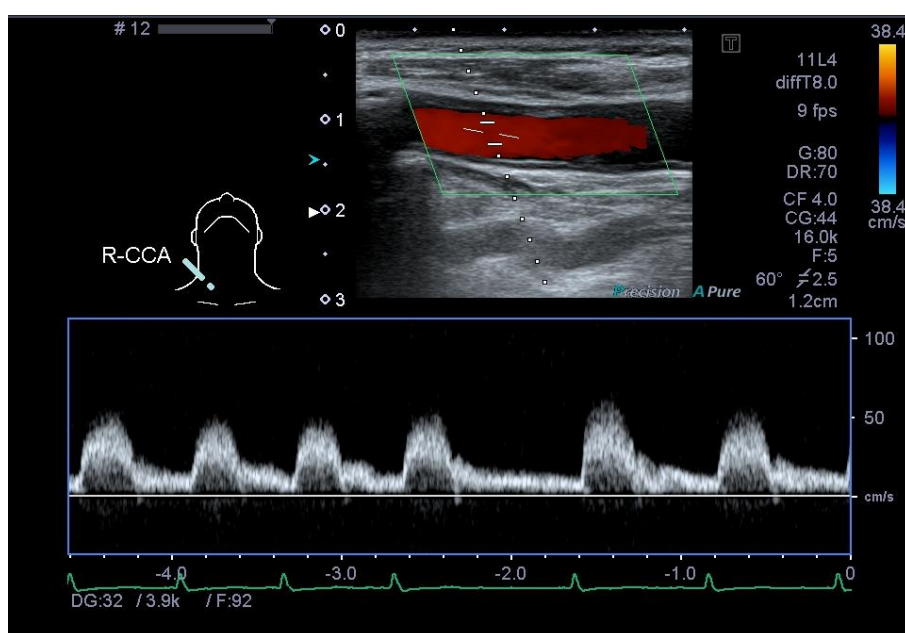


Fig.33 心房細動症例の血流波形の計測

2)収縮期最大血流速度 (peak systolic velocity : PSV)

心収縮期における最大流速 (Fig.34) で、成人健常者では若年者で高く、高齢者で低い傾向がある。総頸動脈が 40～100 cm/s、内頸動脈が 40～80 cm/s、椎骨動脈が

40～70 cm/s 前後が基準範囲とされている¹⁻³⁾。また血管径が左右で異なる場合は、健常者でも PSV の左右差を認める。ただし、総頸動脈や内頸動脈は起始部や蛇行部を除き、1.3 倍以上の左右差には注意する⁴⁾。

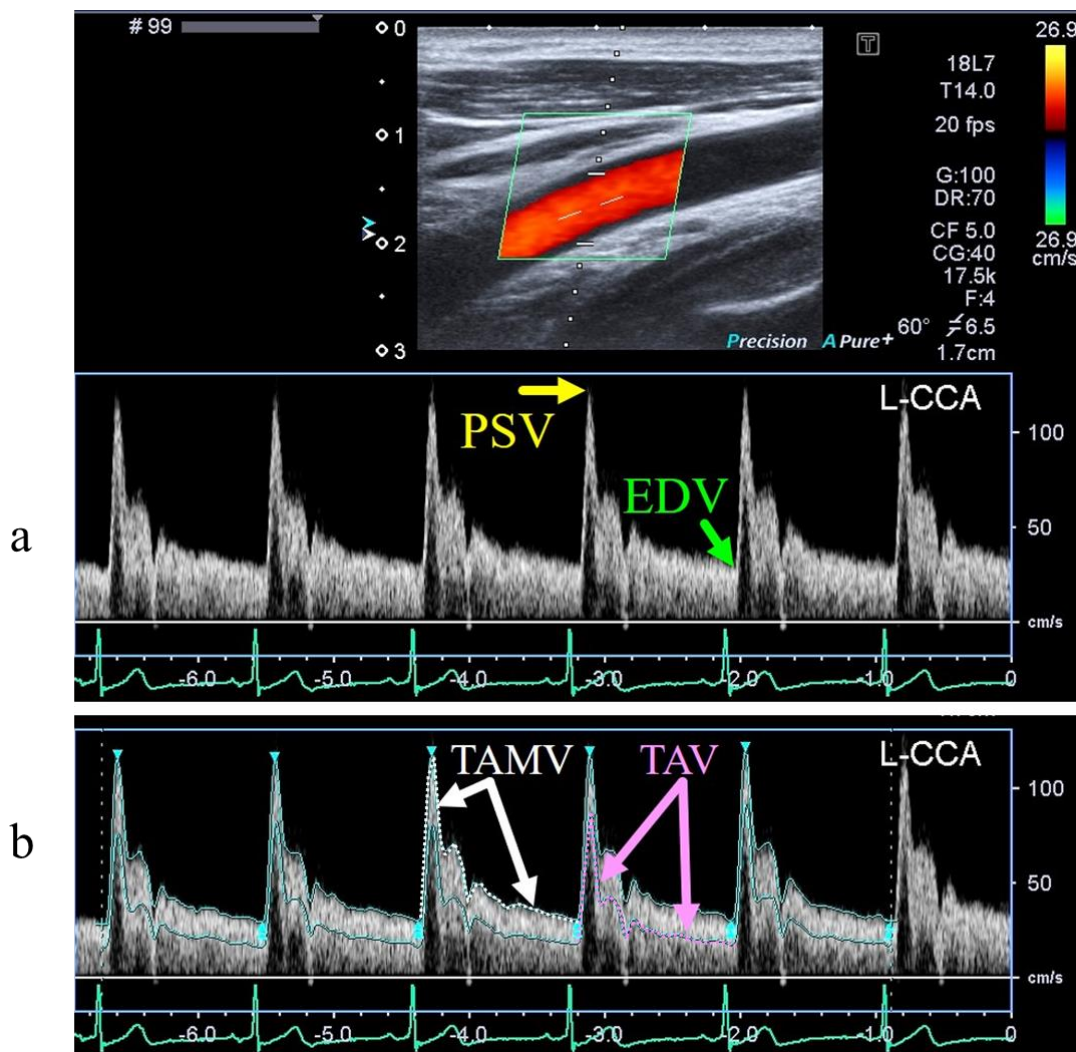


Fig.34 総頸動脈の PSV と EDV の計測 (a), 総頸動脈の平均血流速度 (b)

3)拡張末期血流速度 (end-diastolic velocity : EDV)

心拡張末期、または心収縮期の駆出血流の加速開始点の流速で、成人健常者では、総頸動脈が 5～30 cm/s 前後、内頸動脈が 20～40 cm/s、椎骨動脈が 6～40 cm/s が基準範囲とされている¹⁻³⁾。また、装置に内蔵された自動計測では、収縮期から拡張期に移行する切痕での血流速度を EDV と誤って計測されることがあるので注意する。

4)平均血流速度 (V mean) (Fig.34)

平均血流速度の求め方には、各時相の最大流速を時間平均して求めた値と、各時相の平均流速を時間平均して求めた値の 2 通りがある。前者は、時間平均最大血流速度 (time-averaged maximum flow velocity : TAMV) と言われ、マニュアルトレースで求めることが可能で、臨床的にも平均血流速度 (V mean) として扱われている。後

者は、時間平均血流速度 (time-averaged flow velocity : TAV) と言われ、計測には装置に内蔵された自動トレース機能が必要で、血管内の速度分布を考慮された流速である。

5)拍動係数 (pulsatility index : PI)

収縮期最大血流速度 (PSV) と拡張末期血流速度 (EDV) の差を時間平均最大血流速度 (TAMV) で除した値が拍動係数 (PI) で、末梢血管抵抗の増大により高値となる。

PI は抵抗係数 (RI) に比べ、全時相の速度情報を含むため両方向性の血流波形においても評価が可能である。ただし、RI と同様に、心拍の影響や中枢側の血流状態の影響 (例えば大動脈弁閉鎖不全では高値を示す) を受けるため、評価は慎重を要する。

6)抵抗係数 (resistance index : RI)

収縮期最大血流速度 (PSV) と拡張末期血流速度 (EDV)

の差を収縮期最大速度 (PSV) で除した値で, PI と同様に高値は末梢血管抵抗の増大を疑う. ただし, RI は拡張期末期血流が記録されない場合は値が「1」となるので, 心周期の全時相を通じて一方向の血流波形の解析に用いられる. また, PI と同様に, 血流速度の比を用いた評価であるため, ドプラ入射角の影響を受けない.

7) 総頸動脈 ED ratio

左右の総頸動脈の同一部位で拡張末期血流速度 (EDV)

を計測し, 流速の速い側の値を流速の遅い側の値で除して求める. そのため, 総頸動脈の ED ratio は 1 以上の値を示す. また, CCA の ED ratio を求めるには正確なドプラ入射角補正が必要で, 左右のドプラ入射角を同じ角度で計測することを推奨する. また, 左右計測時の心拍数は一定にする. 総頸動脈 ED ratio は, 脳梗塞「急性期」での臨床的意義が高い⁴⁾.

7. 計測および評価

7.1 IMT の評価指標

1) max IMT の計測と評価

左右の総頸動脈 (CCA), 頸動脈洞 (CB), および内頸動脈 (ICA) の近位壁, 遠位壁および両側壁の観察可能な領域における最大の内中膜厚を, それぞれ総頸動脈は IMT-Cmax, 頸動脈洞は IMT-Bmax, 内頸動脈は IMT-Imax とし, 全領域の最大のものを max IMT として代表値とする. 左右別に検討する場合は, rt-max IMT, lt-max IMT と表記して構わない. max IMT に関しては, 研究により定義が異なる場合があり, 比較する場合には注意が必要

である.

IMT 計測の最小単位は 0.1 mm, 計測誤差を最小限にするため画像サイズを最大深度 3 cm 以内とし, 必要に応じてズーム機能を用いて計測する. また, IMT の計測画像は, 血管に直交する短軸断面あるいは最大血管径として描出される血管中央の長軸断面を用いる (Fig.35). 血管に直交とならない短軸断面や, 最大血管径が描出されない長軸断面での IMT 計測は, 容易に誤差が生じるため適切な断面設定が要求される (Fig.20 参照).

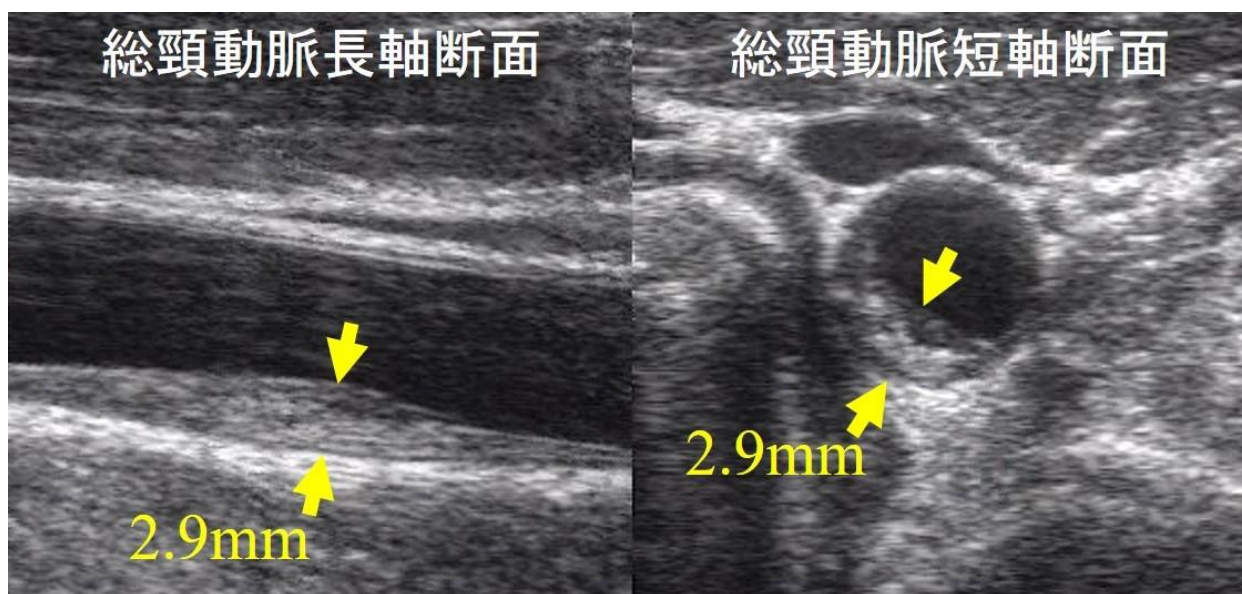


Fig.35 総頸動脈短軸および長軸断面の max IMT の計測

各領域における max IMT が健常者の加齢変化に伴う基準値内で, かつ IMC 表面がスムーズな場合は「加齢変化正常範囲」と評価し, max IMT が基準値を超えた場合は「IMC の肥厚」と診断する.

2) mean IMT の計測と評価

mean IMT の計測方法として複数の方法が用いられているが, 健常者の総頸動脈 mean IMT の基準値は年齢, 性別によって異なり, さらに, 総頸動脈の中でもプラークを含むか否か, トレース法か, 数点のマニュアル計測

かによって基準値が異なるため, 判定に用いる場合にはこれらの条件ができる限り一致していることを確認する必要がある.

参考として欧米では, 総頸動脈の遠位端から少なくとも 5 mm 中枢側で, プラーク病変は含まない明瞭な 2 重エコーラインが確認できる遠位壁 (far wall) で, 通常は 10 mm 長の領域で 100 点以上の計測を行う自動トレース法が用いられ欧米での基準値¹⁻³⁾も設定されている.

7.2 IMT の臨床的意義

- ◆ IMT はプラークが出現する以前の早期動脈硬化症の定量的評価として重要である。
- ◆ IMT の経年的増厚はイベント増加と関連していると考えられる。
- ◆ 薬物治療や生活習慣の改善により IMC 肥厚の進展を抑制したという報告があるが、それがイベントの抑制と関連しているかは、未だ意見の一致をみていない。
- ◆ IMT 経年変化はあくまでも大規模研究で使用された指標であり、個人に対する治療効果の判定には用いるべきではない。

1)IMT の臨床報告 (Fig.36)

IMT は人種差があり、日本人は欧米人に比較すると IMT 値が小さく、主要な危険因子で補正してもなおその差は有意である⁴⁾。40-49 歳の韓国人男性と日本人男性の IMT の比較でも同様に、日本人の IMT 値は有意に小さく、危険因子で補正後も差が認められた⁵⁾。従って今後は国際的基準で計測した日本人の基準値の検討が望まれている。

プラーク病変の存在は、疾病予測において IMT の役割よりも強い意義を有するが、プラークのない症例では IMT 異常高値はプラーク出現の基礎病態となり⁶⁾、IMT の肥厚している群では将来の動脈硬化性疾患の発症が有意に多い⁷⁾。わが国の剖検による検討でも頸動脈 IMT の肥厚は他の血管床の動脈硬化進行度や不安定病変の存在と関連していた⁸⁾。従って IMT はプラークが出現する以前の早期動脈硬化症の定量的評価として重要である。

IMT は動脈硬化危険因子と関連している。中でも年齢は重要な IMT の規定因子である⁹⁾。生活習慣病との関

連については、糖尿病、脂質異常症、高血圧、喫煙、年齢は IMC の肥厚に対してそれぞれが独立した危険因子であり、生活習慣病があると IMC に肥厚が生じる¹⁰⁾。たとえば糖尿病と関連して IMC は肥厚し、高コレステロール血症が促進因子、HDL コレステロールが抑制因子との報告などがある¹¹⁾。日本人を対象とする 1000 例以上の IMT を用いた研究では、メタボリックシンドローム¹²⁾、歯周病¹³⁾、慢性腎臓病¹⁴⁾、糖代謝に関連する遺伝子多型¹⁵⁾、高血圧症例における遺伝子多型^{16,17)}、喫煙と身体活動量¹⁸⁾、メタボリックシンドロームと尿酸¹⁹⁾、睡眠時間²⁰⁾、閉塞性動脈硬化症²¹⁾との関連が報告されている。

IMT は動脈硬化危険因子と関連するが、主要危険因子とは独立して動脈硬化性疾患の発症と関連する。我が国の予後を主要評価項目とする大規模前向き追跡研究では max IMT は、脳卒中の発症と関連することが示されている²²⁾。

2)IMT の経年変化

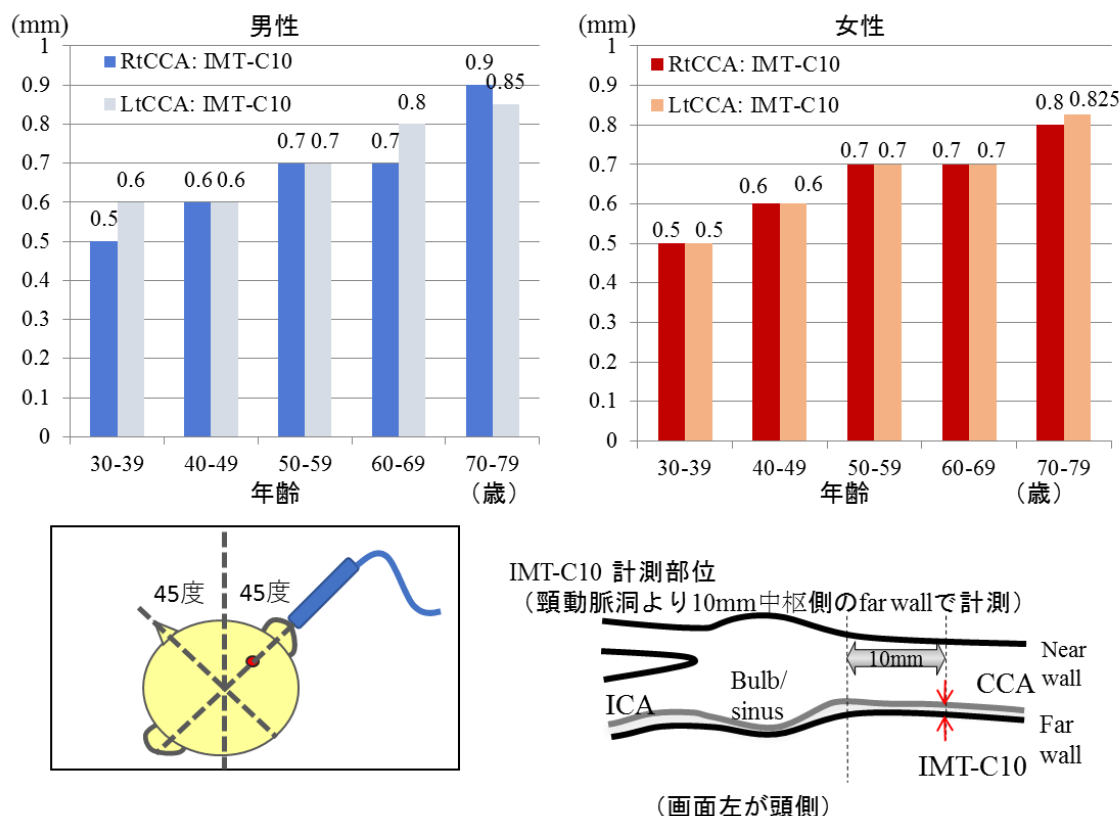
経年変化は主に臨床研究において、疾病発症や予後の代替エンドポイントとして用いられる。この為には、研究デザイン、統計学的根拠に基づいた症例数設定、中央解析センターによる画像解析、質の高い技術と精度管理の環境下で行う必要がある。経年変化を精度よく観察する為には、超音波診断装置の設定の統一、心電図同期（左室拡張末期）、超音波入射角度の統一、総頸動脈の遠位端、遠位壁の自動トレース法による IMT 計測が重要である。自動トレース法では ROI 内の mean IMT や IMC の面積を算出することも可能で、変動について感度良く計測でき、将来的な有用性が期待できる。

IMT の増大は健常成人では 0.009 mm/年程度であり、年代別基準値も報告されている (Fig.37)⁹⁾。動脈硬化危険因子の累積は IMT 経年変化の増大と関連する²³⁾。さらに IMT の経年変化を 4 群でわけた最大進展群は最小進展群に対して有意に動脈硬化性疾患の発症が多い^{24,25)}。すなわち、IMT の経年的増厚はイベント増加と関

連していると考えられる。

さらに我が国においても、降圧薬²⁶⁾や脂質改善薬^{27,28)}、糖尿病治療薬^{29,30)}などの薬物治療や生活習慣の改善³¹⁾により IMC 肥厚の進展を抑制したという報告も多くみられる。一方、治療による IMT 進展抑制、あるいは退縮がイベントの抑制と関連しているかは、これまでのところ、肯定的³²⁻³⁴⁾、あるいは否定的な両者の解析結果³⁵⁾が報告され、未だ意見の一致をみていない。今後の課題は、進展抑制が心血管イベント抑制と関連するか否かの検討である。前述の評価法が多様な検討結果の総和、評価部位の同定法が曖昧な報告であることから、厳密な評価法での更なる検討結果が待たれる。

現時点では、IMT 経年変化はあくまでも大規模研究で使用された指標であり、個人に対する治療効果の判定には用いるべきではないことを理解した上で検査を依頼する必要がある。



IMT-C10 として総頸動脈と頸動脈洞の移行部より中枢側 10 mm の遠位壁における IMT を計測した。

本データは公益財団法人 筑波メディカルセンターつくば総合健診センターを健診受診した健常者 1,708 例を対象とした。CCA 長軸断面は、検査対側に顔を 45 度傾けた体位で、約 45 度の入射角度を中心に、最も鮮明な画像がとれるよう微調整を行い撮像した。左右各 1 断面から計測した。限局性隆起病変が計測部位にあった場合も、これを含んで規定の部位で計測した。

健常者は下記に示す全ての条件を満たす場合とした。

喫煙歴無し、血圧<140/90 mmHg、HbA1c<6.5%、空腹時血糖<126 mg/dl、LDL<140 mg/dl、TG<200 mg/dl、HDL≥40 mg/dl、AST≤50 U/L、ALT≤50 U/L、γGTP≤100 U/L、尿酸<9.0 mg/dl、クレアチニン：男性<1.3 mg/dl、女性<1.0 mg/dl、メタボリックシンドロームなし（メタボリックシンドロームは厚生労働省 特定健康診査の手引きに従い判定）

既往歴および現病歴で以下の事象がないもの：高血圧、糖尿病、脂質代謝異常、高尿酸血症、甲状腺疾患、膠原病、B 型肝炎、C 型肝炎、睡眠時無呼吸症候群、悪性腫瘍、慢性肝疾患、慢性腎疾患、虚血性心疾患、脳血管疾患（平沼ゆり先生データご提供）

Fig.36 IMT-C10 の基準値(健常者 75 パーセンタイル値)

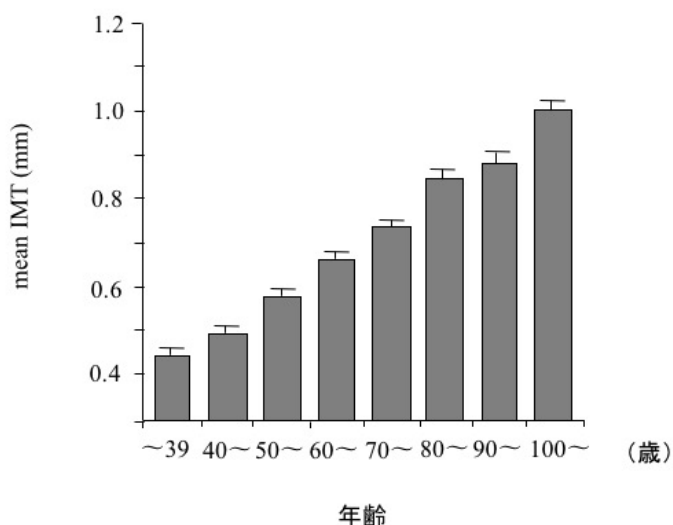


Fig.37 日本人の IMT (文献 9 より)

7.3 プラーク (plaque)

- ◆ 「1.1 mm 以上の限局した隆起性病変」をプラークと総称する
- ◆ 臨床的意義から考慮して、プラーク性状を評価する対象は、「最大厚が 1.5mm を超えるプラーク」とする。
- ◆ 評価は、a)部位、b)サイズ、c)表面の形態、d)内部の性状、e)可動性などで行う。
- ◆ 注意すべきプラークには、1)可動性プラーク、2)低輝度プラーク（特に、薄い線維性被膜で覆われた大きな脂質コアをもつ脆弱な動脈硬化巣を有する例）、3)潰瘍形成を認めるプラークなどがある。

1)プラークの画像記録と観察項目

「1.1mm 以上の限局した隆起性病変」をプラークと総称する（全体がびまん性に肥厚した状態は「びまん性肥厚」として、プラークとは区別する）が、プラークの基本的な画像記録は、可能な限りその最大厚が描出される血管の短軸断面および長軸断面の 2 方向で行う。ただし、プラーク表面や内部の性状などを表現する際の画像記録は、適切な断面を自由に設定してよい。

なおプラーク性状などを評価する対象となるプラークは、欧米での検討¹⁾を基に、「最大厚が 1.5 mm 超のプラーク」として(1.5 mm 以下では評価しなくても良い)、
a)存在部位、b)サイズ：血管長軸方向への進展の範囲や

プラークの面積および占有率、c)表面の形態、d)内部の性状、e)可動性なども必要に応じて評価する。これらは、動脈硬化性病変の評価、治療および経過観察において重要である。

a)存在部位

経過観察を要する症例の結果報告書では、そのプラークの存在部位を図示して、併せて形態および性状の変化も明記する (Fig.38)。その際に、ICA と ECA の分岐方向を指標にして、プラークの分布する部位を記載すると位置情報が理解しやすく、経過観察の際にも標的プラークの確実な位置の同定が可能となる (5.2 脚注を参照)。

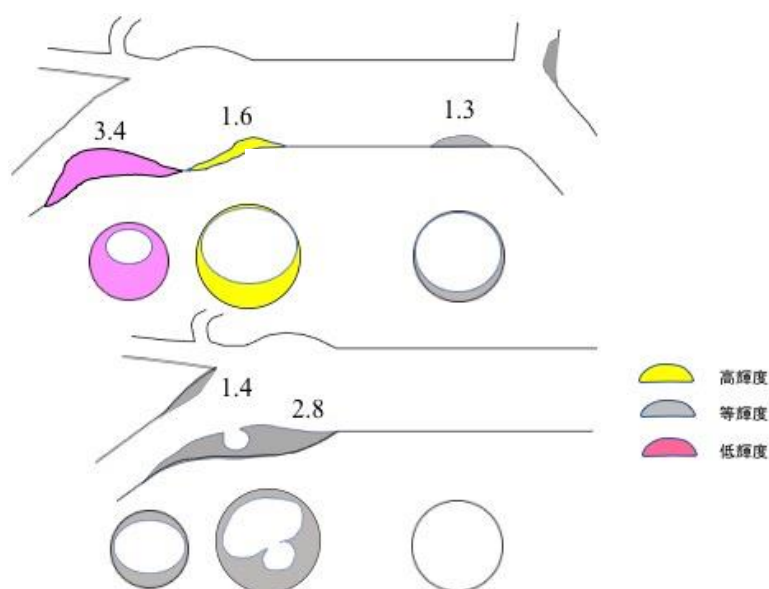


Fig.38 総頸動脈～内頸動脈プラークのシェーマ図(横書き例：画面左が頭側)
(1.5 mm 以下は未評価で可、短軸画面は ECA 側を真上にした表示法で例示)

b)プラークのサイズ

プラークのサイズは、一般にプラーク厚で表現されるが、経過観察においては、血管長軸方向の範囲、長軸断面でのプラークの面積、または、短軸断面でのプラークの占有率などが重要である。

プラーク厚は、IMT の計測と同様に、血管内腔との境界と血管外膜面との境界で、最大の厚みを計測ポイントとする。ただし、計測キャリパーは長軸断面では血管外

膜の垂線上で、また、短軸断面では血管中心部からの放射線上で、共にプラーク頂点と血管外膜面との境界に設定し計測する (Fig.39)。

血行再建術の適応が考慮される場合には、プラーク全体の大きさも重要な要素となるため、プラークの血管長軸方向への全長、内頸動脈と外頸動脈の分岐部を基点としたプラークの広がりについても計測しておくことが重要である (Fig.40)。

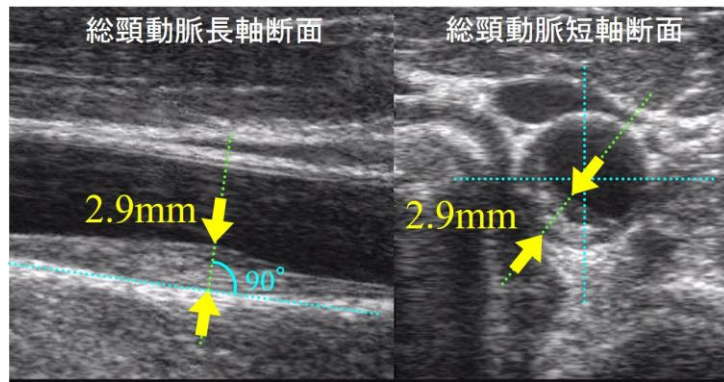


Fig.39 短軸および長軸断面でのプラーク厚の計測ポイント

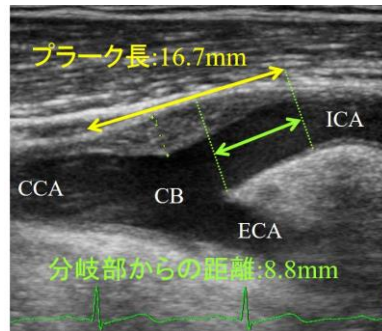


Fig.40 プラーク長と分岐部からプラーク末端までの距離の計測（画面右が頭側）

c) プラーク表面の形態

評価対象となる 1.5 mm 厚を超えたプラークの表面 (surface) の形態を表す用語として、平滑 (smooth : Fig.41a)、不整 (irregular : Fig.41b)、および明らかな陥凹を伴う潰瘍 (ulcer : Fig.41c) 形成などが用いられる。

平滑とは、表面がほぼスムーズなラインとして表現されるもので、隆起の形態は判断基準に含めない。不整

とは、表面に不規則な凹凸を認め、潰瘍形成を伴わないものとする。潰瘍とは、明らかな陥凹の形成を認めるものとする。陥凹の定義は、陥凹のサイズに関係なく、カラードプラ法での観察も含め、血管短軸像および長軸像にて「明らかな陥凹の形成」を確認した場合とするが、複数のプラークの連続形態との鑑別に注意して判断する。

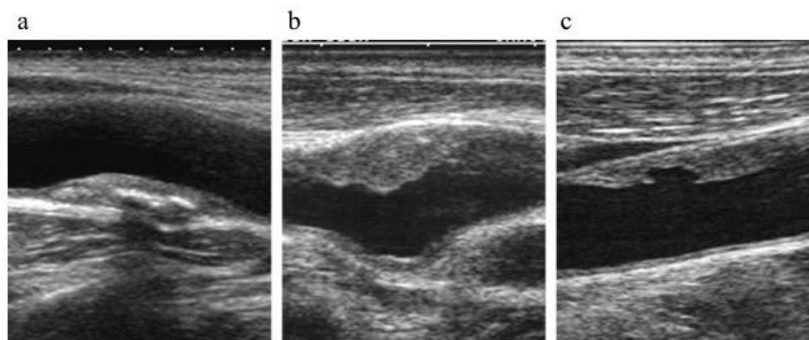


Fig.41 プラーク表面の形態 (a : 平滑, b : 不整, c : 潰瘍)

d) プラークの輝度分類と均質性

プラーク内部のエコー輝度を評価する際に、対象となる構造物は、“プラーク周囲の非病変部の IMC” とし、同一断面像でプラーク内部のエコー輝度と比較して、大きく低輝度、等輝度、高輝度（石灰化）と判定する。ただし、観察深度や記録条件によってエコー輝度が変化するため、可能な限りプラーク病変と同側（近位壁側または遠位壁側）の IMC を対象構造物とする。

は遠位壁側）の IMC を対象構造物とする。

プラーク内部の性状はエコー輝度により 6 つに分類される (Fig.42)。

対象構造物の IMC と比べ低輝度領域を含むものを“低輝度プラーク: low echo, hypoechoic または echolucent plaque” と称し、プラーク全体が低輝度で均質

なものを「低輝度均質型プラーク」、また、プラークの一部が低輝度で不均質なものを「低輝度不均質型プラーク」と分類する。

さらに、対象構造物の IMC と比べ等輝度からやや高輝度なものは“等輝度プラーク: isoechoic, または echogenic plaque”と称し、輝度レベルが均質なものを「等輝度均質型プラーク」、また、輝度レベルが不均質なものを「等輝度不均質型プラーク」とする。

また、高輝度プラーク: high echo または hyperechoic plaque は、対象構造物と比し高輝度且つ音響陰影

(acoustic shadow: AS) を伴うもので、「石灰化病変」であることから“石灰化プラーク: calcified plaque”とも称せられる。

ただし、多方向からのアプローチでも描出が不良で、内部エコーの評価が困難な場合は、無理には分類をせず「内部性状不明」と表記する。さらにプラーク内部エコーの均質性に関しては、画像条件を変えることにより診断が変わる場合もあり、検者の主観に任せるという曖昧さも兼ね備えている。

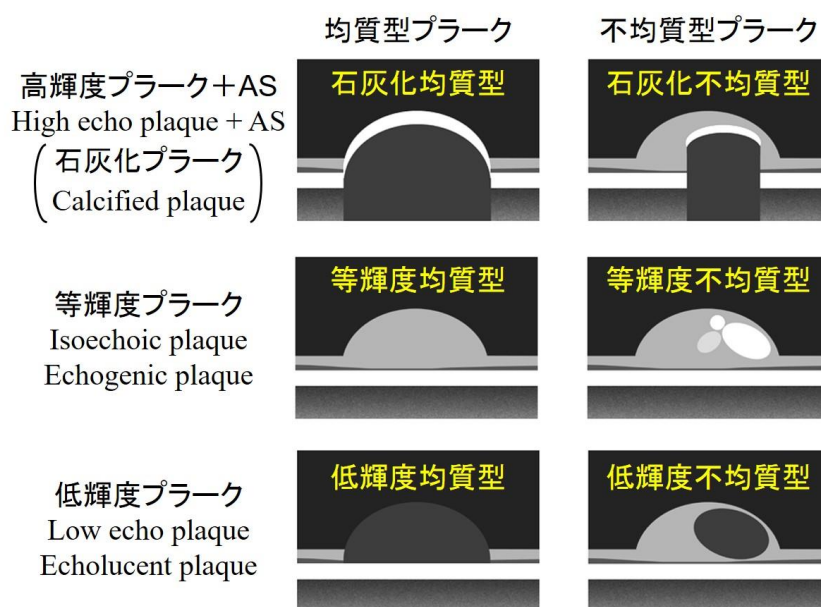


Fig.42 プラークの輝度分類と均質性 (高輝度プラークは AS を持つ石灰化例)

e) プラークの可動性

プラークを詳細に観察すると、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場合がある。これらのプラークを「可動性プラーク」(mobile plaque) と呼ぶ。

可動性プラークは、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 plaque²⁾), 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)³⁾, さらに 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) などに分類される。これらの可動性プラークは、プラークの破綻やプラーク内出血を起こしているとされており、注意すべきプラークである。また、可動性プラークは、短時間の経過観察中にプラークの可動性部分が剥離し、形態変化を示すことがある。可動性プラークを検出した場合は、プラークの剥離をひき起こさないように、プローブでの圧迫操作などに注意して可動性の状態を動画で記録することを推奨する。

2) 注意すべき (要注意) プラークの評価 (Fig.43)

頸動脈超音波検査では、プラークの破綻 (plaque rupture) により、脳塞栓症の塞栓源となる plaque の検出が重要で、これまでの報告では症候を起こす危険性のあるプラークについて種々の報告がある。しかし、現時点でエビデンスがあるとされている報告は、「症候性の高度狭窄性病変」に対して発症後 6 ヶ月以内に血行再建を行うと、内科治療群よりも再発が少ない。」というこ

とのみである。しかもその後の内科治療の進歩により、頸動脈病変を原因とする脳梗塞の発症率は徐々に減少している。また、低輝度プラークについてのデータが最も多いが、輝度のみで治療方針を決めるための根拠となるデータはない。特に、無症候性の頸動脈病変に関しては、安易に“いわゆる不安定プラーク”とされる所見に基づき血行再建の適応を決めるだけのエビデンスがな

いことを理解しておく必要がある。

現状では、塞栓症に注意して経時的な観察を行う必要があるプラークを「注意すべき（要注意）プラーク」と称することにする。それには全ての可動性プラークが含まれ、低輝度プラークで病理学的に薄い線維性被膜（fibrous cap）で覆われた大きな脂質コア（lipid core）をもつ脆弱な動脈硬化巣を有するプラークも含まれる。後者のエコー所見としては、プラーク全体あるいはプラークの一部に低エコー輝度領域を有し、被膜にあたるプラ

ーク内膜側辺縁の高輝度層構造が薄いもので、場合によっては被膜にあたる高輝度層構造が観察されず、低エコー輝度の領域が血管内腔と接する状態で観察される。さらに、プラーク表面の形態で潰瘍形成を認めたプラークも、注意すべきプラークといえる。特に、可動性プラークと、経過観察時に急速な形態変化や病態の進行を認めた場合は、速やかな報告を行うことが勧められる（Fig.44）。

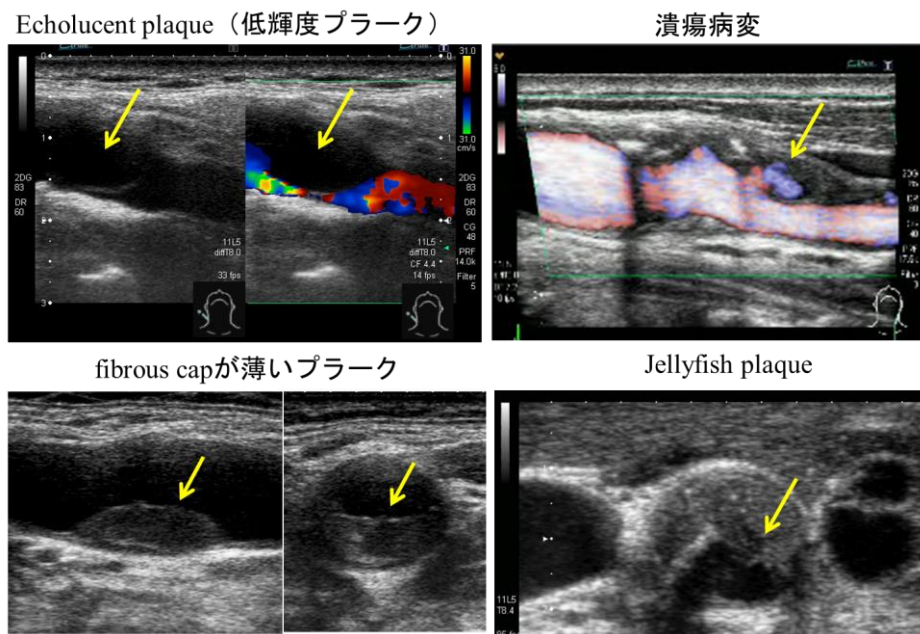
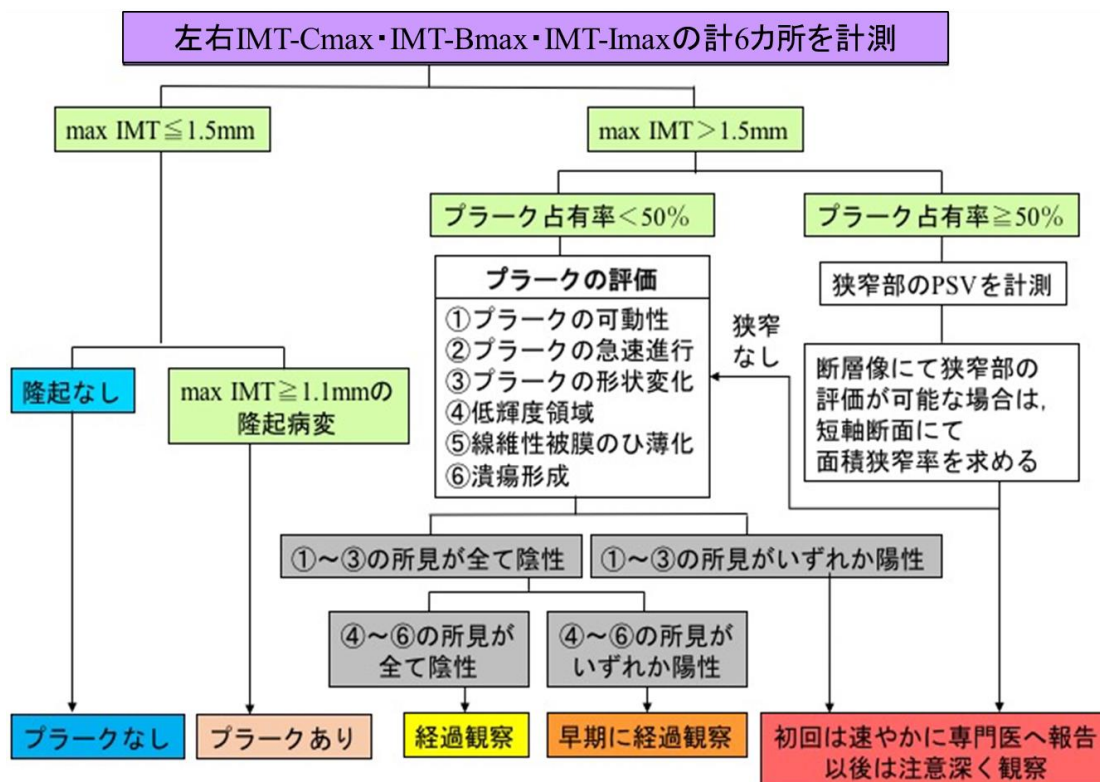


Fig.43 注意すべきプラーク



7.4 動脈径 (arterial diameter)

1)計測部位

総頸動脈は、末梢端 (far wall) での頸動脈洞との境界から 10 mm 中枢側で計測する¹⁾ (Fig.45a). 計測は、Fig.2 の内径 (内膜間距離) または (偽) 外膜間距離を用いる。内頸動脈は、総頸動脈から分岐後は徐々に細くなり径

変化を呈するため、起始部より数 cm 末梢以遠で、血管径の安定した部位で計測する (Fig.45b)。椎骨動脈は、描出が容易な第 3 から第 6 頸椎の椎骨横突起間を計測部位とする (Fig.45c)。

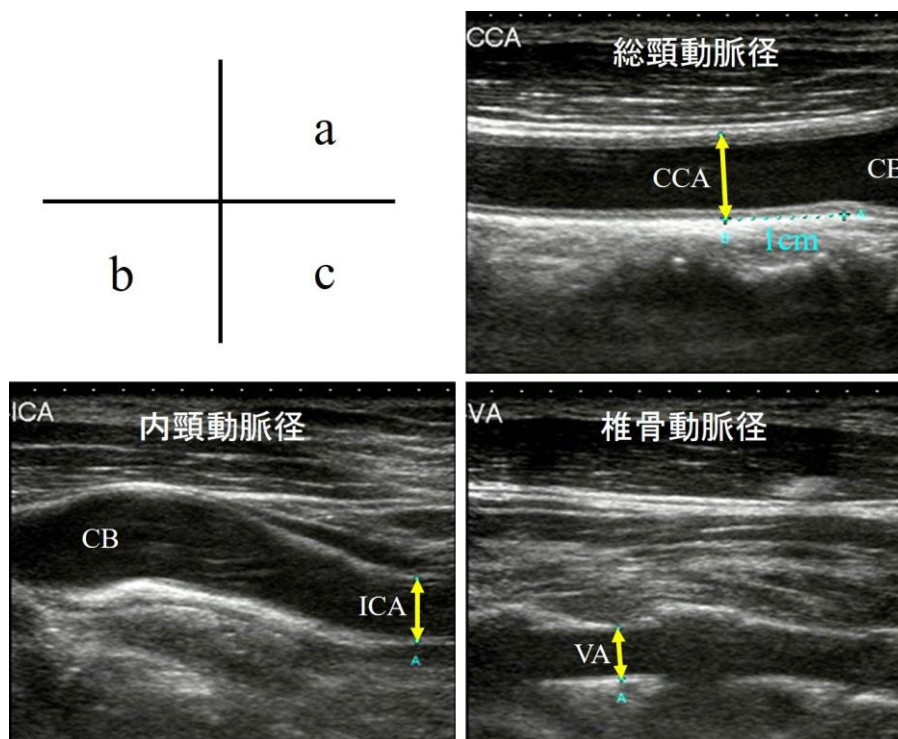


Fig.45 血管径の計測ポイント (偽外膜間距離で計測している。画面右が頭側)

a : 総頸動脈径, b : 内頸動脈径, c : 椎骨動脈径

2)動脈形態の評価

(偽) 外膜間距離での基準範囲は、総頸動脈 9 mm, 内頸動脈 7 mm, 椎骨動脈 5 mm を上限とする¹⁻³⁾。また、

動脈の拡張形態は、限局性と広範性、紡錘状と嚢状に分類されるが、特に動脈の拡張が疑われた場合は血管内腔も観察し、解離所見である flap の有無にも注意する。

7.5 狭窄 (stenosis)

- ◆ 血管短軸断面で面積狭窄率 (プラーク占有率) 50%以上では、ドプラ血流法にて狭窄部収縮期最大血流速度 (PSV)を求める。
- ◆ 血流速度評価でのドプラ入射角補正は、“60°以内”で、可能な範囲で小さい値が望まれる。ただし、経過観察の場合は、前回と同程度の角度での計測値で比較評価する。
- ◆ DSA 上の NASCET 50%以上の狭窄は PSV_{ICA} 「125 または 130 cm/s」以上あるいは PSV_{ICA} / PSV_{CCA} 「2」以上、DSA 上の NASCET 70%以上の狭窄は PSV_{ICA} 「200 または 230 cm/s」以上あるいは PSV_{ICA} / PSV_{CCA} 「4」以上の場合に疑われる。
- ◆ 面積狭窄率には殆どエビデンスはないが、狭窄内腔断面が不整形の例で用いられる。

1)観察領域と評価方法

観察領域としては、総頸動脈、頸動脈洞、内頸動脈、椎骨動脈を必須とし、他の領域は必要に応じて評価する。

狭窄病変の評価方法としては、血管短軸断面にてプラークの占有率が 50%以上 (Fig.46) の場合は、ドプラ血

流法にて狭窄部の収縮期最大血流速度を求め、狭窄率の定性評価を必須とする。また、超音波断層法にて狭窄部の評価が可能な場合は、血管短軸断面による面積狭窄率を求め定量評価を行う。

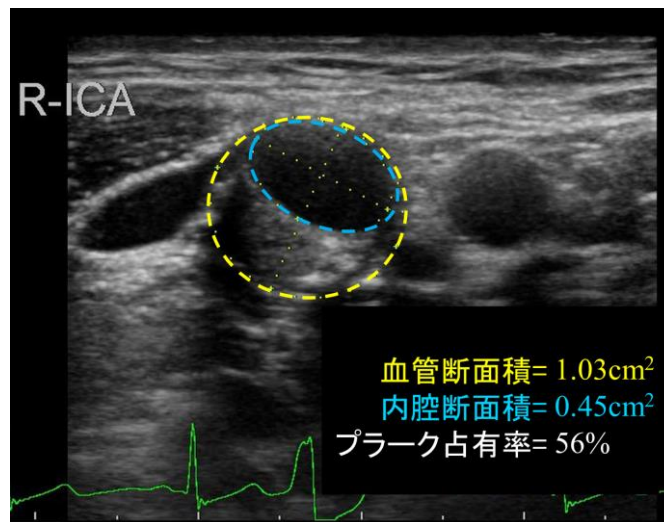


Fig.46 プラーク占有率

外膜内輪面積（血管断面積）と内膜内輪面積（内腔断面積）を計測し、その差を血管断面積で除してプラーク

占有率を求めても良いが、目算でも 50%を超えると判断できれば、血流速度を評価して良い。

2)狭窄部のドプラ血流波形の記録

狭窄部の収縮期最大血流速度を正確に求めるには、パルスドプラ法のサンプルボリュームの設定とドプラ入射角補正が重要となる。

サンプルボリュームは、頸動脈拍動や内頸静脈、さらに呼吸に伴うサンプルポイントのズレによる影響を考慮し、最大血流部位に確実にサンプルボリュームが設定できるように、狭窄内腔径より大きく設定する (Fig.47)。

ドプラ入射角は、補正值が大きくなると測定値の誤差が大きくなり血流速度の信頼性が低下する。特に、ドプラ入射角補正が 60° を越えると急激に誤差率が大きくなり計測値の信頼性が低下する。そのため、血流速度による評価は、ドプラ入射角補正が“ 60° 以内”を条件として、可能な範囲で小さい値に設定できるアプローチが望まれる。リニア型プローブによるスラント機能を用いてもドプラ入射角補正が 60° を超える場合は、コンベ

ックス型やセクタ型のプローブを有効利用することを推奨する。「また、パルスドプラ法で折り返しを生じる場合には、ドプラ入射角に注意して連続波ドプラ法で収縮期最大血流速度を再計測し、この値を計測値として用いる (Fig.48)。

また繰り返しになるが、経過観察を必要とする場合には、前回検査と同じ形状のプローブを用い同程度のドプラ入射角で記録することを推奨する。

ドプラ血流法による問題点として、狭窄部が広範囲におよぶ“砂時計型”狭窄病変や、ステント挿入後や、CEAの術後、さらに石灰化等による狭窄病変は、収縮期最大血流速度が過大評価されることに注意が必要である。その際は、積極的に超音波断層法で面積狭窄率を計測し、両者の値を考慮して狭窄率を評価する必要がある。

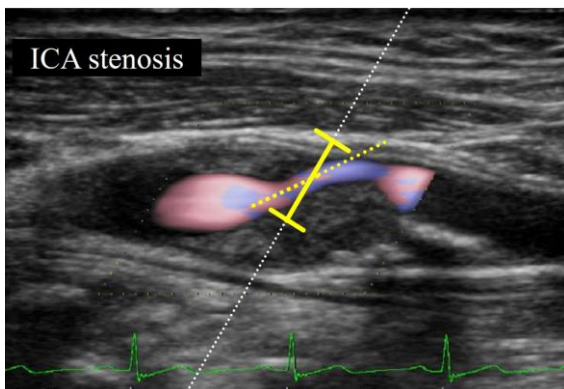


Fig.47 内頸動脈狭窄部のパルスドプラ
サンプルボリュームの設定

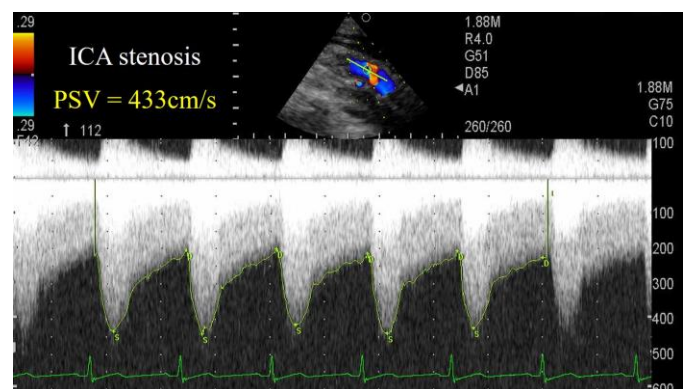


Fig.48 セクタ型プローブによる連続波ドプラ法による狭窄部血流波形の記録（画面右が頭側）

3)収縮期最大血流速度による内頸動脈狭窄率の評価

国内では、内頸動脈起始部における狭窄部の収縮期最大血流速度 (PSV_{ICA}) が 150 cm/s を超える場合は NASCET 狭窄率 50%以上に相当し、さらに PSV_{ICA} が 200 cm/s 以上 (Fig.49) は NASCET 狭窄率で 70%以上の有意狭窄に相当するとの基準が使用されることが多い^{1,2)}。しかし、これまでの国内外の報告では、PSV_{ICA} の他に PSV_{ICA} と総頸動脈 (CCA) の PSV (PSV_{CCA}) の比 (PSV_{ICA} / PSV_{CCA}) を用いた方法も多い³⁻⁷⁾。各々の報告によって基準のオーバーラップが大きい^{4,7)}。血流速度の一つの基準で判断するより、B モード、カラードブラ、狭窄前後の血流速度等を加味して総合的に判断すべきとの報告³⁾や、PSV_{ICA} と CCA の拡張末期血流速度 (EDV_{CCA}) の比 (PSV_{ICA} / EDV_{CCA}) である St Mary's Ratio が優れるとの報告^{6,8)}もある。

欧米では DSA 上の NASCET 50%・70%狭窄を示す

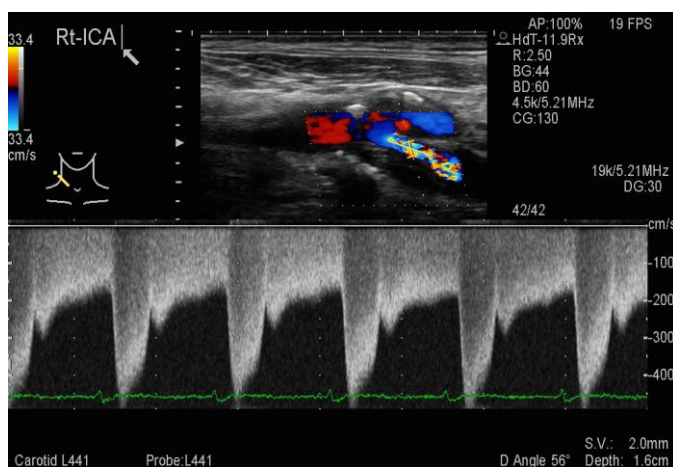


Fig.49 右内頸動脈高度狭窄例(画面右が頭側)

ステント挿入後や、CEA の術後に PSV が過大評価される症例では、ステント挿入症例において、ステント内再狭窄では、175~240 cm/s 以上で中等度狭窄^{10,11)}が、300 cm/s 以上で高度狭窄^{11,12)} (Fig.51) が推定される。

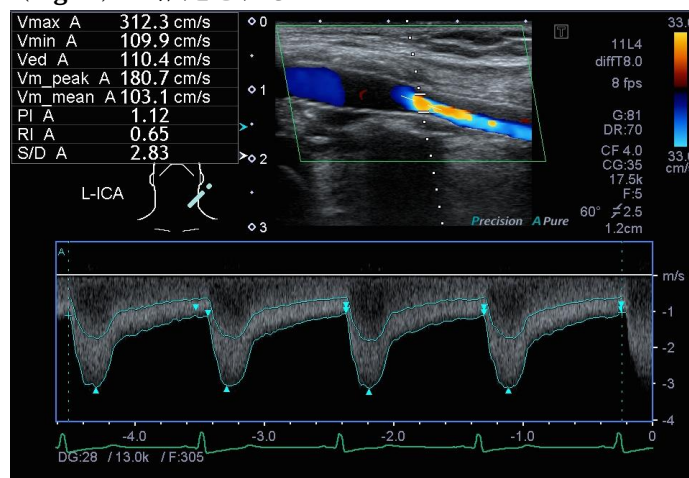
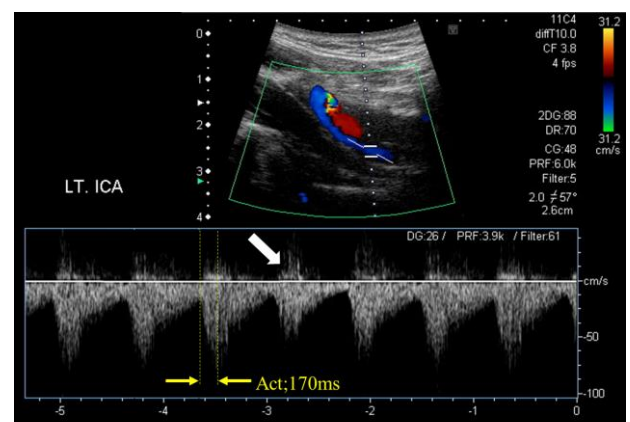


Fig.51 ステント挿入後ステント内再狭窄例(画面右が頭側)

ステント内でモザイク血流となっており、流速の増加(PSV312cm/s)を認める

PSV_{ICA} として、「125 または 130」・「200 または 230」cm/s、と PSV_{ICA} / PSV_{CCA} は「2」・「4」が使われる事が多い^{3,5-7,9)}。また、高度の狭窄病変では、狭窄部位の末梢側の血流は収縮期加速時間 (AcT) の延長や乱流が認められる (Fig.50)。さらに NASCET90%以上を PSV400 cm/s 以上、PSV_{ICA} / PSV_{CCA}5 以上というポイントも参考にでき、一方で near occlusion ではかえって PSV が下がることにも注意が必要である。

以上から、多くの検討がされている欧米での指標を採用して、DSA 上の NASCET 50%以上の狭窄は PSV_{ICA} 「125 または 130 cm/s」 以上あるいは PSV_{ICA} / PSV_{CCA} 「2」以上、DSA 上の NASCET 70%以上の狭窄は PSV_{ICA} 「200 または 230 cm/s」 以上あるいは PSV_{ICA} / PSV_{CCA} 「4」 以上の場合に疑う参考値とする。



Act延長 (黄色矢印)、乱流 (白矢印)

Fig.50 左内頸動脈狭窄後波形(画面右が頭側)

CEA 後の再狭窄例では 213 cm/s 以上で 50%狭窄、274 cm/s 以上で 70%狭窄との文献¹³⁾があるが、一定の見解を得ていない。

4) 超音波断層法による狭窄率の評価

血管超音波検査における狭窄率の定量評価としては、狭窄部長軸断面による径狭窄率 (long-axis stenosis)、短軸断面による径狭窄率 (short-axis stenosis)、短軸断面による面積狭窄率 (short-axis area stenosis) の3通りの計測 (Fig.52) が可能であるが、頸動脈領域の狭窄率による定量評価は、血管短軸断面による面積狭窄率 (short-axis area stenosis) の方が径狭窄率 (一方向のみの評価に

基づく) に比して、狭窄部を的確に評価し得る。すなわち頸動脈の狭窄断面は楕円形や半月状などの不整形を呈することも多く、径狭窄率は適切な評価ができないことが多い。従って、これらの症例では、短軸断面での狭窄部の観察が重要で、計測する場合は血管短軸断面を用いて短軸断面による面積狭窄率 (short-axis area stenosis) を計測して評価する。

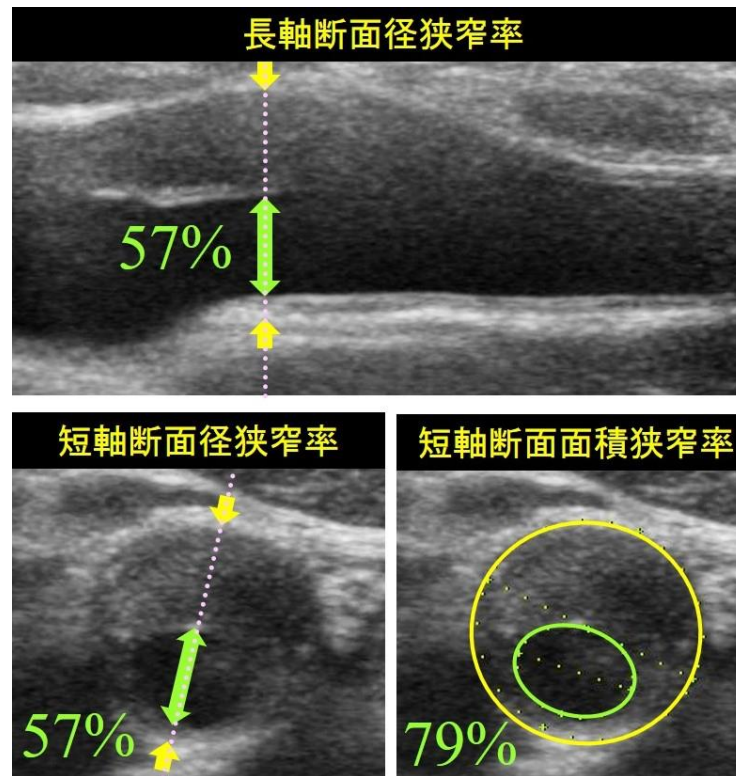


Fig.52 超音波断層法による狭窄率の定量評価
(径狭窄率を求める際は、同一線上での計測とすること:Fig54 参照)

5) 血管短軸断面による面積狭窄率の計測

面積狭窄率についてエビデンスはほとんどないが、狭窄病変の多くで狭窄内腔断面が不整形のため臨床的には本法が用いられる。ただし、内頸動脈起始部の狭窄病変で用いる NASCET 法や ECST 法の径狭窄率と比べ、狭窄率の評価が異なるので必ず計測法を明記して報告する必要がある。

不整形の狭窄部の面積は、短軸断面によるトレース法が基本となる。しかし、円形や楕円形に近似する場合は装置に内蔵された楕円近似法 (ellipse 法) で面積を求める方が簡便である。その際、遠位壁側は内膜と血管腔の境界線の上を、近位壁側は内膜と血管腔の境界線の下を通過するトレースラインの面積(d)を求める。

狭窄部のリファレンスとなる血管断面積は、血管外膜と中膜の境界 (外膜内輪面積) で、遠位壁側は境界線の上を、近位壁側は境界線の下を通過するトレースラインの面積(e)を計測し、計算式 $\{(e)-(d)/(e)\} \times 100$ より面積狭窄率を求める (Fig.53)。なお、狭窄部が内頸動脈起始部の狭窄病変や、remodeling の影響で狭窄部血管が外方に膨隆し楕円形態を示す場合は、収縮期最大流速 (PSV) による推定狭窄率や、「血管造影による NASCET 狭窄率」と比較して、狭窄の程度が過大評価されるので注意が必要である。また、狭窄部と同様にリファレンスの血管断面積の計測は楕円近似法 (ellipse 法) が簡便である (Fig.54)。

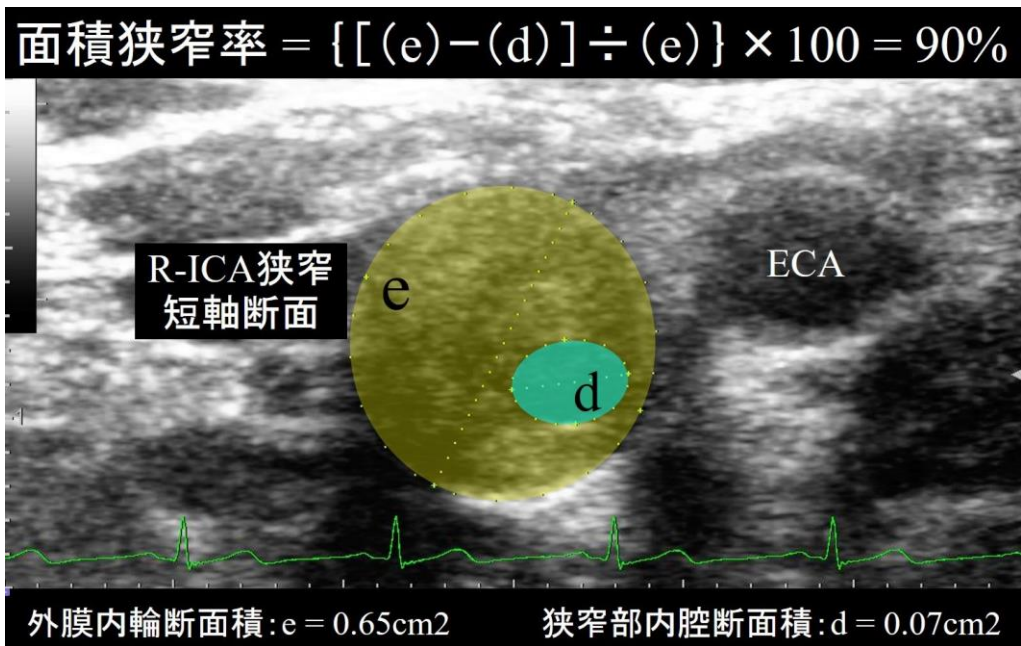


Fig.53 狭窄部血管短軸断面による面積狭窄率の計測

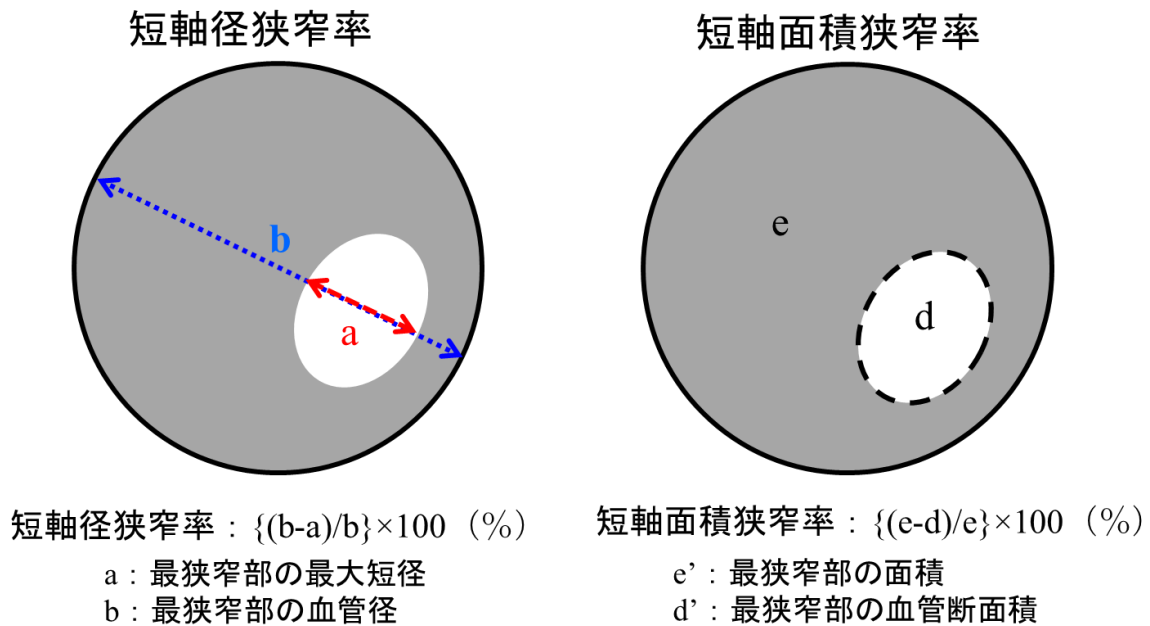


Fig.54 短軸径狭窄率と短軸面積狭窄率

7.6 閉塞 (occlusion)

- ◆ 脳梗塞急性期に、左右の総頸動脈および患側の内頸動脈血流を記録し、総合的に評価することにより、内頸動脈の遠位部の閉塞病変を推定できる。
- ◆ 椎骨横突起間の椎骨動脈血流波形を記録することにより、好発部位である椎骨動脈起始部、または、椎骨動脈分岐前の鎖骨下動脈起始部の狭窄病変を推定できる。
- ◆ 椎骨動脈の閉塞病変は、椎骨動脈起始部に加え、後下小脳動脈 (PICA) 分岐前後が好発部位に挙げられる。

1) 内頸動脈起始部の閉塞

内頸動脈起始部の血管内腔に充実エコーを検出し、同部位の動脈拍動の低下および消失を認めた場合は、カラードブラ血流シグナルの有無を観察する。その際、十分

にカラードブラ流速レンジを下げ、さらに、カラードブラノイズが観察される程度にカラードブラゲインを上げて観察しても、動脈血流シグナルが描出されない場合

は動脈閉塞と診断され、さらには同部位のパルスドプラ波形を観察し血流が得られないことで確定となる。内頸動脈起始部の閉塞症例では、閉塞部直前で early systolic

spike (Fig. 55) や to and fro の波形が記録され、診断の参考となる。また、描出可能な範囲で閉塞部末梢の血流状態を評価する。

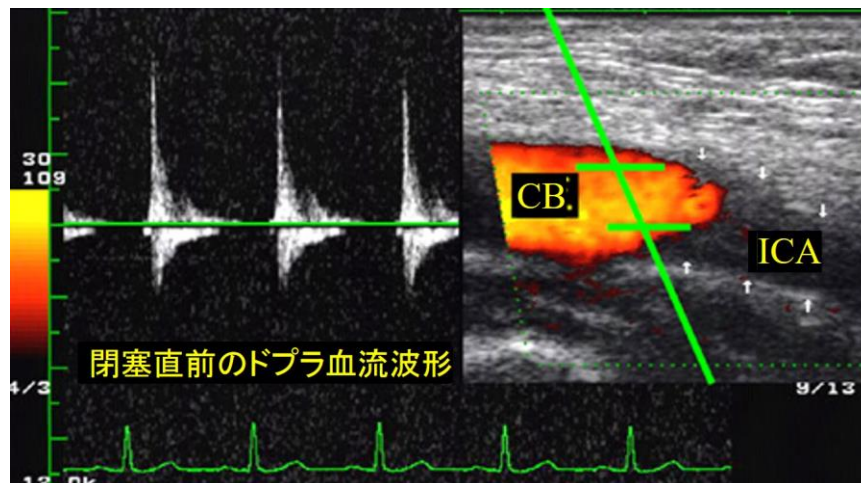


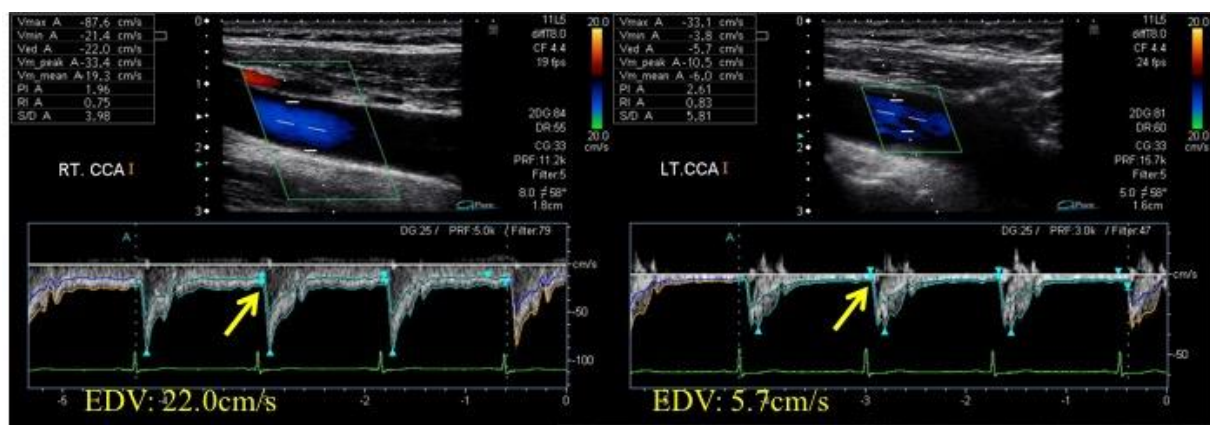
Fig.55 内頸動脈起始部閉塞症例の閉塞直前の血流波形

2) 脳梗塞急性期の内頸動脈遠位部の閉塞病変の推定

脳梗塞「急性期」に、左右の総頸動脈および患側の内頸動脈血流を記録し、総合的に評価することにより、内頸動脈の遠位部の閉塞病変を推定できる^{1,2)}。

まず、左右の総頸動脈の拡張末期血流速度 (EDV) を計測し、ED ratio が 1.4 以上の場合は EDV の低い方の遠位側に高度狭窄もしくは閉塞病変 (Fig.56) の存在が疑

われる。また、ED ratio が 4.0 以上で、患側の内頸動脈の拡張期の血流成分が、記録された場合は後交通動脈分岐後の閉塞が、記録されなかった場合は後交通動脈分岐前の閉塞が疑われる (Fig.57)。繰り返すが、「脳梗塞急性期」での評価に有用と報告されている。



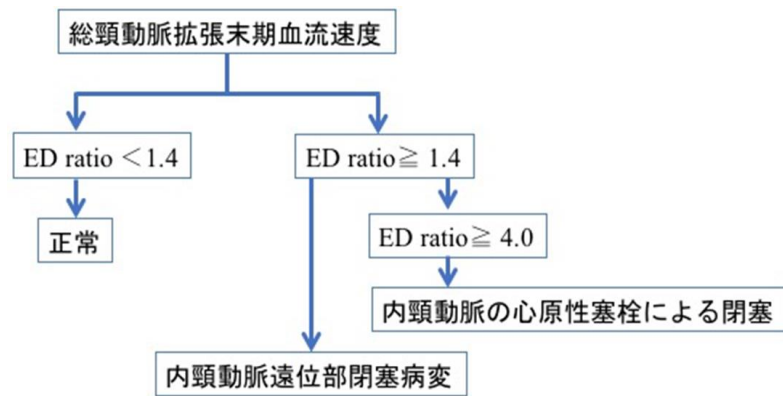
右CCAに比べて、左CCAの拡張末期血流が低下している (矢印)
MRAで左ICA遠位部の狭窄を認める (赤丸)

ED ratio : 3.86
(rt. > lt.)

↓
左ICA遠位狭窄



Fig.56 ED ratio (左内頸動脈遠位部高度“急性期”狭窄病変)



ED ratio : 総頸動脈拡張末期血流速度の左右比

EDV非低値側(健側)

EDV低値側(患側)

Fig.57 ED ratio を用いた「急性期」内頸動脈病変のフローチャート(文献 1,2 より作図)

3) 椎骨動脈起始部狭窄(閉塞)のドプラ血流評価 (Fig.58)

椎骨横突起間の椎骨動脈血流波形を記録することにより、好発部位である椎骨動脈起始部、または、椎骨動脈分岐前の鎖骨下動脈起始部の狭窄病変を推定することが可能である。

椎骨動脈起始部(または鎖骨下動脈起始部)の軽度狭窄の症例は収縮早期に「切痕: notch」(Fig.58)が観られ、さらに狭窄が進行すると、切痕に連続する収縮中期の加速(勾配)が緩やかとなる。また、高度の狭窄病変では収縮期開始から加速勾配が緩やかとなり、収縮期最大流

速の時相が収縮後期に移行し、収縮期加速時間が延長する。さらに、横突起間の椎骨動脈血流波形が検出されない場合は、椎骨動脈起始部での閉塞が疑われる。これらの狭窄所見が得られた場合は、積極的に椎骨動脈起始部および鎖骨下動脈起始部の血流波形を記録し、収縮期最大流速(PSV)の有意な増加や乱流を伴った波形および遠位部の血流パターンが post-stenotic pattern を呈する場合、さらに有意な左右差をもって椎骨動脈起始部狭窄(または鎖骨下動脈起始部狭窄)を確定診断する。

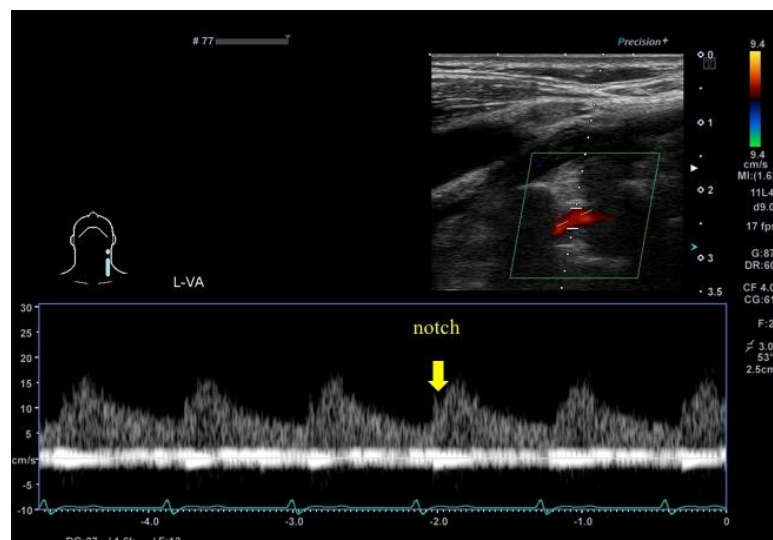


Fig.58 椎骨動脈近位部狭窄例 (notch ↑、画面右が頭側)

4) 椎骨動脈末梢(頭蓋内)閉塞のドプラ血流評価 (Fig.59)

急性期での椎骨動脈の閉塞病変は、椎骨動脈起始部に加え、後下小脳動脈 (posterior inferior cerebellar artery: PICA) 分岐前後が好発部位として挙げられる。これらの

閉塞病変の推定は、椎骨横突起間の椎骨動脈血流波形を記録することから可能である³⁾。

椎骨横突起間で血流が検出されても、拡張末期血流速度が測定できない場合は、PICA 分岐部より中枢側での

閉塞が疑われる。また、拡張末期血流が検出されても、左右の平均血流速度 (Vmean) を求め、患側の Vmean が 18cm/s 未満で、かつ左右の Vmean の比 (mean ratio) が 1.4 以上であれば PICA 分岐後の閉塞が疑われる。さら

に、左右の椎骨動脈径の比を求め、1.4 未満なら PICA 分岐より末梢側での閉塞を、1.4 以上であれば先天性に後下小脳動脈が椎骨動脈の終動脈となる PICA-end が疑われる³⁾。

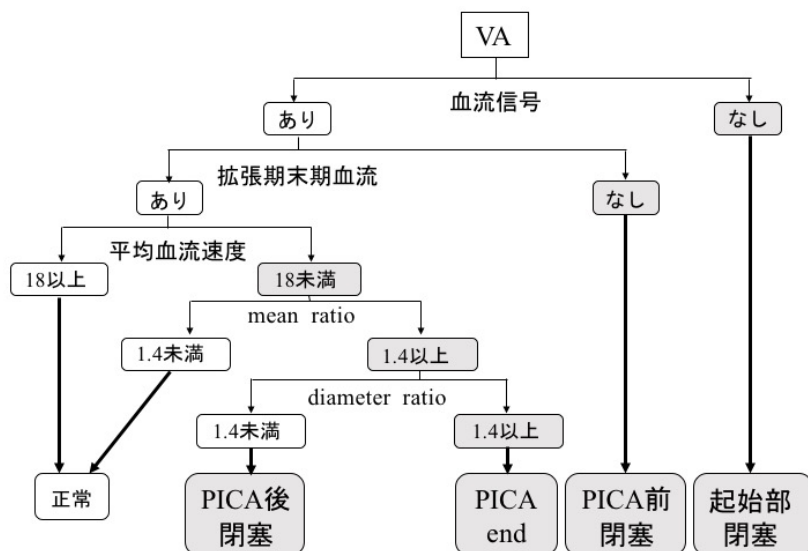


Fig.59 頭蓋外椎骨動脈血流と血管径による椎骨動脈閉塞の部位診断(文献3より)

8. スクリーニング検査の実際

◆我が国の頸動脈超音波検査の実際において、評価項目や報告する画像には決まった基準がない。この度、標準化に際してルーチン検査における必須項目を、参考に提案した。

我が国の頸動脈超音波検査の実際において、評価項目や報告する画像には決まった基準がなく、各施設が独自で評価し、レポートを作成しているのが実情である。全国アンケートから得られた結果を基にルーチン検査と

して考えた場合の必須項目をフローチャート化し掲載する (Fig.60)^{1,2)} 各施設での目的に応じて実施する際、参考になるよう提案した。

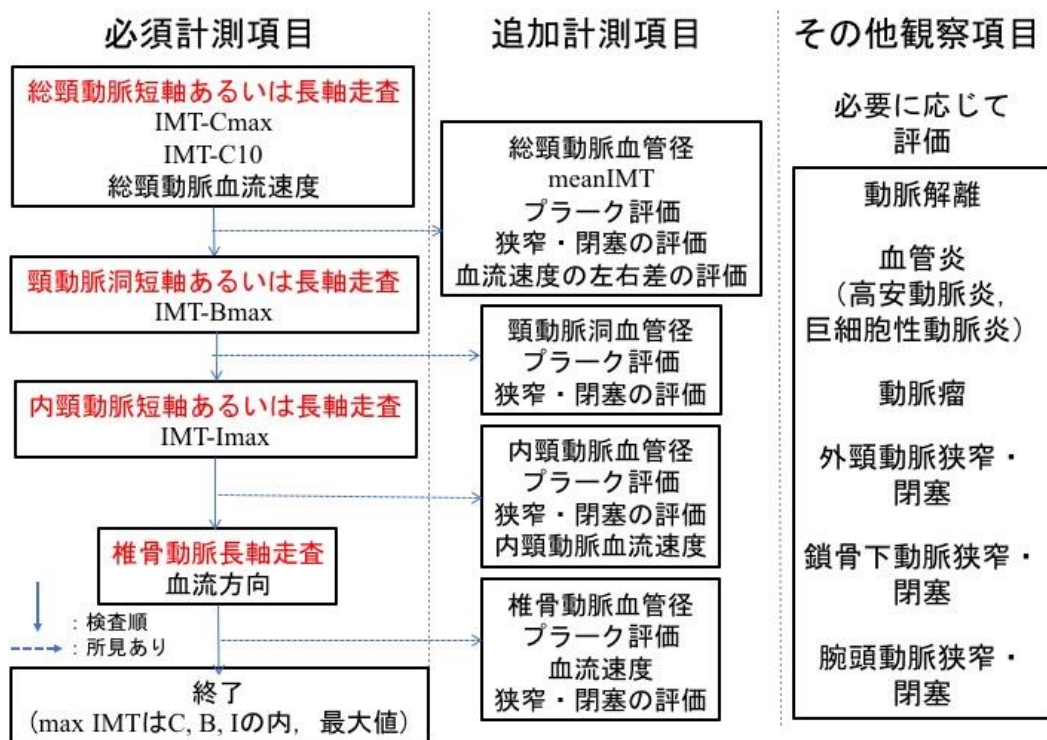


Fig.60 ルーチン検査フローチャート

9. その他の頭・頸部血管疾患の評価および診断

9.1 鎖骨下動脈盗血現象・鎖骨下動脈盗血症候群

鎖骨下動脈狭窄病変または閉塞病変は、橈骨動脈の拍動の減弱や消失、血圧の左右差、めまい、上肢のしびれなどを主症状として来院されるが、頸動脈超音波検査では、めまいの精査で椎骨動脈血流波形に異常を確認することで診断される場合が多い。

頻度としては左鎖骨下動脈病変が多く、次いで右鎖骨下動脈、腕頭動脈病変の順となる。椎骨動脈起始部狭窄の場合、acceleration time の延長や収縮期の notch を認める程度だが、鎖骨下動脈起始部狭窄は、狭窄度により収縮期波形の逆流 (to and fro pattern) (Fig.61) から全時相の逆流波形に変化していく。これらの血流変化は、反対側の椎骨動脈から脳底動脈を介して逆行性に椎骨動脈

に血流が流入する現象をとらえており、鎖骨下動脈盗血現象 (subclavian steal phenomenon : SSP) と呼ばれる。さらに、上肢の運動によりめまいや失神などの症状が出現する場合は、鎖骨下動脈盗血症候群 (subclavian steal syndrome : SSS) と呼ばれる。

血流波形の変化が不明瞭な場合は、病変肢に運動負荷を加え血流波形が変化することにより確認することができる。

ただし、負荷時には症状を注意深く観察する必要がある。また、鎖骨下動脈狭窄病変は主に動脈硬化性病変が中心であるが、血管炎や解離に伴う場合もあるため、他の血管情報も重要である。

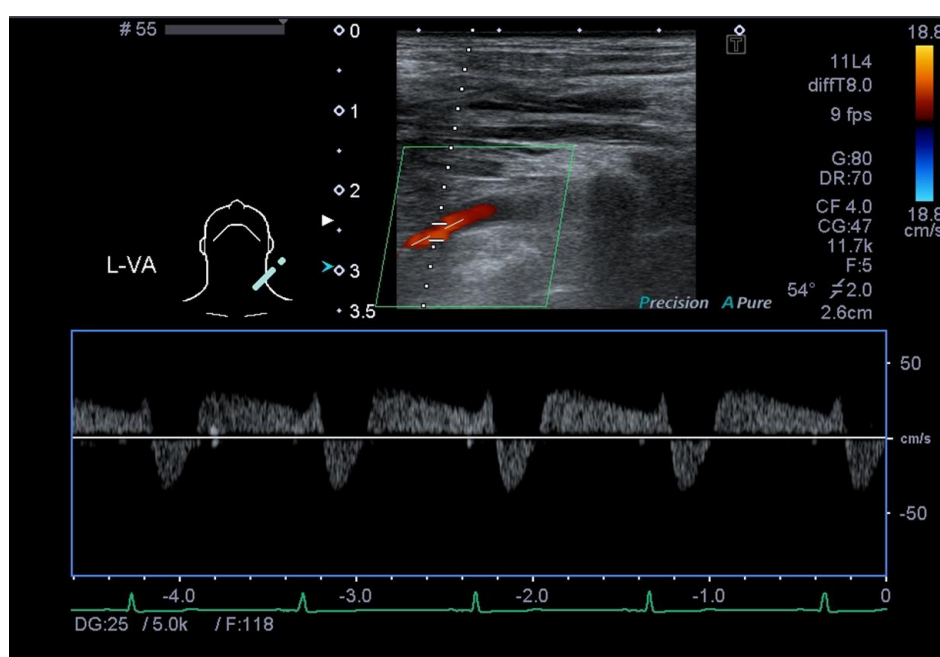


Fig.61 左鎖骨下動脈起始部狭窄例 (左椎骨動脈は逆行性成分を含んでいる)

9.2 高安動脈炎

頸動脈エコーでは特徴的なサインとして、「総頸動脈」に「全周性のびまん性肥厚」を認めることであり、それは「マカロニサイン」と称されている (Fig.62)。マカロニサインは、1991年に Maeda らが提唱した超音波用語で、マカロニのような「びまん性の円周方向の動脈壁肥厚」をさす¹⁾。高安動脈炎は基本的に弾性動脈に障害を及ぼすため、総頸動脈洞までの壁肥厚となり、内頸動脈にまで肥厚が進展しないことが特徴である。ただし、一部の症例では、弾性動脈と筋性動脈の境界が内頸動脈起始部に及んでいる場合も注意が必要である。

一般的な血管炎のエコー所見としては、血管周囲の低輝度病変、等～高輝度の IMC 肥厚、外膜不明瞭化、縮

窄、閉塞など多様性がある。高安動脈炎の超音波所見については、症状が出現したときにはすでに時間が経過していると考えられるため、早期の発見が困難である。そのため、超音波検査を行う段階では、ある程度炎症が波及してからの像を観察している場合が多い。その他、大動脈、腎動脈、四肢動脈に炎症が及んだ場合でも、超音波検査で確認することが可能である。特に、鎖骨下動脈から椎骨動脈に炎症が波及し、狭窄・閉塞を来した場合は、血圧の左右差を伴い、ドプラ血流検査にて、上腕動脈の狭窄後血流波形と鎖骨下動脈盗血現象 (椎骨動脈の逆行性血流波形) が観察できる。

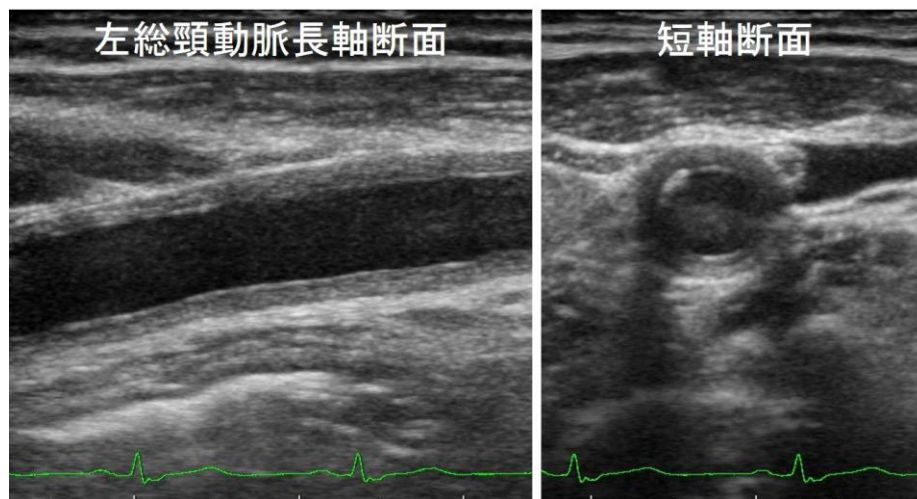


Fig.62 高安動脈炎の左総頸動脈マカロニサイン（長軸断面は画面右側が頭側）

9.3 頸動脈（椎骨動脈）解離

頸動脈解離は、大動脈から解離が波及する場合と、外傷性や特発性に発症する頸動脈原発性解離の場合がある。大動脈から波及する頸動脈解離の場合は右側優位に解離する。頸動脈解離の観察は、真腔および偽腔（中膜層で解離して、新たに生じた腔）の二層構造、flapの存在、偽腔内血流の有無、壁血栓、entry・re-entryの評価などが重要となる（Fig.63）。頸動脈解離を疑った場合は、積極的に腕頭動脈、鎖骨下動脈、さらに大動脈弓部まで観察する。一方、頸動脈原発の動脈解離は分岐部の1～2cm末梢の内頸動脈で発症する事が多い。動脈硬化性変化に乏しいにも関わらず、頭蓋内外内頸動脈の高度狭窄や閉塞を認め、塞栓性機序が否定された場合は内頸

動脈解離の可能性が高い。

頭蓋外椎骨動脈解離については、有意な動脈硬化性病変を認めない症例において、めまいや頭痛および頸部痛の訴えがあり、横突起間の椎骨動脈に限局性拡張や壁内血腫を見つけた場合、または、螺旋状の血流が見られた場合などは椎骨動脈解離が疑われる（Fig.64）²⁾。短軸走査にてダブルルーメン像が見られる場合もある。超音波検査は、偽腔の血栓閉塞までの病態変化が観察できるため、経過観察には有効である。また、頭蓋内椎骨動脈解離の場合は、椎骨動脈遠位部の血流波形が狭窄または閉塞パターンを呈するため、経過観察には血流波形の改善および正常化を観察することが有効である。

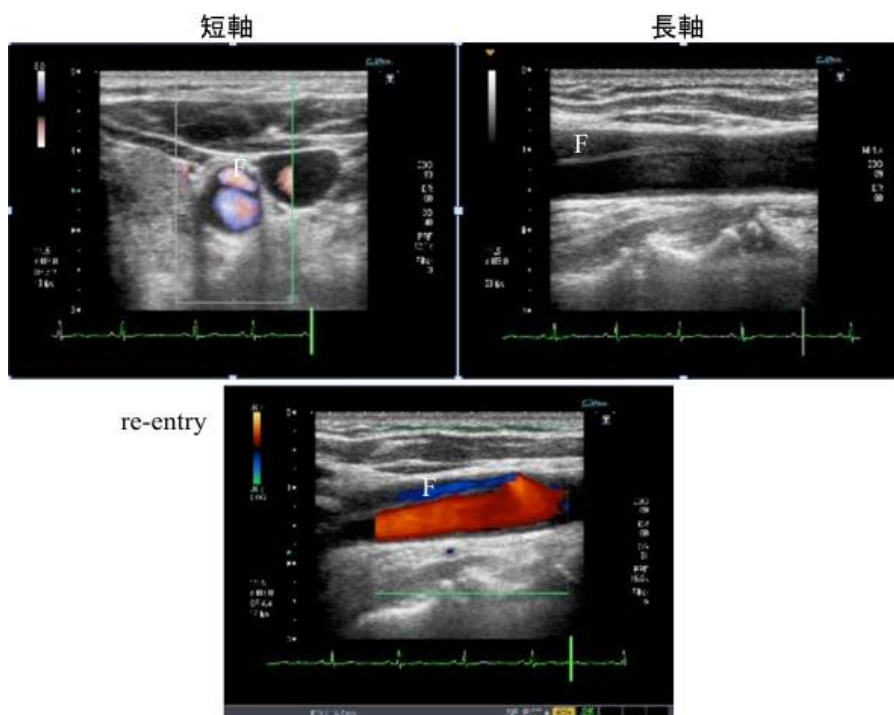


Fig.63 頸動脈解離(F：偽腔，画面右が頭側)

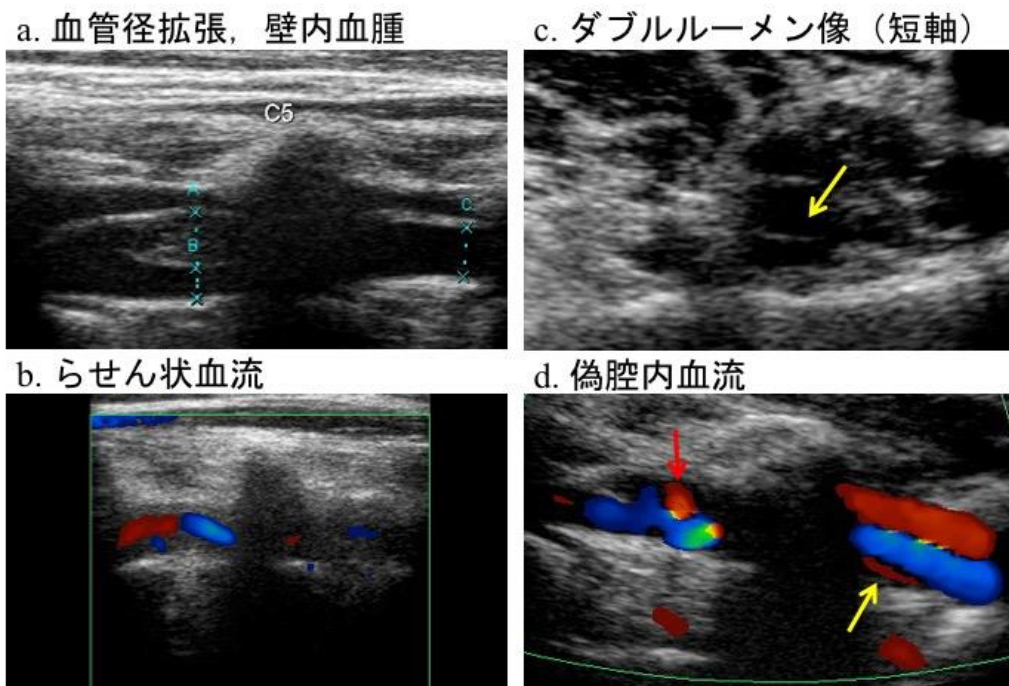


Fig.64 椎骨動脈解離²⁾

9.4 巨細胞性動脈炎（側頭動脈炎）

巨細胞性動脈炎（giant cell arteritis: GCA）は，認知度に比して本邦ではまれな疾患である．50 歳以上でみられ，男女比では女性にやや多い．側頭部痛で発見されることが多く，リウマチ性多発筋痛症を合併することが多い．一般的には側頭動脈炎（temporal arteritis）とも呼ばれている．病変は大動脈から中等大の動脈に及び，多核巨細胞などの浸潤を伴う肉芽腫性炎症を特徴とする．主に頸動脈の分枝（特に浅側頭動脈）を障害するが，大動脈やその分枝も障害される．代表的な超音波所見として浅側頭動脈の hypoechoic halo が認められるが，他にも

IMC の肥厚，拡張・蛇行，瘤形成，内腔の狭小化・閉塞など多彩な画像が認められる（Fig.65）．特に hypoechoic halo は，血管周囲の全周性低輝度所見として描出され，高い感度，特異度を有しているため，確認できた場合は診断の根拠となる^{3, 4)}．高安動脈炎同様，全身の血管で観察され，総頸動脈の全周性肥厚も起こりうる．また，椎骨動脈や鎖骨下動脈に炎症像を確認できる場合がある．治療としてはステロイド内服が中心であり，側頭動脈 hypoechoic halo の改善，消失を観察することで治療効果判定が可能である．

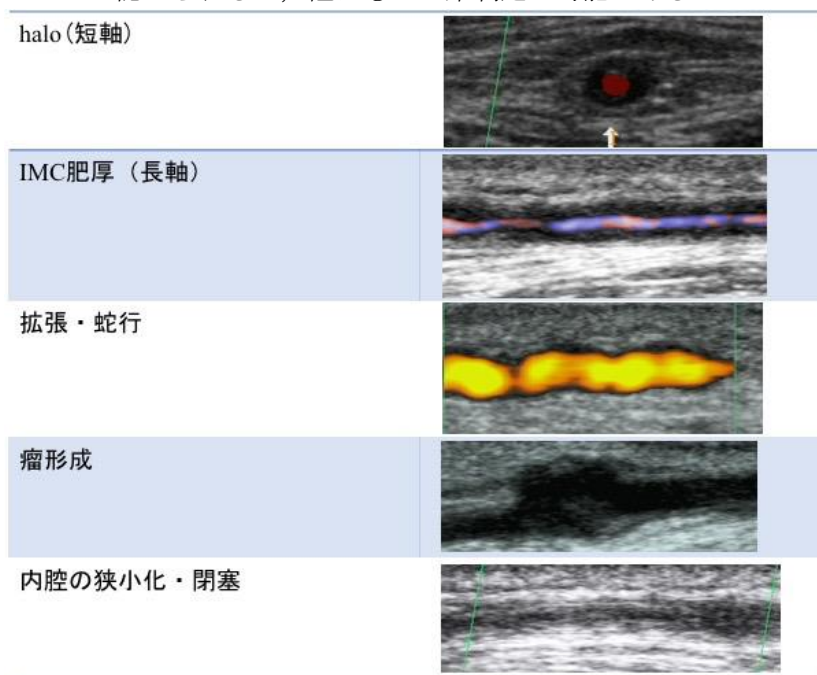


Fig.65 巨細胞性動脈炎のエコー所見³⁾

9.5 もやもや病

もやもや病は内頸動脈終末部の進行性狭窄・閉塞を来す病態である。もやもや病の頸動脈超音波所見として、“(シャンパン) ボトルネックサイン”と“diameter reversal sign”がある。ボトルネックサインは、内頸動脈起始部でやや拡張したのち、遠位部の血管径が細く一定の径を保

ち、遠位部で狭小化や閉塞を認める（一定に保った内頸動脈の径は総頸動脈の径の半分以下となる）(Fig.66)⁵⁾。Diameter reversal sign は、内頸動脈の径が外頸動脈の径より細くなることであり、健常者と比べ外頸動脈の径と内頸動脈の径が逆転する。

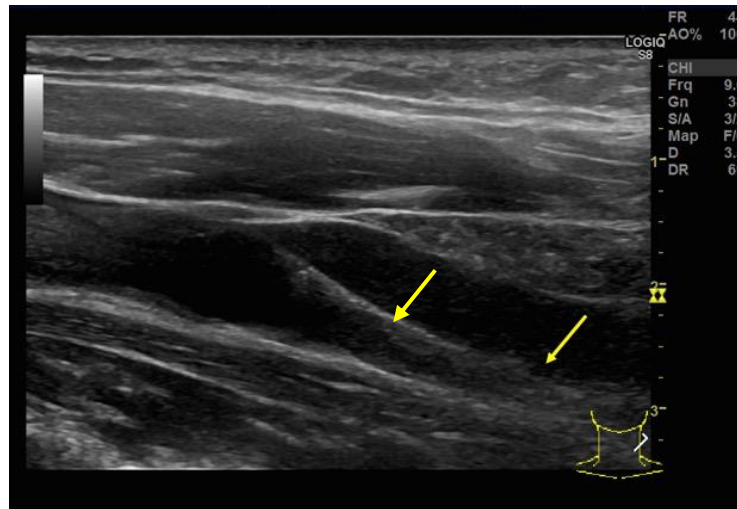


Fig.66 もやもや病

左内頸動脈が途中から狭小化している（シャンパン）ボトルネックサイン（画面右が頭側）

9.6 Bow hunter 症候群

「めまい」の原因精査として頸動脈超音波検査が依頼された場合は、積極的に椎骨動脈の評価を行う。振り向いたときや首の向きを変えたときにめまいの訴えがあった場合は要注意といえる。椎骨動脈は頸椎横突起内を走行するため、入孔部や頭蓋内の屈曲部において、外部からの圧迫や頸部過回旋での屈曲などが引き金になり、血流が低下して小脳症状を来す場合がある^{6, 7)}。特に回旋による C1-2 レベルでの圧迫で対側の椎骨動脈血流が

遮断され症状が出る場合が多く、Bow hunter's syndrome と呼ばれる。検査の際には、正中位で検査を始め、徐々に対側回旋位をとることで拡張末期血流が低下し、ドブラ血流波形が消失することで診断する (Fig.67)。ただし、頸部回旋時の椎骨動脈圧迫により椎骨脳底動脈系の虚血を来し、失神発作や失神に準ずるふらつきや眼前暗黒感などの症状を認める場合もあるため、必ず症状を確認しながら検査をすることが必要である。

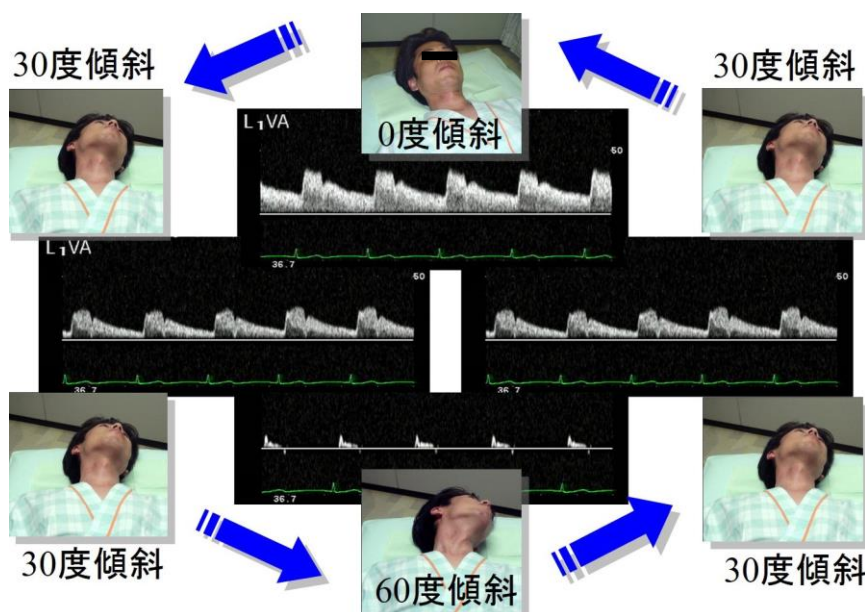


Fig.67 Bow hunter 症候群の頸部回旋に伴う椎骨動脈血流変化

9.7 頸動脈瘤

頸動脈瘤 (Fig.68) は、頸動脈にみられる限局性の拡張であり、主に総頸動脈、内頸動脈起始部、鎖骨下動脈などにみられる。基本的には動脈硬化による血管拡張であるが、高安動脈炎に合併することもある。

形状としては紡錘状、嚢状どちらも確認される。動脈瘤内部には血栓を認める場合もあり、可動性の有無と内部性状の評価が重要である。



Fig.68 内頸動脈瘤

10. 頭・頸部血管侵襲的な治療前後の評価

- ◆ CEA の適応は、症候性の有無と、血管造影での NASCET 法による狭窄度との 2 基準で判断されている。
- ◆ スtent留置前の観察は、狭窄部位のプラーク性状、狭窄率に加えて、狭窄長、狭窄遠位部の ICA 屈曲の程度を確認する。また、血管径および内膜間距離を計測しておく。
- ◆ スtent挿入後の PSV は、300cm/s 以上で 70%以上狭窄と判断する。
- ◆ 確立された不安定プラークの検出方法は、ほとんど存在しないのが現状である。

脳梗塞の原因として頸動脈狭窄を診断することは重要であり、頸動脈超音波検査はその診断に頻用される。頸動脈狭窄を見逃してならないのは CEA による脳梗塞予防効果が大規模臨床研究において証明されているためである。また、CEA が施行困難な場合の代替として CAS の適応にも有効とされている。CEA の適応については、脳梗塞あるいは一過性脳虚血発作 (Transient Ischemic Attack: TIA) を起こしたことがある症候性の有無と、NASCET 法による狭窄度の 2 つの基準で判断されるのが一般的である。

10.1 頸動脈内膜剥離術(CEA)

内膜剥離術前の観察は、狭窄部位のプラーク性状、狭窄率に加えて、体表面からの深さ、および高位分岐かど

うかを確認する。可能な限り狭窄遠位部まで観察しておく。また、外頸動脈や上甲状腺動脈などとの位置関係もみしておく。

内膜剥離術直後の観察は、ガーゼなどで検査野が狭いため、体位を工夫する必要がある。内膜剥離術後は、近位壁側に縫合糸 (Fig.69a) を観察できるため、残存プラークと鑑別を要する。術後 1~2 週間程度は血腫の増大を認めることがあるため、血管外の血腫の有無を確認する (Fig.69b)。剥離術断端に可動性プラークが残存すると、同部位からプラークが遊離して脳梗塞を起こす可能性があるため、可動性プラークの有無を観察する。また、剥離術後に内膜が増殖 (Fig.69c,d) する可能性があるため、6~12 ヶ月おきに定期的にフォローする。

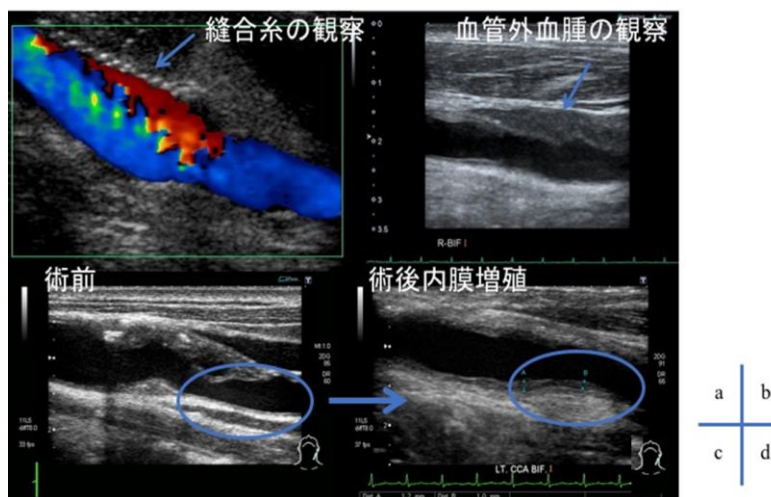


Fig.69 CEA 術後の観察 (画面右が頭側)

10.2 頸動脈ステント留置術 (CAS)

ステント留置前の観察は、狭窄部位のプラーク性状、狭窄率に加えて、狭窄長、狭窄遠位部の ICA 屈曲の程度を確認する。また、ステントサイズ決定のために、血管径および内膜間距離を計測しておく。

ステント留置後の観察は、ステント内の情報、ステント端の情報、ステント外の情報を評価する。ステント内の情報は、再狭窄、閉塞、ステント内プラーク突出などを観察する (Fig.70)。ステント端の情報は、プラークの残存、プラークの進展、圧着の程度などを観察する

(Fig.71)。ステント外の情報は、圧着したプラークの情報、プラーク破綻後の潰瘍形成などを観察する。ステント留置部において狭窄を判断する場合は、血流速度が重要になる。通常の場合は、適切な角度補正において 200cm/s 以上で 70%以上狭窄と判断するが、ステント留置部位には当てはまらない。これまでの報告ではステント挿入後の PSV は、ステントの無い場合の基準値に 100cm/s 前後加えた値が用いられ 300cm/s 以上で 70%以上狭窄と判断する¹⁻³⁾。

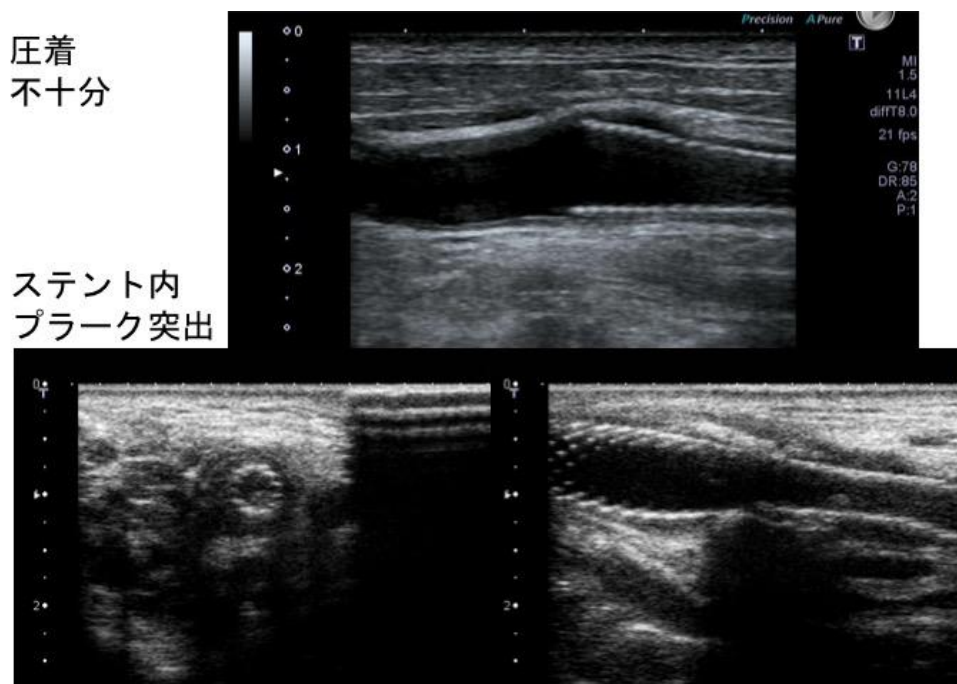


Fig.70 ステント後の観察 (画面右が頭側)



Fig.71 ステント端のプラーク進展 (画面右が頭側)

10.3 臨床応用の現況 (解説)

症候性高度狭窄と比較して症候性中等度狭窄あるいは無症候性高度狭窄では CEA の効果が少なく、CEA が有効なサブグループを見いだしてその効果が高められないかなどの意向から、脳梗塞を起こしやすい危険が高い“いわゆる「不安定プラーク」(Vulnerable Plaque)”

を検出しようとする種々の試みがなされている。不安定プラークとは、症候性の有無、狭窄度とは独立した概念である。不安定プラークの検出として、頸動脈超音波、経頭蓋ドプラ (Trans-cranial Doppler: TCD)、MRI、CT、FDG-PET、その他の方法が試みられている。しかし、多

数例の前向き研究で脳梗塞を評価することにより、確立された不安定プラークの検出方法は、ほとんど存在しないのが現状である²⁻⁶⁾。そのため、頸部頸動脈狭窄に対するCEAあるいはCASの適応決定に最も重要なのは、先にも述べたように①症候性の有無と、②NASCET法での狭窄度の2点である。少なくとも頸動脈エコー上の所見から不安定プラークであると判断して、安易に血行再建術の適応決定に利用するようなことは慎むべきで

参考：頸動脈超音波検査の評価結果の報告：超音波による頸動脈の評価結果を報告する際には、正確に分かりやすく指示医・主治

ある。以上の観点から、本書では脳梗塞再発などが注意すべきとして報告されている可動性プラークなどを含めて、「注意すべきプラーク」として注意深く観察すべきプラークとすることを提唱したが、今後の検討・報告が待たれる。

付記：今回の標準的評価法作成に当たり、2016年1月現在での報告や施行状況から指標や実施法を作成したが、今後の研究や報告により改訂が必要となる内容もあることを付記する。

医に伝えるため、病変の有無や性状を図示して提示することを推奨する (Fig.72)。

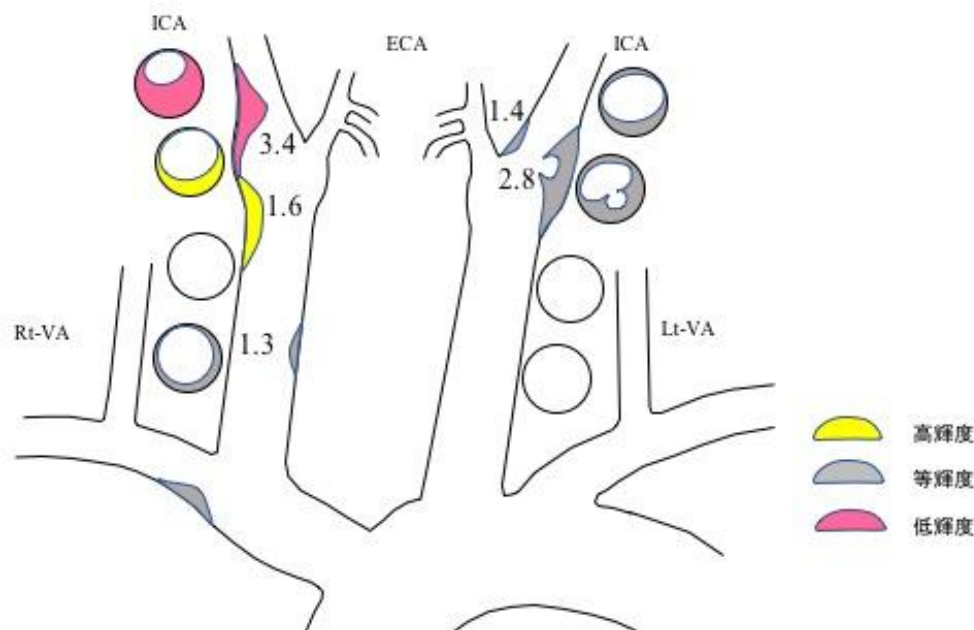


Fig.72 頸動脈エコーシェーマ図 (縦書き例)
(プラーク厚 1.5mm 以下での評価は任意)

文献

推奨度の現況：1～9

- 1) Greenland P, Alpert JS, Beller GA, Benjamin EJ, Budoff MJ, Fayad ZA, Foster E, Hlatky MA, Hodgson JM, Kushner FG, Lauer MS, Shaw LJ, Smith SC, Jr., Taylor AJ, Weintraub WS, Wenger NK and Jacobs AK. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Circulation. 2010; 122: e584-636.
- 2) National Cholesterol Education Program Expert Panel on Detection E and Treatment of High Blood Cholesterol in A. Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) final report. Circulation. 2002; 106: 3143-421.
- 3) de la Sierra A, Zamorano JL and Ruilope LM. Application of hypertension guidelines in clinical practice: implementation of

- the 2007 ESH/ESC European practice Guidelines in Spain. J Hypertens Suppl. 2009; 27:S27-32.
- 4) Irie Y, Katakami N, Kaneto H, Kasami R, Sumitsuji S, Yamasaki K, Tachibana K, Kuroda T, Sakamoto K, Umayahara Y, Ueda Y, Kosugi K and Shimomura I. Maximum carotid intima-media thickness improves the prediction ability of coronary artery stenosis in type 2 diabetic patients without history of coronary artery disease. Atherosclerosis. 2012; 221: 438-44.
- 5) Fujihara K, Suzuki H, Sato A, Ishizu T, Kodama S, Heianza Y, Saito K, Iwasaki H, Kobayashi K, Yatoh S, Takahashi A, Yahagi N, Sone H and Shimano H. Comparison of the Framingham Risk Score, UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Risk Engine, Japanese Atherosclerosis Longitudinal Study-Existing Cohorts Combine (JALS-ECC) and Maximum Carotid Intima-Media Thickness for Predicting Coronary Artery Stenosis in Patients with Asymptomatic Type 2 Diabetes. J Atheroscler Thromb. 2014 21(8):799-815.

6) Kitamura A, Iso H, Imano H, Ohira T, Okada T, Sato S, Kiyama M, Tanigawa T, Yamagishi K and Shimamoto T. Carotid intima-media thickness and plaque characteristics as a risk factor for stroke in Japanese elderly men. *Stroke*. 2004; 35:2788-94.

7) den Ruijter HM, Peters SA, Groenewegen KA, Anderson TJ, Britton AR, Dekker JM, et al. Common carotid intima-media thickness does not add to Framingham risk score in individuals with diabetes mellitus: the USE-IMT initiative. *Diabetologia*. 2013; 56:1494-502.

8) Bots ML, Groenewegen KA, Anderson TJ, Britton AR, Dekker JM, Engstrom G, Evans GW, de Graaf J, Grobbee DE, Hedblad B, Hofman A, Holewijn S, Ikeda A, Kavousi M, Kitagawa K, Kitamura A, Ikram MA, Lonn EM, Lorenz MW, Mathiesen EB, Nijpels G, Okazaki S, O'Leary DH, Polak JF, Price JF, Robertson C, Rembold CM, Rosvall M, Rundek T, Salonen JT, Sitzer M, Stehouwer CD, Franco OH, Peters SA and den Ruijter HM. Common carotid intima-media thickness measurements do not improve cardiovascular risk prediction in individuals with elevated blood pressure: the USE-IMT collaboration. *Hypertension*. 2014; 63: 1173-81.

9) Den Ruijter HM, Peters SA, Anderson TJ, Britton AR, Dekker JM, Eijkemans MJ, Engstrom G, Evans GW, de Graaf J, Grobbee DE, Hedblad B, Hofman A, Holewijn S, Ikeda A, Kavousi M, Kitagawa K, Kitamura A, Koffijberg H, Lonn EM, Lorenz MW, Mathiesen EB, Nijpels G, Okazaki S, O'Leary DH, Polak JF, Price JF, Robertson C, Rembold CM, Rosvall M, Rundek T, Salonen JT, Sitzer M, Stehouwer CD, Witteman JC, Moons KG and Bots ML. Common carotid intima-media thickness measurements in cardiovascular risk prediction: a meta-analysis. *JAMA: the journal of the American Medical Association*. 2012; 308: 796-803.

2 : 1~11

1) ER. Mohler III, HL. Gornik, MG. Herman, S Misra: ACCF/ACR/AIUM/ASE/ASN/ICAVL /SCAI/SCCT/SIR /SVM/SVS 2012 appropriate use. criteria for peripheral vascular ultrasound and physiological testing part I: Arterial ultrasound and physiological testing. *J Am Coll Cardiol* 2012; 60: 242-276.

2) American Institute of Ultrasound in Medicine; American College of Radiology; Society of Radiologists in Ultrasound: AIUM Practice Guideline for the Performance of an Ultrasound Examination of the Extracranial Cerebrovascular System. *J Ultrasound Med*. 2012 Jan; 31(1): 145-154

3) Nambi V, Chambless L, Folsom AR, He M, Hu Y, Mosley T, Volcik K, Boerwinkle E and Ballantyne CM. Carotid intima-media thickness and presence or absence of plaque improves prediction of coronary heart disease risk: the ARIC (Atherosclerosis Risk in Communities) study. *J Am Coll Cardiol*. 2010; 55: 1600-7.

4) Stein JH, Korcarz CE, Hurst RT, Lonn E, Kendall CB,

Mohler ER, Najjar SS, Rembold CM and Post WS. Use of carotid ultrasound to identify subclinical vascular disease and evaluate cardiovascular disease risk: a consensus statement from the American Society of Echocardiography Carotid Intima-Media Thickness Task Force. Endorsed by the Society for Vascular Medicine. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008; 21: 93-111; quiz 189-90.

5) Fujihara K, Suzuki H, Sato A, Ishizu T, Kodama S, Heianza Y, Saito K, Iwasaki H, Kobayashi K, Yatoh S, Takahashi A, Yahagi N, Sone H and Shimano H. Comparison of the Framingham Risk Score, UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Risk Engine, Japanese Atherosclerosis Longitudinal Study-Existing Cohorts Combine (JALS-ECC) and Maximum Carotid Intima-Media Thickness for Predicting Coronary Artery Stenosis in Patients with Asymptomatic Type 2 Diabetes. *J Atheroscler Thromb*. 2014. 21(8):799-815

6) Kadota A, Miura K, Okamura T, Fujiyoshi A, Ohkubo T, Kadowaki T, Takashima N, Hisamatsu T, Nakamura Y, Kasagi F, Maegawa H, Kashiwagi A, Ueshima H, Group SR and Group NDR. Carotid intima-media thickness and plaque in apparently healthy Japanese individuals with an estimated 10-year absolute risk of CAD death according to the Japan Atherosclerosis Society (JAS) guidelines 2012: the Shiga Epidemiological Study of Subclinical Atherosclerosis (SESSA). *J Atheroscler Thromb*. 2013; 20: 755-66.

7) Steinke W, Rautenberg W, Schwartz A, Hennerici M: Noninvasive monitoring of internal carotid artery dissection. *Stroke* 1994; 25: 998-1005.

8) 高本眞一, 石丸 新, 上田裕一, ほか: 大動脈解離診療ガイドライン (2011 年改訂版). 「日本循環器学会」
「http://www.j-j-Circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2011_takamoto_h.pdf」

9) 小川聡, 笠貫宏, 高野照夫, ほか: 急性心筋梗塞 (ST 上昇型) の診療に関するガイドライン, *Circulation Journal*. 72, Suppl. IV : 1347-1442, 2008

10) 井上博, 安部治彦, 尾辻豊, ほか: 失神の診断・治療ガイドライン (2012 年改訂版). 「日本循環器学会」
http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2012_inoue_h.pdf

11) 落雅美, 浅井徹, 天野篤, ほか: 虚血性心疾患に対するバイパスグラフトと手術術式選択のガイドライン (2011 年改訂版). 「日本循環器学会」
http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2011_ochi_h.pdf

3 : 1~5

1) Pignoli P, Tremoli E, Poli A, Oreste P and Paoletti R. Intimal plus medial thickness of the arterial wall: a direct measurement with ultrasound imaging. *Circulation*. 1986; 74: 1399-406.

2) PJ Touboul, MG Hennerici, S Meairs, H Adams, P Amarenco, N Bornstein, L Csiba, M1, Desvarieux, S Ebrahim, R. Hernandez Hernandez, M Jaff, S Kownator, T Naqvi, P

Prati, TRundek, M Sitzer, U Schminke, JC Tardif, A Taylor, E Vicaud, and KS Woo : Mannheim Carotid Intima-Media Thickness and Plaque Consensus (2004–2006–2011): An Update on Behalf of the Advisory Board of the 3rd and 4th Watching the Risk Symposium 13th and 15th European Stroke Conferences, Mannheim, Germany, 2004, and Brussels, Belgium, 2006. *Cerebrovasc Dis.* 2012; 34(4): 290–296

3) Joseph F. Polak, M.D., M.P.H., Michael J. Pencina, Ph.D., Karol M. Pencina, Ph.D., Christopher J. O'Donnell, M.D., M.P.H., Philip A. Wolf, M.D., and Ralph B. D'Agostino, Sr., Ph.D. Carotid-Wall Intima-Media Thickness and Cardiovascular Events. *N Engl J med* 365; 3, 2011

4) North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators: Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis *N Engl J Med* 325: 445-453. 1991

5) European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group : MRC European Carotid Surgery Trial: interim results for symptomatic patients with severe (70-99%) or with mild (0-29%) carotid stenosis. *Lancet* 337:1235-1243. 1991

6 : 1~4

1) Fujishiro K et al: Haemodynamic changes in carotid blood flow with age. *Jikeikai Med J.* 1982;29, 125-138.)

2) Sheel P, et al: Floe velocity and flow volume measurements in the extracranial carotid and vertebral arteries in healthy adults: *Ultrasound Med Biol.* 2000; 26: 1261-1266,

3) 内田智子 : 超音波カラー Doppler 断層装置による椎骨動脈血流量測定と基準値の決定. *慈恵医大誌.* 1994;109:995-1007

4) Yasaka M, Omae T, Tsuchiya T, et al: Ultrasonic evaluation of the site of carotid axis occlusion in patients with acute cardioembolic stroke. *Stroke.* 1992; 23: 420-422

7.1, 2 : 1~35

1) Touboul PJ, Labreuche J, Vicaud E, Belliard JP, Cohen S, Kownator S, Pithois-Merli I, Amarenco P and Investigators PS. Country-based reference values and impact of cardiovascular risk factors on carotid intima-media thickness in a French population: the 'Paroi Arterielle et Risque Cardio-Vasculaire' (PARC) Study. *Cerebrovasc Dis.* 2009; 27:361-7.

2) Tosetto A, Prati P, Baracchini C, Manara R and Rodeghiero F. Age-adjusted reference limits for carotid intima-media thickness as better indicator of vascular risk: population-based estimates from the VITA project. *Journal of thrombosis and haemostasis: JTH.* 2005; 3:1224-30.

3) Howard G, Sharrett AR, Heiss G, Evans GW, Chambless LE, Riley WA and Burke GL. Carotid artery intimal-medial thickness distribution in general populations as evaluated by B-mode ultrasound. ARIC Investigators. *Stroke.* 1993; 24: 1297-304.

4) Sekikawa A, Ueshima H, Kadowaki T, El-Saed A, Okamura T,

Takamiya T, Kashiwagi A, Edmundowicz D, Murata K, Sutton-Tyrrell K, Maegawa H, Evans RW, Kita Y and Kuller LH. Less subclinical atherosclerosis in Japanese men in Japan than in White men in the United States in the post-World War II birth cohort. *Am J Epidemiol.* 2007; 165: 617-24.

5) Choo J, Ueshima H, Jang Y, Sutton-Tyrrell K, El-Saed A, Kadowaki T, Takamiya T, Okamura T, Ueno Y, Nakamura Y, Sekikawa A, Curb JD, Kuller LH and Shin C. Difference in carotid intima-media thickness between Korean and Japanese men. *Annals of epidemiology.* 2008; 18:310-5.

6) Stein JH, Korcarz CE, Hurst RT, Lonn E, Kendall CB, Mohler ER, Najjar SS, Rembold CM and Post WS. Use of carotid ultrasound to identify subclinical vascular disease and evaluate cardiovascular disease risk: a consensus statement from the American Society of Echocardiography Carotid Intima-Media Thickness Task Force. Endorsed by the Society for Vascular Medicine. *J Am Soc Echocardiogr.* 2008; 21:93-111; quiz 189-90.

7) Lorenz MW, Markus HS, Bots ML, Rosvall M and Sitzer M. Prediction of clinical cardiovascular events with carotid intima-media thickness: a systematic review and meta-analysis. *Circulation.* 2007; 115:459-67.

8) Iwakiri T, Yano Y, Sato Y, Hatakeyama K, et al. Usefulness of carotid intima-media thickness measurement as an indicator of generalized atherosclerosis: Findings from autopsy analysis. *Atherosclerosis.* 2012.

9) Homma S, Hirose N, Ishida H, Ishii T and Araki G. Carotid plaque and intima-media thickness assessed by b-mode ultrasonography in subjects ranging from young adults to centenarians. *Stroke.* 2001; 32:830-5.

10) Kadota A, Miura K, Okamura T, Fujiyoshi A, Ohkubo T, Kadowaki T, Takashima N, Hisamatsu T, Nakamura Y, Kasagi F, Maegawa H, Kashiwagi A, Ueshima H, Group SR and Group NDR. Carotid intima-media thickness and plaque in apparently healthy Japanese individuals with an estimated 10-year absolute risk of CAD death according to the Japan Atherosclerosis Society (JAS) guidelines 2012: the Shiga Epidemiological Study of Subclinical Atherosclerosis (SESSA). *J Atheroscler Thromb.* 2013; 20:755-66.

11) Kitamura A, Iso H, Imano H, Ohira T, Sato S, Naito Y, Iida M and Shimamoto T. Prevalence and correlates of carotid atherosclerosis among elderly Japanese men. *Atherosclerosis.* 2004; 172:353-9.

12) Noda H, Iso H, Yamashita S, Ueno H, Yokode M, Yamada N, Ouchi Y and Defining Vascular Disease Research G. Risk stratification based on metabolic syndrome as well as non-metabolic risk factors in the assessment of carotid atherosclerosis. *J Atheroscler Thromb.* 2011; 18:504-12.

13) Hayashida H, Saito T, Kawasaki K, Kitamura M, Furugen R, Iwasaki T, Hayashida Y, Nakazato M, Sekita T, Takamura N and

- Maeda T. Association of periodontitis with carotid artery intima-media thickness and arterial stiffness in community-dwelling people in Japan: the Nagasaki Islands study. *Atherosclerosis*. 2013; 229:186-91.
- 14) Ohara T, Kokubo Y, Toyoda K, Watanabe M, Koga M, Nakamura S, Nagatsuka K, Minematsu K, Nakagawa M and Miyamoto Y. Impact of chronic kidney disease on carotid atherosclerosis according to blood pressure category: the Suita study. *Stroke*. 2013; 44: 3537-9.
- 15) Murata-Mori F, Hayashida N, Ando T, Ikeoka T, Nakazato M, Sekita H, Abiru N, Yamasaki H, Maeda T, Kawakami A and Takamura N. Association of the GCKR rs780094 polymorphism with metabolic traits including carotid intima-media thickness in Japanese community-dwelling men, but not in women. *Clinical chemistry and laboratory medicine*: 2014; 52:289-95.
- 16) Oguro R, Kamide K, Kokubo Y, Shimaoka I, et al. Association of carotid atherosclerosis with genetic polymorphisms of the klotho gene in patients with hypertension. *Geriatrics & gerontology international*. 2010; 10:311-8.
- 17) Mannami T, Katsuya T, Baba S, Inamoto N, Ishikawa K, Higaki J, Ogihara T and Ogata J. Low potentiality of angiotensin-converting enzyme gene insertion/deletion polymorphism as a useful predictive marker for carotid atherogenesis in a large general population of a Japanese city: the Suita study. *Stroke*. 2001; 32:1250-6.
- 18) Katano H, Ohno M and Yamada K. Protection by physical activity against deleterious effect of smoking on carotid intima-media thickness in young Japanese. *Journal of stroke and cerebrovascular diseases: the official journal of National Stroke Association*. 2013; 22:176-83.
- 19) Takayama S, Kawamoto R, Kusunoki T, Abe M and Onji M. Uric acid is an independent risk factor for carotid atherosclerosis in a Japanese elderly population without metabolic syndrome. *Cardiovasc Diabetol*. 2012; 11:2.
- 20) Abe T, Aoki T, Yata S and Okada M. Sleep duration is significantly associated with carotid artery atherosclerosis incidence in a Japanese population. *Atherosclerosis*. 2011; 217:509-13.
- 21) Ohnishi H, Sawayama Y, Furusyo N, Maeda S, et al. Risk factors for and the prevalence of peripheral arterial disease and its relationship to carotid atherosclerosis: the Kyushu and Okinawa Population Study (KOPS). *J Atheroscler Thromb*. 2010; 17:751-8.
- 22) Kitamura A, Iso H, Imano H, Ohira T, Okada T, Sato S, Kiyama M, Tanigawa T, Yamagishi K and Shimamoto T. Carotid intima-media thickness and plaque characteristics as a risk factor for stroke in Japanese elderly men. *Stroke*. 2004; 35:2788-94.
- 23) Mannami T, Baba S and Ogata J. Strong and significant relationships between aggregation of major coronary risk factors and the acceleration of carotid atherosclerosis in the general population of a Japanese city: the Suita Study. *Archives of internal medicine*. 2000; 160:2297-303.
- 24) Polak JF, Pencina MJ, O'Leary DH and D'Agostino RB. Common carotid artery intima-media thickness progression as a predictor of stroke in multi-ethnic study of atherosclerosis. *Stroke*. 2011; 42:3017-21.
- 25) Hodis HN, Mack WJ, LaBree L, Selzer RH, Liu CR, Liu CH and Azen SP. The role of carotid arterial intima-media thickness in predicting clinical coronary events. *Ann Intern Med*. 1998; 128:262-9.
- 26) Hosomi N, Mizushige K, Ohyama H, Takahashi T, Kitadai M, Hatanaka Y, Matsuo H, Kohno M and Koziol JA. Angiotensin-converting enzyme inhibition with enalapril slows progressive intima-media thickening of the common carotid artery in patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Stroke*. 2001; 32:1539-45.
- 27) Nohara R, Daida H, Hata M, Kaku K, Kawamori R, Kishimoto J, Kurabayashi M, Masuda I, Sakuma I, Yamazaki T, Yokoi H, Yoshida M and Justification for Atherosclerosis Regression Treatment I. Effect of intensive lipid-lowering therapy with rosuvastatin on progression of carotid intima-media thickness in Japanese patients: Justification for Atherosclerosis Regression Treatment (JART) study. *Circ J*. 2012; 76:221-9.
- 28) Mita T, Watada H, Ogihara T, Nomiya T, Ogawa O, Kinoshita J, Shimizu T, Hirose T, Tanaka Y and Kawamori R. Eicosapentaenoic acid reduces the progression of carotid intima-media thickness in patients with type 2 diabetes. *Atherosclerosis*. 2007; 191:162-7.
- 29) Koyasu M, Ishii H, Watarai M, Takemoto K, Inden Y, Takeshita K, Amano T, Yoshikawa D, Matsubara T and Murohara T. Impact of acarbose on carotid intima-media thickness in patients with newly diagnosed impaired glucose tolerance or mild type 2 diabetes mellitus: A one-year, prospective, randomized, open-label, parallel-group study in Japanese adults with established coronary artery disease. *Clinical therapeutics*. 2010; 32:1610-7.
- 30) Yamasaki Y, Katakami N, Furukado S, Kitagawa K, Nagatsuka K, Kashiwagi A, Daida H, Kawamori R and Kaku K. Long-term effects of pioglitazone on carotid atherosclerosis in Japanese patients with type 2 diabetes without a recent history of macrovascular morbidity. *J Atheroscler Thromb*. 2010; 17:1132-40.
- 31) Okada K, Maeda N, Tatsukawa M, Shimizu C, Sawayama Y and Hayashi J. The influence of lifestyle modification on carotid artery intima-media thickness in a suburban Japanese population. *Atherosclerosis*. 2004; 173:329-37.
- 32) Goldberger ZD, Valle JA, Dandekar VK, Chan PS, Ko DT and Nallamothu BK. Are changes in carotid intima-media thickness related to risk of nonfatal myocardial infarction? A

critical review and meta-regression analysis. *Am Heart J.* 2010; 160:701-14.

33) Okayama KI, Mita T, Gosho M, Yamamoto R, Yoshida M, Kanazawa A, Kawamori R, Fujitani Y and Watada H. Carotid intima-media thickness progression predicts cardiovascular events in Japanese patients with type 2 diabetes. *Diabetes research and clinical practice.* 2013; 101:286-92.

34) Peters SA, den Ruijter HM, Grobbee DE and Bots ML. Results from a carotid intima-media thickness trial as a decision tool for launching a large-scale morbidity and mortality trial. *Circulation Cardiovascular imaging.* 2013; 6:20-5.

35) Lorenz MW, Polak JF, Kavousi M, Mathiesen EB, Volzke H, Tuomainen TP, Sander D, Plichart M, Catapano AL, Robertson CM, Kiechl S, Rundek T, Desvarieux M, Lind L, Schmid C, DasMahapatra P, Gao L, Ziegelbauer K, Bots ML and Thompson SG. Carotid intima-media thickness progression to predict cardiovascular events in the general population (the PROG-IMT collaborative project): a meta-analysis of individual participant data. *Lancet.* 2012; 379:2053-62.

7.3 : 1~3

1) PJ Touboul, MG Hennerici, S Meairs, H Adams, P Amarenco, N Bornstein, L Csiba, M1, Desvarieux, S Ebrahim, R. Hernandez Hernandez, M Jaff, S Kownator, T Naqvi, P Prati, TRundek, M Sitzler, U Schminke, JC Tardif, A Taylor, E Vicaut, and KS Woo : Mannheim Carotid Intima-Media Thickness and Plaque Consensus (2004–2006–2011): An Update on Behalf of the Advisory Board of the 3rd and 4th Watching the Risk Symposium 13th and 15th European Stroke Conferences, Mannheim, Germany, 2004, and Brussels, Belgium, 2006. *Cerebrovasc Dis.* 2012; 34(4): 290–296

2) Kume S, Hibino S, et al. Jelly fish sign (内頸動脈可動性 plaque) の病理とその臨床像 *Neurosonology* 20:1, 21-24, 2007

3) Ogata T, Yasaka M, Wakugawa Y, Kitazono T, Okada Y. Morphological Classification of Mobile Plaques and Their Association with Early Recurrence of Stroke. *Cerebrovasc Dis* 2010; 30: 606–611

7.4 : 1~3

1) Touboul PJ, Hennerici MG, Meairs S et al. Mannheim carotid intima-media thickness and plaque consensus (2004–2006–2011). An update on behalf of the advisory board of the 3rd, 4th and 5th watching the risk symposia, at the 13th, 15th and 20th European Stroke Conferences, Mannheim, Germany, 2004, Brussels, Belgium, 2006, and Hamburg, Germany, 2011. *Cerebrovasc Dis* 2012; 34: 290-6.

2) Fujishiro K et al: Haemodynamic changes in carotid blood flow with age. *Jikeikai Med J.* 1982;29, 125-138.)

3) Sheel P, et al: Flow velocity and flow volume measurements in the extracranial carotid and vertebral arteries in healthy

adults: *Ultrasound Med Biol.* 2000;26: 1261-1266,

7.5 : 1~13

1) 超音波による頸動脈病変の標準的評価法. *Jpn J Med Ultrasonics.* 36(4), 2009, 502

2) Koga M, Kimura K, Minematsu K, Yamaguchi T. Diagnosis of internal carotid artery stenosis greater than 70% with power Doppler duplex sonography. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2001 Feb; 22(2):413-7.

3) Grant EG, Benson CB, Moneta GL, Alexandrov AV, Baker JD, Bluth EI, Carroll BA, Eliasziw M, Gocke J, Hertzberg BS, Katanick S, Needleman L, Pellerito J, Polak JF, Rholl KS, Wooster DL, Zierler RE. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis--Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference. *Radiology.* 2003 Nov; 229(2):340-6.

4) Sabeti S, Schillinger M, Mlekusch W, Willfort A, Haumer M, Nachtmann T, Müllner M, Lang W, Ahmadi R, Minar E. Quantification of internal carotid artery stenosis with duplex US: comparative analysis of different flow velocity criteria. *Radiology.* 2004 Aug; 232(2):431-9.

5) Huston J 3rd, James EM, Brown RD Jr, Lefsrud RD, Ilstrup DM, Robertson EF, Meyer FB, Hallett JW. Redefined duplex ultrasonographic criteria for diagnosis of carotid artery stenosis. *Mayo Clin Proc.* 2000 Nov; 75(11):1133-40.

6) Oates CP, Naylor AR, Hartshorne T, Charles SM, Fail T, Humphries K, Aslam M, Khodabakhsh P. Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2009 Mar; 37(3):251-61.

7) von Reutern GM, Goertler MW, Bornstein NM, Del Sette M, Evans DH, Hetzel A, Kaps M, Perren F, Razumovsky A, von Reutern M, Shiogai T, Titianova E, Traubner P, Venketasubramanian N, Wong LK, Yasaka M; Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. Grading carotid stenosis using ultrasonic methods. *Stroke.* 2012 Mar; 43(3):916-21.

8) Dhanjil S, Jameel M, Nicolaides A, Belcaro, G, Williams M, Griffin M, Ramaswami G: Ratio of Peak Systolic Velocity of Internal Carotid to End Diastolic Velocity of Common Carotid: New Duplex Criteria for Grading Internal Carotid Stenosis. *J Vasc Technol* 1997; 21; 237-40

9) Jahromi AS, Cinà CS, Liu Y, Clase CM. Sensitivity and specificity of color duplex ultrasound measurement in the estimation of internal carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. *J Vasc Surg.* 2005 Jun; 41(6): 962-72. Review. PubMed PMID: 15944595.

10) Setacci C, Chisci E, Setacci F, Iacoponi F, de Donato G. Grading carotid intrastent restenosis: a 6-year follow-up study. *Stroke.* 2008; 39:1189-1196.

11)Chi YW, White CJ, Woods TC, Goldman CK. Ultrasound velocity criteria for carotid in-stent restenosis. Catheter Cardiovasc Interv. 2007; 69:349-354.

12)Zhou W, Felkai DD, Evans M, McCoy SA, Lin PH, Kougias P, El-Sayed HF, Lumsden AB. Ultrasound criteria for severe in-stent restenosis following carotid artery stenting. J Vasc Surg. 2008; 47:74-80.

13)AbuRahma AF, Stone P, Deem S, Dean LS, Keiffer T, Deem E. Proposed duplex velocity criteria for carotid restenosis following carotid endarterectomy with patch closure. J Vasc Surg. 2009; 50:286-291.

7.6 : 1~3

1) Yasaka M, Omae T, Tsuchiya T, et al: Ultrasonic evaluation of the site of carotid axis occlusion in patients with acute cardioembolic stroke. Stroke 1992; 23; 420-422

2) Kimura K, Yonemura K, Terasaki T et al.: Duplex carotid sonography in distinguishing acute unilateral atherothrombotic from cardioembolic carotid artery occlusion. Am J Neuroradiol 1997; 18; 1447-1452.

3) Saito. K, et al; Vertebral artery occlusion in duplex color-coded ultrasonography. Stroke 2004; 35; 1068-72

8 : 1,2

1) 小谷敦志 : アンケート調査からみた頸動脈超音波検査の現状. 臨床検査 57:156-161,2013

2) 小谷敦志, 濱口浩敏, 松尾汎 : 頸動脈エコースクリーニング基本的検査項目手順の策定. J Ultrasound Med 2016; 43; 723-728

9 : 1~7

1) Maeda H, Handa N, Matsumoto M et al.: Carotid lesions detected by B-mode ultrasonography in Takayasu's arteritis:

“macaroni sign” as an indicator of the disease. Ultrasound in Medicine and Biology 17: 695-701, 1991.

2) 福住典子, 濱口浩敏, 高坂仁美ほか : 頭蓋外椎骨動脈解離 5 症例のエコー所見についての検討. Neurosonology 26(1): 12-15, 2013.

3) 濱口浩敏, 今西孝充, 高坂仁美ほか : 診断, 治療効果の判定に側頭動脈エコー検査が有用であった側頭動脈炎症例の検討. Neurosonology 21(2): 107-111, 2008.

4) Schmidt WA: Doppler sonography in rheumatology. Best Pract Res Clin Rheumatol 18, 2004, 827-846

5) Yasaka M et al. Bottle neck sign of the proximal portion of the internal carotid artery in moyamoya disease. J Ultrasound Med. 25, 2006, 1574.

6) Sorensen, BF. Bow hunter's stroke. Neurosurgery. 2, 1978, 259-61.

7) Sakaguchi M et al. Mechanical compression of the extracranial vertebral artery during neck rotation. Neurology. 61, 2003, 845-7.

10 : 1~3

1) Setacci C, Chisci E, Setacci F, Iacoponi F, de Donato G. Grading carotid intrastent restenosis: a 6-year follow-up study. Stroke. 2008; 39:1189-1196.

2) Chi YW, White CJ, Woods TC, Goldman CK. Ultrasound velocity criteria for carotid in-stent restenosis. Catheter Cardiovasc Interv. 2007; 69:349-354.

3) Zhou W, Felkai DD, Evans M, McCoy SA, Lin PH, Kougias P, El-Sayed HF, Lumsden AB. Ultrasound criteria for severe in-stent restenosis following carotid artery stenting. J Vasc Surg. 2008; 47:74-80