

超音波によるバスキュラーアクセスの標準的評価法 2024（案）

超音波によるバスキュラーアクセスの標準的評価法小委員会
（敬称略，五十音順）

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脳神経内科）
作成委員

赤坂 和美（釧路孝仁会記念病院循環器内科）
神山 直久（GEヘルスケアジャパン（株）超音波製品開発部）
菊地 実（日本医療大学保健医療学部・診療放射線学科）
小林 大樹（第二大阪警察病院臨床検査科）
長谷川英之（富山大学学術研究部工学系）
春口 洋昭（飯田橋春口クリニック）*
人見 泰正（桃仁会病院臨床工学部）*
平井都始子（奈良県西和医療センター）
八鍬 恒芳（東邦大学医療センター大森病院臨床生理機能検査部）
山本 裕也（大川VA透析クリニック検査部）
渡邊 亮司（済生会今治病院検査部）

*：協力員

2024/8/9 時点

【目次】

	ページ
略語一覧表	(●)
作成の背景と目的	(●)
総論	(●)
1. バスキュラーアクセスと超音波検査	(●)
1.1 バスキュラーアクセス	(●)
a) 定義	(●)
b) 種類	(●)
1.2 バスキュラーアクセスに対する超音波検査	(●)
a) 目的	(●)
b) 対象と適応	(●)
2. 血管解剖	(●)
2.1 動脈	(●)
2.2 静脈	(●)
3. 身体所見	(●)
3.1 視診	(●)
3.2 触診	(●)
3.3 聴診	(●)
3.4 上肢挙上法	(●)
4. プロープの選択	(●)
5. 装置の設定	(●)
5.1 エコーゲイン	(●)
5.2 フォーカス	(●)
5.3 ダイナミックレンジ	(●)
5.4 視野深度	(●)
5.5 カラー Doppler 法	(●)
5.6 パルス Doppler 法	(●)
5.7 心電図の記録	(●)
6. 検査体位と画像表示法	(●)
6.1 検査体位	(●)
6.2 画像表示法	(●)
7. 検査手順	(●)
7.1 概要	(●)
7.2 機能評価	(●)
7.3 形態評価	(●)
a) 自己血管内シヤントの形態評価の手順	(●)

b) 人工血管内シャントの形態評価の手順	(●)
c) 動脈表在化の形態評価の手順	(●)
7.4 その他の評価	(●)
各論	(●)
8. 機能評価	(●)
8.1 血流量・抵抗指数	(●)
a) 血流量	(●)
b) 抵抗指数	(●)
c) 自己血管内シャントにおける機能評価	(●)
d) 人工血管内シャントにおける機能評価	(●)
8.2 血流量・低抵抗指数の測定手技	(●)
8.3 測定における注意点	(●)
a) 測定部位に関する注意点	(●)
b) 血管の描出	(●)
c) 上腕動脈が高位で分岐する場合の機能評価	(●)
d) パルスドプラ法の角度補正	(●)
e) 平均血流速度	(●)
f) サンプルボリュームの設定	(●)
g) 血管径の計測	(●)
h) 不整脈を有する場合の測定	(●)
i) 石灰化などにより血流速波形の描出が不良の場合	(●)
j) パルスドプラ法におけるドプラゲインの調整	(●)
8.4 機能評価の基準値と結果の解釈	(●)
9. 形態評価	(●)
9.1 狭窄の観察	(●)
9.2 狭窄の評価法	(●)
9.3 閉塞の評価法	(●)
10. 透析時に生じるトラブル	(●)
10.1 脱血不良	(●)
10.2 静脈圧の上昇	(●)
10.3 再循環	(●)
10.4 止血困難	(●)
10.5 穿刺困難	(●)
11. バスキュラーアクセスの合併症	(●)
11.1 静脈高血圧症	(●)
11.2 スチール症候群	(●)
11.3 瘤	(●)
11.4 感染	(●)
11.5 過剰血流	(●)

参考	(●)
12. バスキュラーアクセス新規作製の術前評価	(●)
12.1 術前評価を行う際に必要なバスキュラーアクセス作製の基礎知識	(●)
12.2 観察する血管	(●)
12.3 身体所見	(●)
12.4 超音波によるバスキュラーアクセス作製の術前評価の流れ	(●)
12.5 超音波による動脈の術前評価	(●)
12.6 超音波による静脈の術前評価	(●)
13. 報告書例	(●)
13.1 症例 1	(●)
13.2 症例 2	(●)
13.3 症例 3	(●)
13.4 症例 4	(●)

略語	フルスペル	日本語
AT	acceleration time	加速時間
AVF	arteriovenous fistula	自己血管内シャント
AVG	arteriovenous graft	人工血管内シャント
BCAVF	brachiocephalic arteriovenous fistula	上腕動脈—橈側皮静脈間の AVF
BVT	basilic vein transposition	尺側皮静脈転位内シャント ※尺側皮静脈の転位による上腕動脈—尺側皮静脈間の AVF (TBBAVF: transposed brachio-basilic arterio-venous fistula) と同義である
EDV	end-diastolic flow velocity	拡張末期血流速度
ePTFE	expanded polytetrafluoroethylene	延伸ポリテトラフルオロエチレン
MVFI	Microvascular flow imaging	微細血流イメージング
PSV	peak systolic flow velocity	収縮期最高血流速度
PSVR	peak systolic velocity ratio	収縮期最高血流速度比
PU	polyurethane	ポリウレタン (製人工血管)
QB	quantity of blood flow	脱血流量
RCAVF	radiocephalic AVF	橈骨動脈—橈側皮静脈間の AVF
RI	resistance index	抵抗指数
SSS	subclavian steal syndrome	鎖骨下動脈盗血症候群
TAMV	time-averaged maximum flow velocity	時間平均最高血流速度
TAV	time-averaged flow velocity	時間平均血流速度
UBAVF	ulnarbasilic AVF	尺骨動脈—尺側皮静脈間の AVF
VA	vascular access	バスキュラーアクセス

【作成の背景と目的】

バスキュラーアクセス (vascular access: VA) に対する超音波検査の活用法は、シャント作製前の血管評価から術後の評価、またモニタリングや合併症の評価など多岐にわたる。本領域はさまざまな学会が関連し、超音波検査においては臨床検査技師や診療放射線技師のみならず、最近では、医師からのタスク・シフト/シェアにより臨床工学技士や看護師が従事する施設が増えている。この超音波によるバスキュラーアクセスの標準的評価法（以下、標準的評価法と呼ぶ）では、VA を正しく評価するための検査手技や方法論について重きを置いた。VA 評価においては、機能評価が重要である。それに加えて、形態評価を行い、両者を総合的に判断することが望ましい。その他、身体所見や透析で生じる異常所見、患者に生じる異常所見などについては、主たるものは記載しているが、詳細については他の文献を参照されたい。

本標準的評価法の目的は、信頼性の高い情報を臨床側に提供するために必要な超音波装置の設定および標準的な機能・形態評価法、検査手技を示すことである。

注意) この標準的評価法においては、血流の方向に関係なく、手指側を末梢側、心臓側を中枢側と呼ぶこととする。

【総論】

1. バスキュラーアクセスと超音波検査

- ◆VA は、血液浄化（血液透析など）を施行するために必要な血液の出入り口であり、動脈と静脈が短絡を形成する「シャント」と短絡がない「非シャント」がある。
- ◆VA 超音波検査の目的は、VA の機能及び形態を評価して、臨床側に提供することである。
- ◆VA 超音波検査の対象は、自己血管内シャント（AVF）や人工血管内シャント（AVG）、動脈表在化であり、適応は VA 作製の術前の血管評価や透析時に生じるトラブル、VA 合併症である。

1.1 バスキュラーアクセス

a) 定義

VA とは、血液浄化（血液透析など）を施行するために必要な血液の出入り口であり、血液透析患者にとって必要不可欠なものである。

b) 種類

VA はさまざまな形態をとるが、図 1-a に示すように動脈と静脈が短絡を形成する「シャント」と短絡がない「非シャント」に分けることができる。従来、シャントには外シャントと内シャントがあったが、現在、外シャントは使用されておらず、すべて内シャントとなっている。内シャントには自己血管内シャント（arteriovenous fistula: AVF）と人工血管内シャント（arteriovenous graft: AVG）がある。一方で、上腕動脈表在化や留置カテーテルはシャントには該当しない。図 1-b に VA の種類（例）を示す。良質な透析を行うためには、VA を良好な状態に維持する必要があり、その管理に超音波を用いた評価法がある¹⁻³⁾。

・AVF とは動静脈を外科的に吻合した VA であり、動脈の血流が静脈に流れ込む血行動態を有する VA である。橈骨動脈と橈側皮静脈を吻合した radiocephalic AVF (RCAVF) や尺骨動脈と尺側皮静脈を吻合した ulnarbasilic AVF (UBAVF)、肘部の上腕動脈と橈側皮静脈を吻合した brachiocephalic AVF (BCAVF)、穿刺できるように上腕の尺側皮静脈を皮下に転位し、上腕動脈と吻合した尺側皮静脈転位内シャント (basilic vein transposition: BVT) などがある。また吻合部位は手関節部、前腕部、肘窩部などがある。通常、発達した静脈に脱血部と返血部の 2 箇所を穿刺を行う。AVF は、VA の中で最

も割合が多く、開存性に優れている。

・AVG とは、人工血管を移植し動脈と静脈にそれぞれ吻合した VA である（動脈と静脈の間に人工血管を介している）。人工血管は皮下組織内に留置し、通常この部位の 2 箇所を穿刺を行う。人工血管は前腕部や上腕部にループ型やストレート型、カーブ型に移植するタイプがある。動静脈が細いなどの理由で AVF が作製できない場合、AVG の適応になる。

・動脈表在化とは、筋膜下を走行している動脈を外科手術によって、穿刺しやすいように皮下組織内に持ち上げたものである。表在化された動脈にて脱血穿刺のみを行うため、これとは別に返血できる静脈が必要になる。また、AVF や AVG のように、動静脈の短絡を作っていないことが特徴である。心機能が不良などの理由で内シャント (AVF, AVG) が作製できない場合、動脈表在化が適応となる。

・留置カテーテルとは、緊急で透析が必要になった場合や AVF, AVG の使用、作製が困難になった場合、アクセス作製後に穿刺できるまでの間に bridge use として留置する場合に、使用する透析用のカテーテルである。カフ型は長期的に使用でき、非カフ型は一時的に使用する。内頸静脈や鎖骨下静脈、大腿静脈にカテーテルを留置して、血液の脱血と返血を行う。

1.2 バスキュラーアクセスに対する超音波検査

a) 目的

VA に対して超音波検査を施行する目的は、VA の機能および形態を評価し、VA 管理や治療方針

図 1-a VA の種類と分類

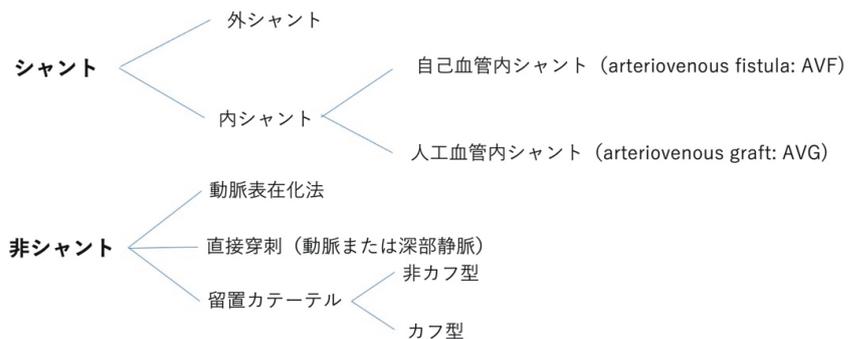
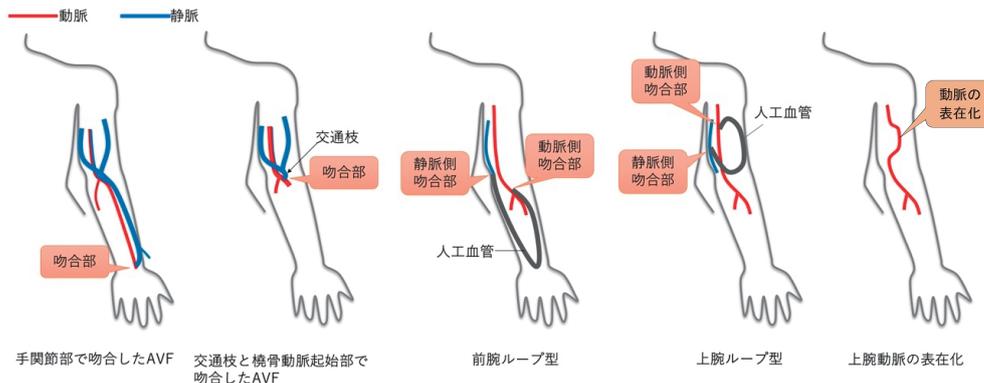


図 1-b VA の種類 (例)



に活用できる情報を臨床側に提供することである。

スチール症候群、瘤、感染、過剰血流など)

b) 対象と適応

・対象

- 主に上肢に作製された AVF や AVG, 動脈表在化
- 透析導入のための VA 新規作製の術前評価

・適応

- VA 新規作製の術前評価
- 身体診察 (視診, 触診, 聴診) で得られた異常所見
- 透析時に生じるトラブル (脱血不良, 静脈圧上昇, 再循環, 止血困難など)
- VA の合併症 (狭窄, 閉塞, 静脈高血圧症,

【文献】

- 1) 村上康一, 猪又扶美, 奈良起代子, ほか. シャント管理における超音波パルスドップラー法の有用性について. 腎と透析. 2003; 56: 39-43.
- 2) 小林大樹, 元上七奈, 浜田美生, ほか. アクセス血流量によるグラフト内シャントの surveillance. 腎と透析. 2004; 57: 118-20.
- 3) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, ほか. 自己血管内シャントにおける脱血不良発生と超音波検査における機能評価および形態評価との関連性. 透析会誌. 2012; 45: 1021-6.
- 4) Ogawa T, Matsumura O, Matsuda A, et al. Brachial artery blood flow measurement: A simple and noninvasive method to evaluate the need for arteriovenous fistula repair. Dial Transplant. 2011; 40: 206-10.

2. 血管解剖

- ◆VA の理解には、対象となる上肢血管の解剖の知識が必須である。
- ◆動脈では、上腕動脈の高位で分岐する解剖学的変異がみられる。
- ◆上肢の表在静脈は、走行や分枝の位置などのバリエーションが豊富で個人差が大きい。

VA は下肢に作製されることもあるが、非常に稀であるため、本標準的評価法では、上肢の血管の解剖を記す。

2.1 動脈 (図 2)

a) 主な上肢動脈

- 鎖骨下動脈 (subclavian artery)

右は腕頭動脈から、左は大動脈弓からそれぞれ左右の鎖骨下動脈が分岐する。第一肋骨の外側縁までが鎖骨下動脈でその後腋窩動脈となる。

- 腋窩動脈 (axillary artery)

鎖骨下動脈から連続する血管で、第一肋骨の外側縁から大円筋の下縁までを腋窩動脈とする。腋窩動脈は胸肩峰動脈や肩甲下動脈などの分枝血管を分岐する。

- 上腕動脈 (brachial artery)

腋窩動脈から連続し、大円筋の下縁から橈骨動脈・尺骨動脈の分岐までの血管である。上腕の近位部では内側を、遠位部では肘関節の前面を走行するようになる。肘関節の遠位部(前腕の基部付近)で、上腕動脈から橈骨動脈と尺骨動脈に分岐する。上腕動脈の主な分枝として上腕深動脈と上・下尺側側副動脈がある。

- 橈骨動脈 (radial artery)

上腕動脈から分岐し、前腕の外側(橈側)を走行する。遠位側で徐々に深部から浅部に位置するようになり手関節では最も浅い位置となる。手掌で深掌動脈弓に連続する。

- 尺骨動脈 (ulnar artery)

上腕動脈から分岐し、前腕の内側(尺側)を走行し手関節に至る。近位で総骨間動脈が分岐する。手掌で浅掌動脈弓に連続する。

- 深掌動脈弓 (deep palmar arch)

橈骨動脈から連続する血管であり、橈骨動脈が母

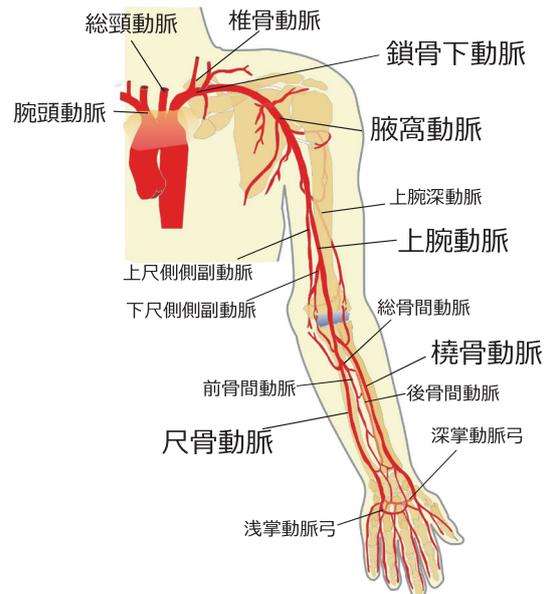


図 2 上肢動脈解剖 (左)

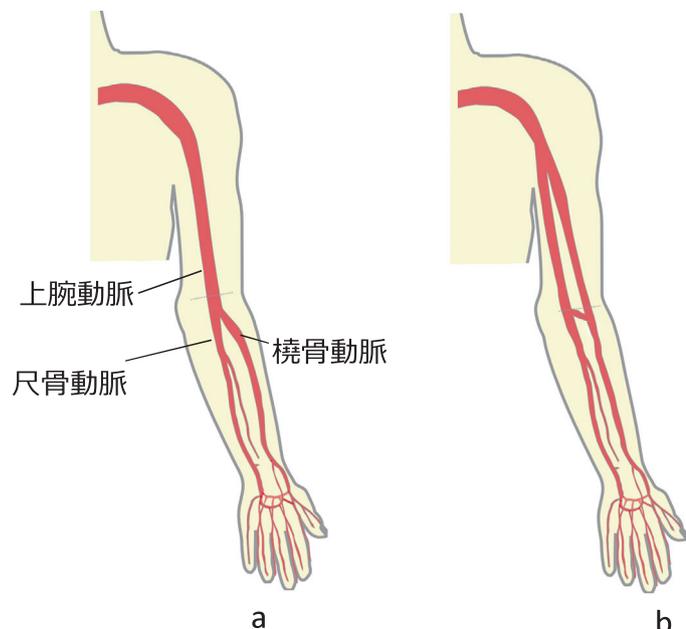


図 3 上肢動脈の走行変異例 (b)

※ a は通常の走行例

Robert Haładaj, Grzegorz Wysiadecki, Zbigniew Dudkiewicz, et al. The High Origin of the Radial Artery (Brachioradial Artery): Its Anatomical Variations, Clinical Significance, and Contribution to the Blood Supply of the Hand. Biomed Res Int. 2018 Jun 11; 2018: 1520929. を元に作図

指内転筋の2頭の間を通過して手掌の深部に達し深掌動脈弓を形成する。手掌の内側（尺側）では尺骨動脈の深掌枝と交通する。

- 浅掌動脈弓 (superficial palmar arch)

尺骨動脈からの連続する血管であり、尺骨動脈が手掌を横切って外側（橈側）に向かい、浅掌動脈弓を形成する。

b) 解剖学的変異 (図 3)

最もみられる上肢動脈の変異は、上腕動脈からの分岐が上腕の高位に位置するタイプである。報告にもよるが、剖検例ではおよそ10～15%前後¹⁻⁴⁾、血管造影で10%程度⁴⁾、超音波検査では7.7%でみられたとする報告がある⁵⁾。分岐の形態は複数あり^{2,6,7)}、さらに分岐位置の高さや肘部分の交通血管の走行形態などでも変異のバリエーションがある⁷⁾。超音波では、変異の詳細な形態を区別することは困難であるため、上腕動脈が高位で分岐する場合があることに留意して観察することとなる。

2.2 静脈

上肢の静脈は表在静脈と深部静脈に分けられる。VAでは、自己血管内シャント形成においてアクセスルート確保の目的から上肢の主な表在静脈（皮静脈）が動脈との吻合静脈になる。

a) 表在静脈 (図 4)

上肢の表在静脈は、主要な血管の走行や分岐の位置などのバリエーションが豊富で個人差が大きい^{8,9)}。代表的な血管と走行を記す。

- 橈側皮静脈 (cephalic vein)

手背静脈網から連続する。母指の付け根の解剖学的嗅ぎタバコ入れ (anatomical snuffbox : tabatière, タバチエール) の上から起こり、前腕遠位部の外側（橈側）から上肢の外側前面に回り近位に向かう。上腕では外側を走行し、大胸筋、三角筋、鎖骨の間のできる三角形の陥凹部である三角筋胸筋三角 (deltopectoral triangle) へ入る。その後鎖骨直下の深筋膜を貫いて腋窩静脈もしくは鎖骨下静脈に合流する。この合流部付近で橈側皮静脈が弓状に走行する部位はいわゆる“cephalic arch”とも

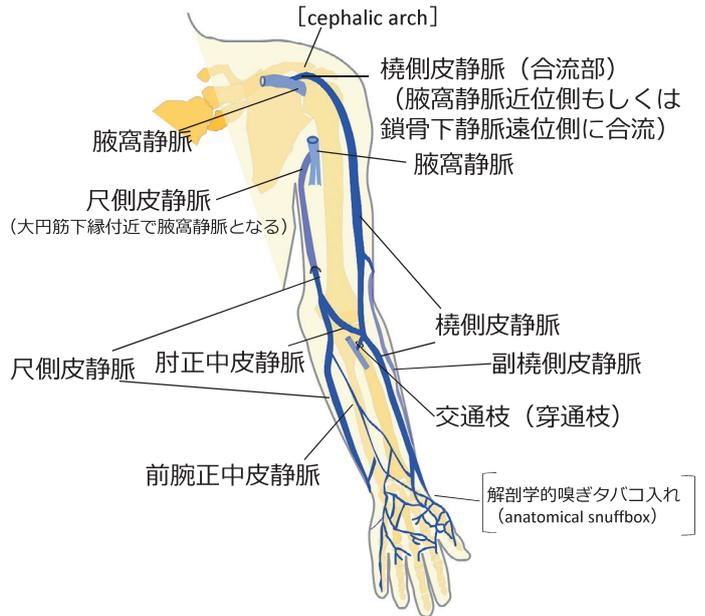


図 4 上肢の表在静脈解剖 (左)

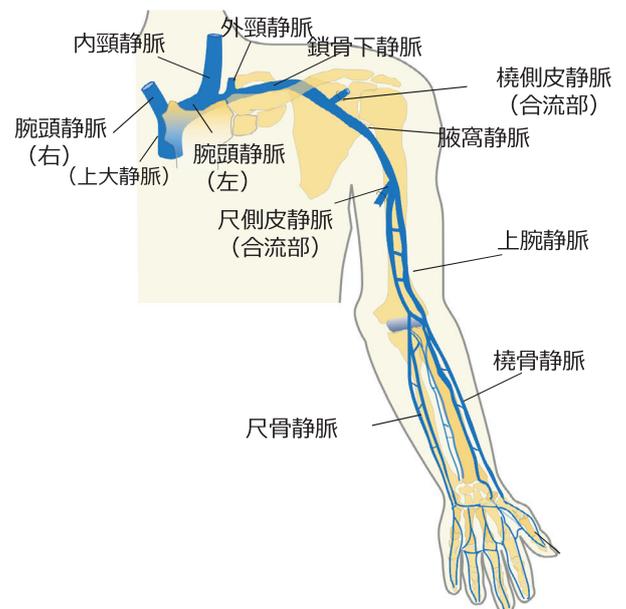


図 5 上肢深部静脈 (左)

呼ばれる。

- 尺側皮静脈 (basilic vein)

手背静脈網から起こり、前腕の内側（尺側）を通過して近位へ向かう。さらに肘の下方で上肢の前面に回り、上腕の途中で深筋膜を貫いて深部へ入り大円筋下縁付近で腋窩静脈に連続する¹⁰⁾。上腕静脈の1本に尺側皮静脈が合流する場合もある¹¹⁾。

- 副橈側皮静脈 (accessory cephalic vein)

橈側皮静脈と同様、手背静脈網から連続し橈側皮静脈の外側に沿って上行し、肘窩付近で橈側皮静脈に注ぐ。

– 肘正中皮静脈 (median cubital vein)

前腕の肘付近で橈側皮静脈から分岐し、肘窩の浅層を走行し上腕で尺側皮静脈に合流する。

b) 深部静脈 (図 5)

– 腕頭静脈 (brachiocephalic vein; 無名静脈)

鎖骨の内側付近で鎖骨下静脈と内頸静脈が合流し腕頭静脈となる。左右の腕頭静脈は合流して上大静脈となる。

– 鎖骨下静脈 (subclavian vein)

腋窩静脈が第一肋骨の外側縁で腋窩を出て鎖骨下静脈となる。腋窩静脈と鎖骨下静脈の境界部付近では橈側皮静脈が合流する。

– 腋窩静脈 (axillary vein)

上腕の上方で尺側皮静脈から連続する静脈で2対の上腕静脈が合流する血管である。腋窩静脈は第一肋骨の外側縁で腋窩を出て鎖骨下静脈となる。

– 上腕静脈 (brachial vein)

肘部付近で、それぞれ2対の橈骨静脈と尺骨静脈から連続する2対の静脈であり、腋窩静脈に合流する。

– 橈骨静脈 (radial vein)

手関節付近から橈骨側を走行する2対の静脈であり、上腕静脈に合流する。

– 尺骨静脈 (ulnar vein)

手関節付近から尺骨側を走行する2対の静脈であ

り、上腕静脈に合流する。

【文献】

- 1) M Rodríguez-Niedenführ, T Vázquez, L Nearn, et al. Variations of the arterial pattern in the upper limb revisited: a morphological and statistical study, with a review of the literature. *J Anat.* 2001; 199: 547-66.
- 2) Robert Haładaj, Grzegorz Wysiadecki, Zbigniew Dudkiewicz, et al. The High Origin of the Radial Artery (Brachioradial Artery): Its Anatomical Variations, Clinical Significance, and Contribution to the Blood Supply of the Hand. *Biomed Res Int.* 2018;11;2018: 1520929.
- 3) Robert Haładaj, Grzegorz Wysiadecki, Michał Polgaj, et al. Hypoplastic superficial brachioradial artery coexisting with atypical formation of the median and musculocutaneous nerves: a rare combination of unusual topographical relationships. *Surg Radiol Anat.* 2019; 41: 441-6.
- 4) Pelin C, Zagyapan R, Mas N, et al. An unusual course of the radial artery. *Folia Morphol (Warsz).* 2006; 65: 410-3.
- 5) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, ほか. 上腕動脈の高位分岐症例に対する基礎的検討. *腎と透析.* 2014; 77 (別冊アクセス 2014); 120-2.
- 6) Yang HJ, Gil YC, Jung WS, et al. Variations of the superficial brachial artery in Korean cadavers. *J Korean Med Sci.* 2008; 23: 884-7.
- 7) E Clarke, J Skrzat, M Mazur, et al. Anatomical variations of the superficial ulnar artery: case series observed on historical specimens prepared by Ludwik Karol Teichmann. *a Morphol (Warsz).* 2022; 81: 227-33.
- 8) W. Platzer (著), 平田幸男 (訳). 分冊解剖学アトラス I 第6版 運動器 末梢の導通路: 上肢, 肘窩. 文光堂; 2011. p.382-3.
- 9) 佐藤達夫. 根拠がわかる注射のための解剖学 Lecture 1, インターメディアカ. 2021. p.12-3.
- 10) Richard L, Drake, A.Wayne Vogl, et al. (原著), 秋田恵一 (訳). *グレイ解剖学 第4版 7章 上肢, 局所解剖・上腕, 動脈と静脈, 静脈.* エルゼビア・ジャパン; 2019. p.619.
- 11) W. Platzer (著), 平田幸男 (訳). 分冊解剖学アトラス I 第6版 運動器 末梢の導通路: 上肢, 肘窩. 文光堂, 2011. p.376-9.

3. 身体所見

- ◆VA 超音波検査を施行する前に、必ず身体所見（視診、触診、聴診、上肢挙上法）を取得する。
- ◆身体所見を取得することで、シャント血流の程度や病変部位が概ね推測可能となり、検査精度が向上する。

身体所見を取得することで、シャント血流の程度や病変部位が概ね推測可能であり、検査精度が向上する。

3.1 視診

<方法と所見>

- ① VA の種類を確認する：AVF, AVG, 上腕動脈表在化, その他.
- ②手指から上肢, 顔面を視る：腫脹, 浮腫, 発赤, 手指の潰瘍形成, 手指や爪の色調, 皮下血管の拡張（胸部を含む）, 顔面の浮腫, 母指球の委縮.
- ③ VA を視る：吻合部, 全体的な血管走行, 脱血穿刺部位, 返血穿刺部位の位置, 凹んでいる部分, 膨隆.

<疑うべき病態>

- ①全体的な腫脹, 皮下血管の拡張（胸部を含む）, 顔面の浮腫：静脈高血圧症
- ②全体的な浮腫：低栄養, 静脈高血圧症, 体液量過剰
- ③手指の潰瘍形成：スチール症候群, 静脈高血圧症（ソアサム症候群）
- ④発赤：感染, 血栓性静脈炎, テープなどによる接触性皮膚炎
- ⑤膨隆：真性瘤, 仮性瘤, 血管の蛇行, 血腫, 血清腫, 静脈拡張, 感染
- ⑥手指, 爪の色調不良：スチール症候群, 末梢循環障害
- ⑦母指球委縮：手根管症候群
- ⑧凹んでいる部分：狭窄, 血管の蛇行

3.2 触診

<方法と所見>

シャント静脈に触れ, 以下の状態をチェックする.

- ①拍動の有無と程度
- ②スリル（血流があるシャント血管において触知される細かい振動）の有無と程度
 - ・3本指での触診（全体的な評価）：良好な血

流を維持しているシャントでは, 全体的に良好なスリルを触知する.

- ・1本指での触診（局所的な評価）：局所の狭窄病変が疑われる.

- ③血管の硬さや血管を押し込んだ時の反発力
- ④血管の虚脱状態

<疑うべき病態>

- ①拍動性（断続的）に触知：中枢側に狭窄や閉塞病変の存在を疑う.
- ②局所のスリルを触知：その近傍に狭窄病変の存在を疑う.
- ③スリルの減弱・血管の虚脱：末梢に狭窄や閉塞病変の存在を疑う.
- ④血管そのものが硬い：閉塞による血栓形成や石灰化の沈着, 壁に血栓の存在など.
- ⑤瘤が拍動性に触知：瘤の中核側に責任病変の存在が疑われる.
- ⑥血管が固く触れる, スリルや拍動が消失している：シャント閉塞が考えられる.

3.3 聴診

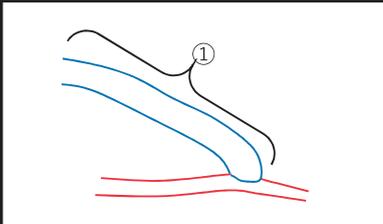
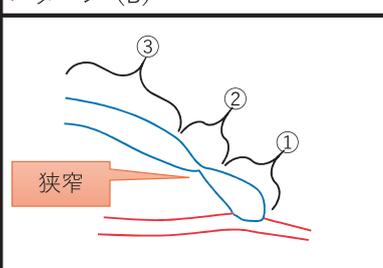
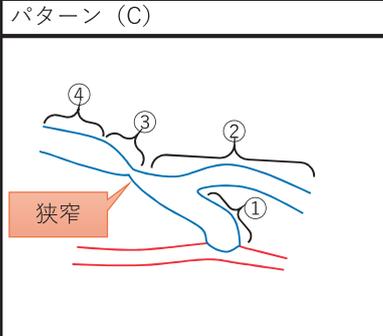
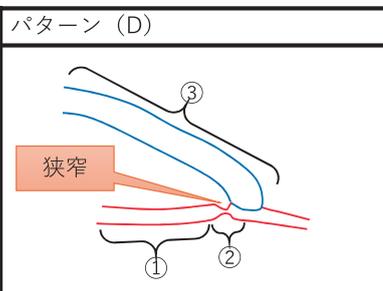
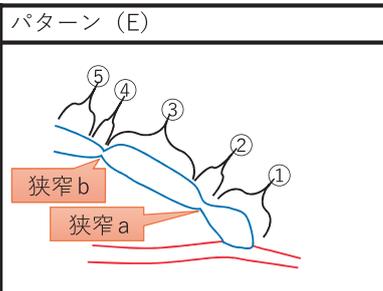
<方法と所見>

- ①聴診器を用いて, シャント血管に沿ってシャント音の状態や変化を評価する.
- ②聴診で評価すべきポイントとして, 音の高低, 大小, 連続性の3つが重要となる.

<疑うべき病態>

- ①高調音：この部位に狭窄病変の存在を疑う.
 - ※ただし, 高調音が聴取される部位であっても狭窄を認めなかったり, 狭窄があっても高調音を聴取しない場合もある.
- ②断続音：中枢に狭窄や閉塞病変の存在を疑う.
- ③中枢側までの大きな音：過剰血流
- ④微弱な音：低血圧, 脱水, 動脈硬化など.

※以下, 図6に代表的な身体所見を示す.

パターン (A)		触診	聴診
	①	全体的にスリルを触知する.中枢側になるほど,徐々にスリルは弱くなる.拍動性の所見は認めない.	断続音や高調音は認めない.
パターン (B)		触診	聴診
	①	拍動性	断続音
	②	スリル	高調音(*)
	③	スリルの減弱 血管の虚脱	シャント音の減弱
パターン (C)		触診	聴診
	①	スリル	断続音や高調音は認めない.
	②	スリル	断続音や高調音は認めない.
	③	弱いスリル (側副血行路の状態によってはスリルを触れない)	高調音(*)
	④	スリルの減弱 血管の虚脱	シャント音の減弱
パターン (D)		触診	聴診
	①	拍動性	断続音
	②	強いスリル	高調音(*)
	③	スリルの減弱 血管の虚脱	シャント音の減弱
パターン (E)		触診	聴診
 <p>狭窄 a より狭窄 b の方が高度である場合</p>	①	拍動性	断続音
	②	断続的な弱いスリル	高調音(*)
	③	スリル+拍動性 (弱)	断続音
	④	強いスリル	高調音(*)
	⑤	スリルの減弱 血管の虚脱	シャント音の減弱

(*) 高調音は聴こえないこともある.

図 6 身体所見と狭窄病変

3.4 上肢挙上法 (図7)

仰臥位でベッドに腕を載せている状態から、腕を挙上させることで、狭窄部位を境界にして、その中枢側で血管が虚脱することがある。図6のパターン(D)では、吻合部から静脈全体が虚脱するため、特に有用である。

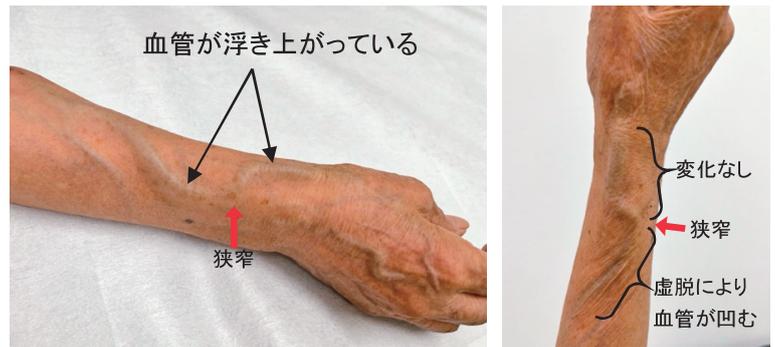


図7 上肢挙上法

4. プローブの選択

◆VA の評価（機能評価・形態評価）は，体表に近い部位を観察することが多いため，通常の検査には高周波リニア型プローブの使用を推奨する。

エコー画像の解像度は，送信する中心周波数に依存するため，適切なプローブの選択が重要になる。

VA の形態評価は，体表に近い表在静脈などを観察することが多いため，高周波リニア型プローブ（10 MHz 以上）の使用を推奨する。また，より広範囲な周波数帯（7～18 MHz など）のリニア型プローブも使用できる。深部を観察する場合は，周波数を低く設定して観察するとよい。

機能評価においても，高周波または広範囲な周波数帯のリニア型プローブを使用するとよい。測定する動脈が深部の場合は，周波数を低く設定するとよ

い。

上腕部より中枢側の観察深度が深い動脈や静脈の異常所見を疑う場合は，必要に応じてコンベックス型プローブ（マイクロコンベックス型プローブを含む）やセクタ型プローブなどを使用すると評価できることがある¹⁾。

※【総論】検査の手順の項を参照

【文献】

- 1) バスキュラーアクセス超音波検査の実践の手引き.
バスキュラーアクセス超音波研究会.
<https://vaultrasonic.com/pdf/guidance.pdf>

5. 装置の設定

- ◆ゲインやフォーカス、ダイナミックレンジ、視野深度など画像の条件設定を適切に行う。
- ◆カラードプラ法やパルスドプラ法においても、VA特有の条件設定で検査を行う。
- ◆心電図の記録は、心時相による血管径の変化が小さいことが多いため、必ずしも必要としない。

画像の条件設定

5.1 エコーゲイン (gain)

浅い深度での観察が多いため、オーバーゲインになる時はゲインとSTC (sensitivity time control) を組み合わせて調整する。血栓などの低輝度病変や静脈弁、血管壁の観察は、一時的にゲインを上げると有効である¹⁾。

5.2 フォーカス (focus)

フォーカス機能のある装置では、観察したい対象物に合わせてフォーカスポイントを置く。

5.3 ダイナミックレンジ (dynamic range)

シャント血管内の隆起性病変は石灰化を示す高エコー輝度から内膜損傷や剥離、壁在血栓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とエコーゲインを適宜調整する¹⁾。また、ノイズ低減のコンバウンド処理も活用することが望ましい。

5.4 視野深度 (depth)

視野深度は、観察血管により変更するが通常3 cm 前後に設定する。

5.5 カラードプラ法 (Doppler color flow imaging, Doppler color flow mapping)

カラードプラの色表示は、プローブに向かう血流は赤色、プローブから遠ざかる血流は青色とする。シャント血管ならびに上腕動脈の観察は、通常の静脈観察より流速レンジを広めに調整し、ノイズの影響が最小限となるようカラーゲインと合わせて適宜

調整する^{1,2)}。微細血流イメージングは、血管壁からはみ出しの少ない画像が得られるため搭載している装置では活用するとよい。

5.6 パルスドプラ法 (pulsed Doppler method)

パルスドプラの波形表示は、プローブに向かう血流は基線より上方、プローブから遠ざかる血流は基線より下方とする。血流方向とドプラ入射角度を60°以内にすするため、ドプラビームの傾斜機能 (スラント、ステアリング、オブリーク) を使う³⁾。抵抗指数 (resistance index: RI) を算出する際には、最低血流速度ではなく拡張末期血流速度 (end-diastolic flow velocity: EDV) を用いる⁴⁾。血流量算出に用いる平均血流速度は、時間平均血流速度 (time-averaged flow velocity: TAV) を用いるよう設定する⁵⁾。

5.7 心電図の記録

上腕動脈血流量の測定では血管径を計測するため心電図による心時相の参照が望ましいが、透析患者は動脈硬化により心時相による血管径の変化が小さいことが多いため必ずしも必要としない。

【文献】

- 1) 菊地実. バスキュラーアクセスの基本走査. Jpn J Ultrasonics. 2019; 46: 141-2.
- 2) 春口洋昭. バスキュラーアクセス超音波テキスト. 第1版. 医歯薬出版; 2017. p.28-30.
- 3) 春口洋昭. バスキュラーアクセス超音波テキスト. 第1版. 医歯薬出版; 2017. p.58.
- 4) 春口洋昭. バスキュラーアクセス超音波テキスト. 第1版. 医歯薬出版; 2017. p.61.
- 5) 春口洋昭. バスキュラーアクセス超音波テキスト. 第1版. 医歯薬出版; 2017. p.56-7.

6. 検査体位と画像表示法

- ◆検査は仰臥位で行う場合と座位で行う場合がある。
- ◆原則、短軸断面の表示法は、仰臥位の被検者を足側から俯瞰する像とし、長軸断面は、画面右側を末梢側（遠位、手指側）とする。

6.1 検査体位

a) 仰臥位での検査

【検側が右上肢の時】

- ・ 図 8 a のような配置とする。

【検側が左上肢の時】

- ・ 図 8 b のような配置とした場合、ベッドに対し頭尾方向が逆となるため画像表示とプローブの走査方向が逆になる¹⁾。
- ・ 図 8 c のような配置とした場合、検者から左上肢が遠くなりプローブの操作が難しくなる。

b) 座位での検査

シャントが右側でも左側でも検者と近くプローブ

【文献】

- 1) 春口洋昭. バスキュラーアクセス超音波テキスト. 第1版. 医歯薬出版; 2017. p35.

の操作が容易であるが（図 9），仰臥位の時と上腕動脈血流量が異なるため，前回と違う体位で実施した場合は体位を明記する。

6.2 画像表示法

短軸断面の表示法は、仰臥位の被検者を足側から俯瞰する像とする（図 10 a）。長軸断面の表示方法は、画面右側を末梢側（遠位、手指側）とするが、表示画面にその方向を表示すれば、その限りではない。



図 8 仰臥位で検査を行う場合

- a : 右上肢シャントのとき
- b : 左上肢シャントのときで頭尾方向を逆にしたとき
- c : 左上肢シャントのとき



図 9 座位で検査を行う場合

- a : 右上肢シャントのとき
- b : 左上肢シャントのとき

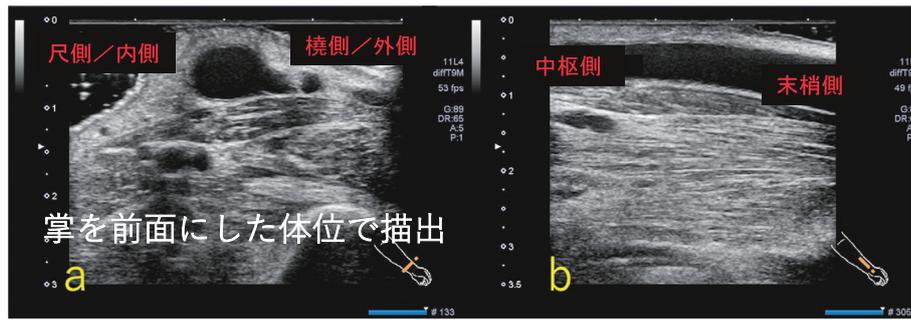


図 10 左上肢シャントの短軸表示 (a) と長軸表示 (b)

- a : 左側は尺側 (内側), 右側は橈側 (外側) (足側から俯瞰する像)
- b : 左側は中枢側 (近位, 躯幹側), 右側は末梢側 (遠位, 手指側)

7. 検査手順

- ◆機能評価：AVF, AVG に対して上腕動脈血流量と RI の評価を行う。
- ◆形態評価：動脈と静脈の走行や性状を評価する。
- ◆AVF の検査手順：上腕動脈で機能評価を行い、上腕動脈～静脈還流路にかけて形態評価を行う。
- ◆AVG の検査手順：上腕動脈で機能評価を行い、動脈～人工血管～静脈還流路の形態評価を行う。
- ◆上腕動脈表在化の検査手順：動脈の走行・性状などの形態評価を行う。
- ◆動脈・静脈ともに中枢側の病変が疑われる場合は、中枢側の評価も行う。

7.1 概要

本標準的評価法で推奨する VA エコーの検査手順を示す。検査目的や重要評価項目は患者ごとに異なるため、検査前に身体所見などを確認する。また、透析時のトラブルや VA の合併症に対しての状態把握や原因検索などにおいて迅速な評価が必要な場合がある。VA の評価法として、パルスドプラ法による機能評価と B モードやカラードプラ法などによる形態評価がある。評価法の中でも機能評価（血流量、RI）は VA 全体の状態を把握するうえで重要である。総合的な判断は形態評価と合わせて、両方の評価法により行う。

※【各論】機能評価、形態評価の項を参照

7.2 機能評価

AVF, AVG の機能的評価として、パルスドプラ法により上腕動脈の血流量、RI の測定を行う。これらの項目は、血行動態的に内シャントの機能を評価するための有効な指標であり^{1,2)}、透析療法における脱血に必要な VA の血流量を反映している。また AVG については、人工血管内が明瞭に描出できれば、人工血管内の血流量も測定可能である³⁾。

※【各論】機能評価の項を参照

7.3 形態評価

形態評価の目的は、血管走行の把握、狭窄病変などの検出と評価、透析時のトラブルや合併症の原因検索などである。観察は短軸像と長軸像で行い、まず、マッピングをして全体像を把握したのちに、狭窄・壁在血栓・瘤などの局所の評価をする。観察範囲は、VA 作製側の上肢における動脈、静脈還流路の観察し得る範囲とする。

- ・狭窄病変は、B モードおよびカラードプラ法（各メーカー別の血流表示機能も含む）を用いて観察

する。カラードプラ法を用いると狭窄部では乱流を反映した血流信号がみられるため、B モードのみでは見逃しやすい狭窄病変を検出できることもある。病変の範囲は長軸像で評価する。静脈の狭窄部の評価において、短軸像で正円に近ければ、長軸像で血管の内腔径を計測することを基本とする⁴⁾。

※【各論】形態評価の項を参照

- ・瘤に関しては、長軸像で瘤の長さ（範囲）を計測し、短軸像で、長径と短径を外側の血管径（外径）で計測する（内シャントの静脈側は、「超音波による深部静脈血栓症・下肢静脈瘤の標準的評価法」に準ずる）。また、血管壁の石灰化、壁在血栓、瘤から皮膚までの距離、瘤前後の狭窄の観察も治療方針に役立つ。

※【各論】VA の合併症（瘤）の項を参照

- ・穿刺部は瘤や狭窄を呈していることが多いため、入念に観察する。

※【各論】形態評価、VA の合併症の項を参照

a) 自己血管内シャントの形態評価の手順

吻合部の形態は、側側吻合、端端吻合、側端吻合などがある（図 11）。検査前に脱血不良、静脈圧上昇、穿刺困難などの異常所見の有無を確認する。また、PTA などのこれまでの治療歴も確認しておく。視診・触診により吻合部の位置やシャント静脈の走行、穿刺部を確認する。

左上肢における AVF 例（RCAVF および BCAVF）の検査手順を示す（図 12）。

※【各論】形態評価、VA の合併症の項を参照

- ・動脈側の観察を行い（RCAVF の場合は上腕動脈から橈骨動脈、BCAVF の場合は吻合動脈が上腕

図 11 吻合形態

引用改変

渡邊, 技術講座, バスキュラーアクセスの超音波, 検査と技術 vol.42 No.8, 2014 (744-751)

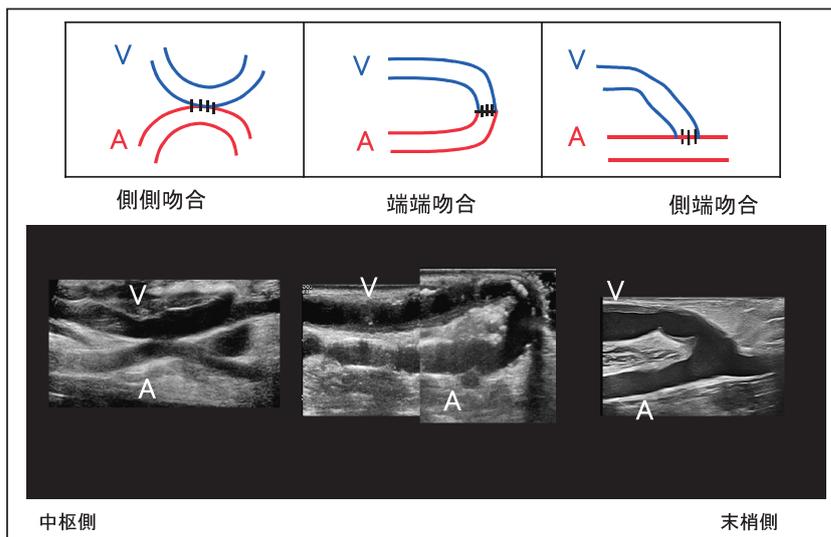
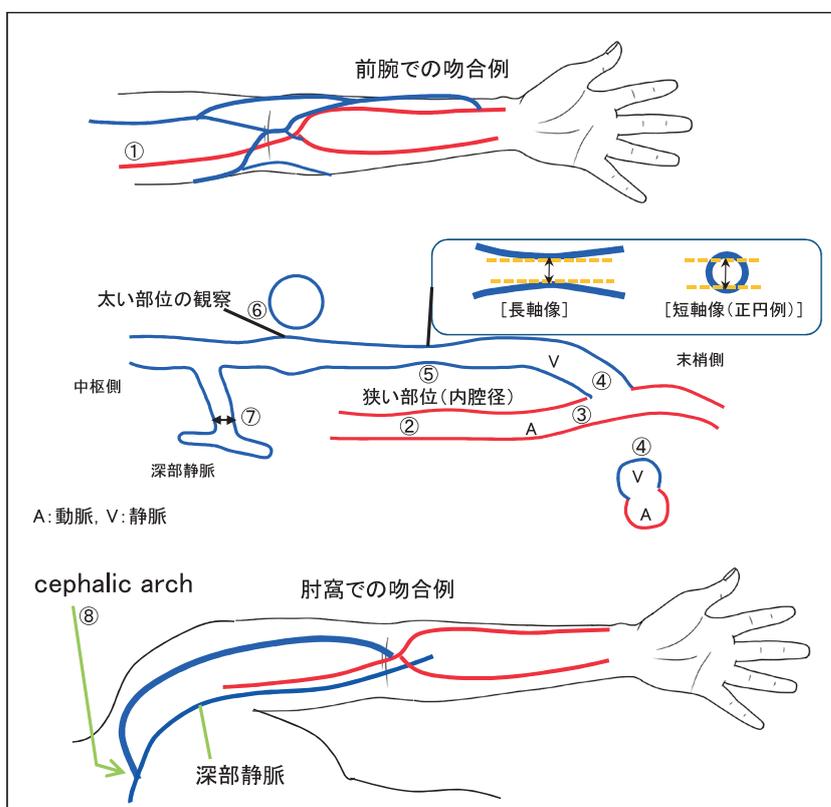


図 12 AVF：左上肢例の検査手順

1. 上腕動脈血流量, RI の測定 (①)
2. 動脈の走行, 性状を観察 (②)
3. 吻合部動脈中枢側, 末梢側の観察 (③)
4. 吻合部の位置, 吻合形態を観察 (④)
5. 静脈側の狭い部位の観察 (長軸像で静脈の内径を計測) (⑤)
6. 太い部位の観察 (⑥)
7. 穿通枝の観察: シャント血流の主となる還流路で, 交通枝に最も狭い部位がある場合は計測 (⑦)
8. 前腕肘窩に吻合部のある AVF では, cephalic arch まで観察する (⑧)



動脈か橈骨動脈), 吻合部から連続する表在静脈の還流路の走行や形態など全体像を短軸像と長軸像で観察する。また, 吻合部末梢の橈骨動脈と尺骨動脈においても手関節近傍まで, 閉塞や狭小化の有無などを観察する。

- ・ 静脈側の評価は, 吻合部から上腕までの観察範囲を基本とし, 主となる還流路 (主還流路) を詳細に観察し, 血管分岐や合流などを把握する。シャ

ント静脈の簡単なマッピングは効率的な検査を行う上で有効である。主還流路における狭窄部位を評価する。肘窩に吻合部がある場合は, cephalic arch まで観察する。

- ・ 肘窩近傍において交通枝 (穿通枝) を介して深部静脈への還流が主還流路となっている症例については, 交通枝狭窄の観察, 評価を行う^{5,6)}。交通枝に狭窄がなく, シャントの内圧が高い場合は,

図13 AVG：左上肢ループ移植例の検査手順

1. 上腕動脈血流量，RIの測定(①)
2. 動脈の走行，性状の観察(②)
3. 動脈側吻合部(③)：吻合動脈の同定(上腕動脈，橈骨動脈，腋窩動脈)．吻合部近傍の動脈の観察
※末梢の虚血を疑う場合は，橈骨動脈，尺骨動脈の末梢側(④)の形態や性状の評価(Bモード)，血流評価(カラードプラ法やパルスドプラ法)
4. 動脈吻合部の人工血管側の観察(⑤)．人工血管の種類を同定する．
5. 人工血管内血栓の有無，最も狭い部位の観察(⑤～⑥～⑦～⑧)
6. 静脈側吻合部の人工血管側の観察(⑧)．吻合静脈の同定(表在静脈または深部静脈)．
7. 静脈側流出路で最も狭い部位の観察：径は長軸による内径を計測(⑨)

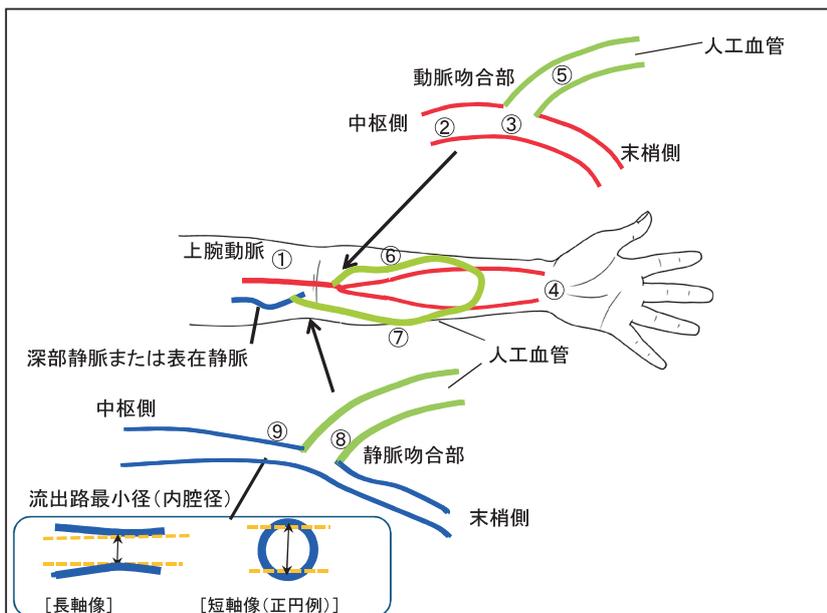


図14 人工血管の種類によるエコー画像の違い

人工血管の種類	ePTFE製	PU製
長軸像		
短軸像		
特徴	内腔の描出が可能	内腔の描出不可

還流路である上腕静脈など深部静脈の狭窄の有無を評価する。

- ・閉塞時の評価，血栓性閉塞(血栓の性状評価など)，非血栓性閉塞に関しては，下記の項を参照。
※【各論】形態評価の項を参照

b) 人工血管内シャントの形態評価の手順

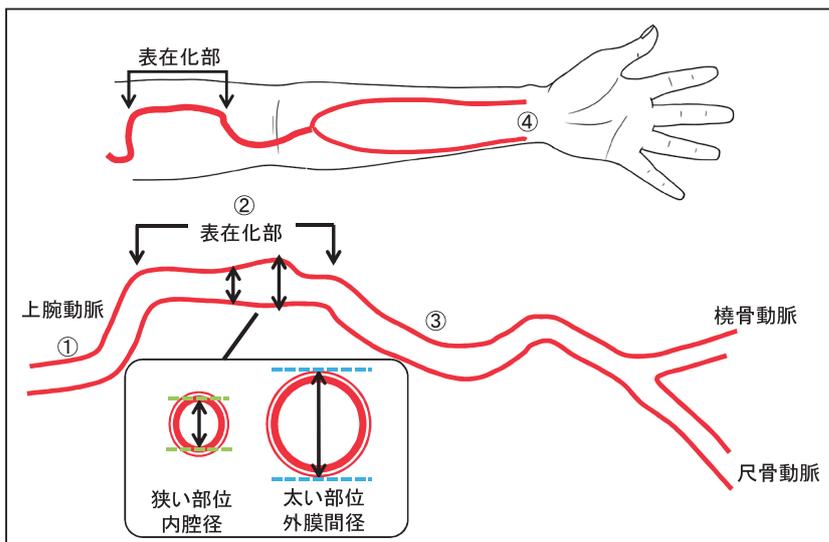
検査前に，静脈圧上昇や静脈高血圧症，穿刺困難などの異常所見を確認しておく。視診・触診により動脈側吻合部と静脈側吻合部の位置や移植した人工血管の走行，穿刺部の確認や仮性瘤の有無を確認する。さらに聴診も有効である。また，診療情報(手

術記録など)により，人工血管の種類(延伸ポリテトラフルオロエチレン製(expanded polytetrafluoroethylene: ePTFE)，ポリウレタン製(polyurethane: PU)など)やサイズを確認しておく。左上肢におけるループ型人工血管移植例の検査手順を示す(図13)。

- ・動脈側(上腕動脈から動脈側吻合部まで)を短軸像と長軸像で観察する。動脈側吻合部(上腕動脈，橈骨動脈，腋窩動脈)や吻合部近傍を観察する。吻合部から手首くらいまでの末梢動脈をBモードやカラードプラ法で観察する。

図 15 動脈表在化：左上腕動脈例の検査手順

1. 動脈の走行、性状の観察。(①～③)
2. 表在化部の狭い部位の内腔径を短軸で計測②、狭窄を疑う場合は、パルスドプラ法で収縮期最高血流速度 (PSV) を測定。
3. 最も太い部位または瘤化している部位は外径を計測 (動脈瘤の評価基準に準じて計測する)。橈骨動脈、尺骨動脈の末梢側の観察 (カラードプラ法やパルスドプラ法) (④)



- ・移植した人工血管の走行に沿って、長軸像と短軸像で人工血管の内腔と周囲を観察する (人工血管内の内膜肥厚や血栓形成、感染による周囲の液体貯留および膿瘍形成、仮性瘤、血種、血清腫など)。PU 製人工血管による AVG は、移植してから数か月は、B モードでは内腔が評価できない症例があることも理解しておく必要がある (図 14)。B モードで人工血管内を観察できる場合はカラードプラ法などを併用して人工血管内の血流を観察する。

- ・静脈側の吻合部およびその中枢側の還流路 (人工血管と吻合している表在静脈または深部静脈) を長軸像と短軸像で観察し、狭窄や閉塞があれば、その評価を行う。上腕側の可能な範囲で観察する。

c) 動脈表在化の形態評価の手順

動脈表在化は上腕動脈に作製されることが多く、表在化した動脈を脱血に使用する。検査前に視診・触診で血管走行および瘤の有無を観察、評価する。左上腕動脈表在化の検査手順を示す (図 15)。

- ・B モードで表在化部位の走行を観察しながら血管壁の性状評価を行い、適宜血管径を計測する。血管の観察は、表在化部位より中枢側と末梢側の非表在化部位を含めて行い、血管壁の性状を評価し、過去に検査履歴がある場合は比較しながら評価を行う。

- ・穿刺による合併症として、血管壁の不整化や動脈壁の解離、内腔狭小化、血管径拡大 (瘤化) などがある。

- ・緊急的に処置が必要となる可能性があるものとして、仮性動脈瘤や出血がある。瘤の評価は「超音波による大動脈病変の標準的評価法 2020」に準じて行う。

7.4 その他の評価

基本的な観察範囲は VA 作製側の upper arm とするが、上腕部より中枢側の動静脈に狭窄などの異常所見が生じることもある。マイクロコンベックス型やセクタ型などのプローブを使用して鎖骨周囲や胸骨上縁などから、動脈側は腋窩動脈～鎖骨下動脈 (右側は腕頭動脈) を観察する。静脈側は腋窩静脈～鎖骨下静脈～腕頭静脈 (表在静脈は橈側皮静脈～cephalic arch, 尺側皮静脈の中枢側) を可能な範囲で観察する。

また、返血静脈が脱血部からの還流路とは別の還流路から行っている場合は、必要に応じて、返血静脈も返血部を中心に観察する。

【文献】

- 1) バスキュラーアクセス超音波検査の実践の手引き. バスキュラーアクセス超音波研究会.
- 2) 2011 年版 慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン. 透析会誌. 2011; 44: 855-937.
- 3) 小林大樹, 元上七奈, 浜田美生, ほか. アクセス血流量によるグラフト内シャントの surveillance. 腎と透

- 析. 2004; 57(別冊アクセス 2004): 118-20.
- 4) 山本裕也, 大川博永, 西川博幸, ほか. バスキュラーアクセス超音波検査における狭窄病変の評価に関する検討. 透析会誌. 2020; 53: 1-6.
 - 5) Ogawa T, Matsumura O, Matsuda A, et al. Brachial artery blood flow measurement: A simple and noninvasive method to evaluate the need for arteriovenous fistula repair. *Dialysis & transplantation* may 2011; 206-10.
 - 6) 渡邊亮司, 近藤吉将, 中田浪枝, ほか. バスキュラーアクセスの術後合併症 (狭窄病変・閉塞病変). *Jpn J Med Ultrasonics*. 2019; 46: 149-58.

【各論】

8. 機能評価

◆血流量と RI は以下の公式で算出する。

$$\text{血流量 (mL/min)} = \text{TAV (cm/s)} \times \text{断面積 (cm}^2\text{)} \times 60(\text{s})$$

$$\text{RI} = (\text{PSV} - \text{EDV}) / \text{PSV}$$

◆血流量測定 of 注意点

- ・ AVF では上腕動脈血流量と抵抗指数, AVG では上腕動脈血流量を評価項目とする。
- ・ 上腕動脈が高位で分岐する場合は, 上腕部を走行する 2 本の動脈の血流量を測定し, その和で評価する。
- ・ パルストプラの角度補正は 60° 以内とする。
- ・ 血流量算出には時間平均最高血流速度ではなく, 時間平均血流速度を用いる。
- ・ サンプルボリュームは, 血管内腔からはみ出さない程度で最大径に設定する。
- ・ 血管径は, 近位壁の trailing edge から遠位壁の leading edge までの距離を計測する。
- ・ 不整脈を有する場合は, 3 心拍以上の平均血流速度から血流量を算出する。

◆RI 測定 of 注意点

- ・ RI の算出には最低血流速度ではなく拡張末期血流速度 (EDV) を用いる。

機能評価は VA の血流状態を評価する基本的なものであり, 血流低下や過剰血流を判断する上で重要である。機能評価は主に血流量と RI で評価される。日本透析医学会より公刊されている「慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン (日本透析医学会のガイドライン)」は AVF および AVG とともにサーベイランスとして VA の血流量の測定が推奨されている¹⁾。

8.1 血流量・抵抗指数

a) 血流量

超音波による血流量は TAV と血管径から求めた断面積により算出される。

$$\text{血流量 (mL/min)} = \text{TAV (cm/s)} \times \text{断面積 (cm}^2\text{)} \times 60(\text{s})$$

VA における血流量は基本的に上腕動脈で測定する。AVG においては, 人工血管の描出が可能であれば, 人工血管内の血流量も測定可能である。

b) 抵抗指数

RI は測定部より末梢の抵抗を表す指標であり, 収縮期最高血流速度 (peak systolic velocity : PSV) と EDV から算出される。

$$\text{RI} = (\text{PSV} - \text{EDV}) / \text{PSV}$$

RI は血流量と異なり, 血管径の計測が不要で, 角度補正の影響を受けないため血流量より測定は容易である。

c) 自己血管内シャントにおける機能評価

AVF における機能評価は, 上腕動脈血流量と RI で評価する。上腕動脈血流量はシャント静脈に流れている血流量と等しいわけではないが VA の血流量をよく反映している。

一方, シャント静脈や吻合動脈などで血流量を測定しない理由を以下に記す。シャント静脈には狭窄, 静脈弁, 分岐, 合流, 蛇行などさまざまな形態や構造を有するため乱流が生じやすく, 正確な血流速度の計測が困難な場合が多い。さらに, 静脈は血管内圧が低いため, 短軸像が正円になりにくく, 断面積が過小評価となり血流量の測定に適さないことが多い。また, 側端吻合の RCAVF の場合, シャント静脈へ流入する血液は, 橈骨動脈の順行性血流だけでなく, 尺骨動脈から手掌動脈弓を経由し, 吻合部末梢の橈骨動脈を逆行した血液も流入することが多い^{2,3)}。よって, 橈骨動脈で血流量を測定した場合, 尺骨動脈由来の血流は加味されておらず過小評価になると考えられる。UBAVF においても同様である。これらの理由により AVF の機能評価はシャント静

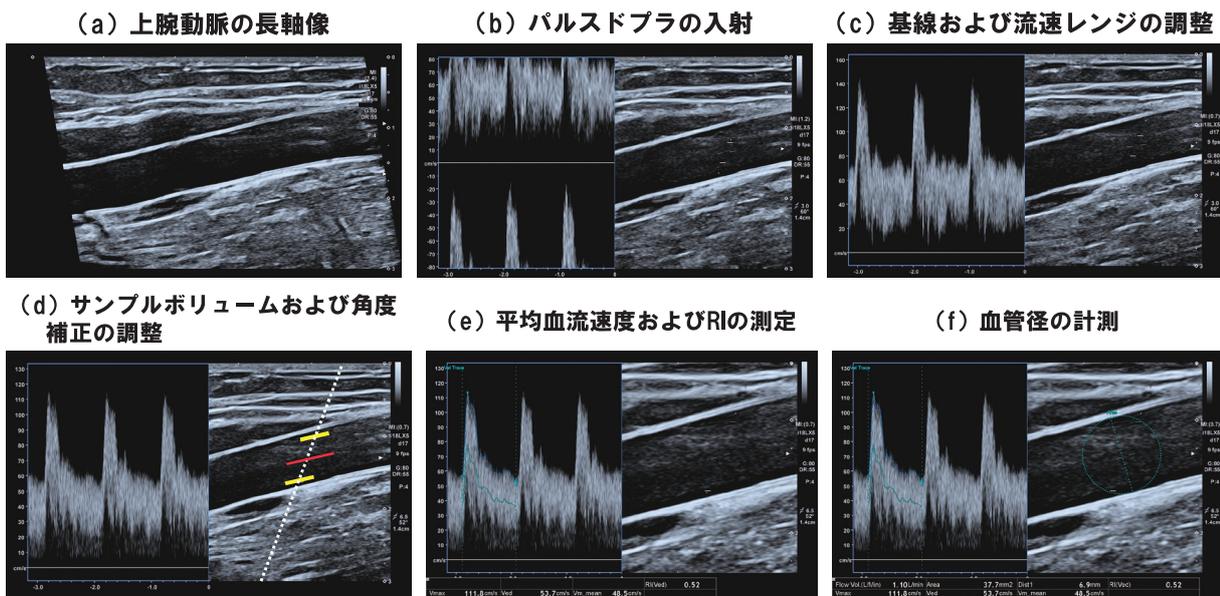
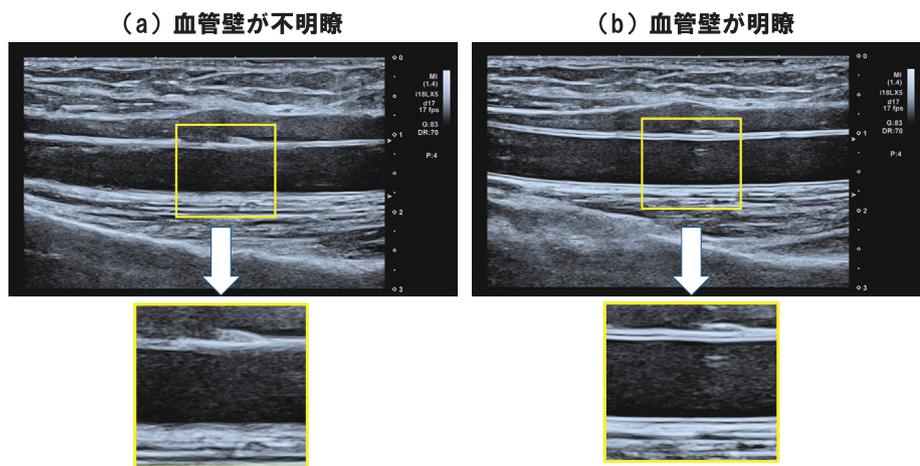


図 16 FV, RI の測定手技

- (a) 血管の近位壁 (near wall) と遠位壁 (far wall) とともに明瞭に描出する。
- (b) パルスドプラを入射し、血流速度波形を描出させる。血流速度波形にエイリアシングがみられる。
- (c) 基線および流速レンジを調整し、血流速度波形が画面に納まるように調整する。
- (d) サンプルボリュームは血管内腔からはみ出さない最大径に設定する。角度補正の表示線を血管と平行に調整する。
- (e) 1 心拍を選択することで TAV が求められる。また、PSV と EDV から RI が算出される。
- (f) 血管内腔の最短距離を計測する。血管径の計測は内腔距離 (trailing edge to leading edge) で計測する

図 17 血管壁の描出

- (a) 近位壁と遠位壁が不明瞭である。
- (b) 近位壁と遠位壁が明瞭である



脈や吻合動脈ではなく上腕動脈で測定することを基本とする。

d) 人工血管内シャントにおける機能評価

AVG における機能評価も、基本的上腕動脈血流量で評価する。AVG の機能評価として RI も有用であるが血流低下に対する変化が AVF より少なく、その有用性は劣ると考えられる⁴⁻⁶⁾。

AVG では人工血管内の血流量測定も有用である。人工血管内血流量は、上腕動脈血流量の測定値にバラつきが大きい場合に参考値として用いることが可能である。また、人工血管が腋窩動脈など中枢の動

脈に吻合されている場合は、動脈による血流量測定が困難であるため人工血管内による血流量測定が有用である。ただし、穿刺や経年劣化により瘤化・狭窄・石灰化などを生じた部位の血流量測定は正確性を欠く。

上腕動脈血流量は人工血管内血流量に比べて血流量が約 80 mL/min 程度高値となるとの報告がある⁷⁾。上腕動脈血流量は人工血管内血流量と末梢循環を担う血流量の和であることがその理由と考えられる。また、PU 製人工血管は移植してから 6 ヶ月程度は超音波が通過不良であり、その場合は人工血管内の血流量測定が困難である。

8.2 血流量・低抗指数の測定手技

一般的な機能評価の手順を次に記す。

- ① 血管を長軸像で描出する (図 16-a)
- ② パルスドプラ法により血流速度波形を描出する (図 16-b)
- ③ 基線および流速レンジを調整し、血流速度波形が画面に収まるように調整する (図 16-c)
- ④ パルスドプラの入射と血管のなす角度を 60° 以内に設定し、サンプルボリュームの幅および角度補正を調整する (図 16-d)
- ⑤ 1 心拍を選択し、オートトレースにより TAV が求められ、PSV と EDV から RI が算出される (図 16-e)
- ⑥ 血管径を計測することで血流量が算出される (図 16-f)，という手順が一般的である。

8.3 測定における注意点

血流量測定の際に注意すべき事項を記載する。いずれも血流量測定における正確性・精密性を担保するための重要事項である。

a) 測定部位に関する注意点

測定部位は上腕中間部付近の直線的に走行する上腕動脈を選択することを基本とする。また、前回検査時と同一部位にて測定すると前回値と比較が容易となる。血管が湾曲している付近、石灰化や壁不整を認める部位では測定を極力避ける。

b) 血管の描出

長軸像で血管を描出した際に血管壁が不明瞭の場合は、血管を正中断面で描出できていない可能性があり、血管径を過小評価することが考えられる (図 17-a)。また、血管内の血流が層流であれば中心部の血流速度が速いため、正中断面で描出しないと最高血流速度を検出できない可能性が考えられる。よっ

て、血管の近位壁 (near wall) と遠位壁 (far wall) ともに明瞭に描出することが大切である (図 17-b)。血管壁を明瞭に描出するためには、血管壁に対して超音波ビームを直交させることも大切である。

c) 上腕動脈が高位で分岐する場合の機能評価

上腕動脈は肘窩で橈骨動脈と尺骨動脈に分岐するが、分岐部が中枢に位置する高位分岐例が存在する。上腕部を短軸像で描出し、動脈が 2 本確認できれば上腕動脈が高位で分岐している可能性が高い (図 18-a)。また通常に分岐位置である肘窩で上腕動脈が橈骨動脈と尺骨動脈に分岐していることを確認することも大切である (図 18-b)。

上腕動脈が高位で分岐する場合の血流量は、上腕動脈で測定できないことが多い。その場合は上腕部を走行する 2 本の動脈の血流量を測定し、その和により上腕動脈血流量の代用が可能である⁸⁾。また、高位分岐例における RI の有用性は明確ではなく、上腕動脈で測定ができない場合は評価項目として推奨しない。

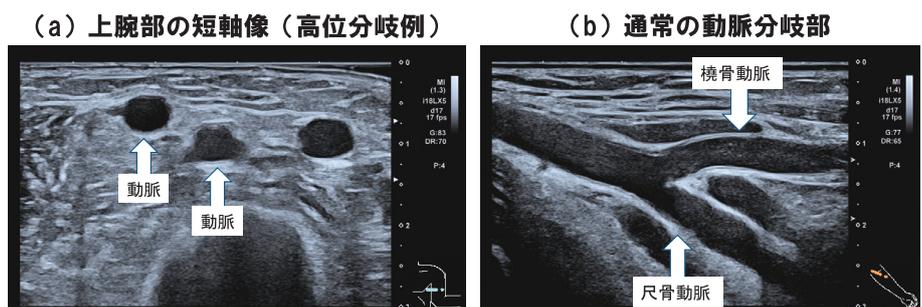
d) パルスドプラ法の角度補正

パルスドプラ法にて血流速度を求める際は、パルスドプラの入射と血管のなす角度が 60° 以内になるように角度補正を行う。角度補正は 60° を超えると誤差が大きくなる。前回の検査所見が確認できる場合は、その際の角度補正を参考にすることが望ましい。

パルスドプラのステアリングを 30° に設定可能なプローブでは、水平方向に描出した血管でも補正角度を 60° 以内にするのが可能である (図 19-a)。しかし、ステアリングの角度が大きくなるとドプラ感度が低下するため、走行が深い血管や石灰化の強い血管の場合は血流速度波形が明瞭に描出されないことがある (図 19-b)。その際はステアリングの角度

図 18 上腕動脈の高位分岐

- (a) 上腕動脈が高位で分岐する場合、上腕部の短軸像にて 2 本の動脈が描出される。
- (b) 通常、上腕動脈は肘窩で橈骨動脈と尺骨動脈に分岐するため、肘窩にて分岐部を観察する



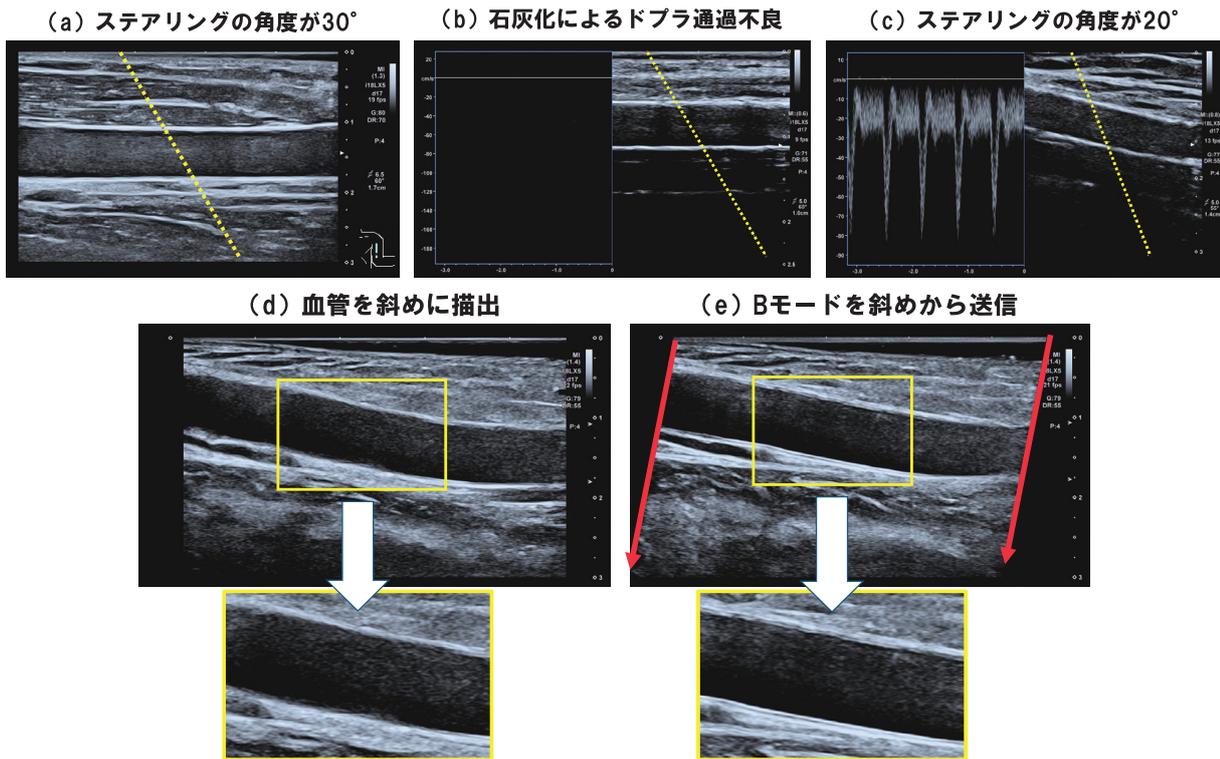
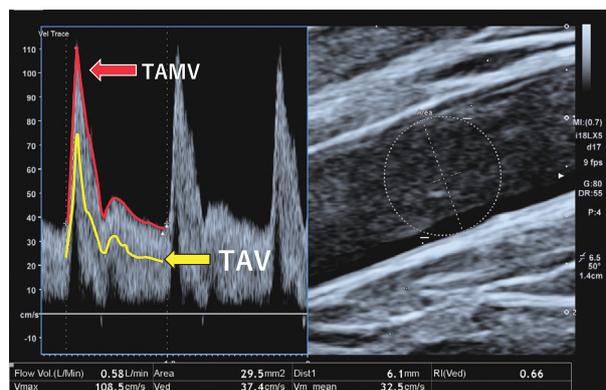


図 19 パルスドプラの角度補正

- (a) ステアリングの角度を 30° に設定可能な場合、水平方向に描出した血管でも補正角度を 60° 以内にする事が可能である。
- (b) 走行が深い血管や石灰化の強い血管の場合は感度が低下するため血流速度波形が明瞭に描出されないことがある。
- (c) ステアリングの角度を小さくすることで血流速度波形の描出感度が上がる。
- (d) ステアリングの角度を 30° に設定できない場合は、血管を斜めに描出すると角度補正を 60° 以内に設定できる。ただし、血管壁に対し B モードの超音波が直交しないため血管壁が不明瞭になることがある。
- (e) 血管を斜めに描出させた際は、B モードの超音波を血管壁に対し直交する方向から送信すると血管壁が明瞭に描出される

図 20 平均血流速度

血流量を求める際に用いる平均血流速度は、TAMV ではなく TAV を用いる



e) 平均血流速度

血流量を求める際に用いる平均血流速度は、時間平均最高血流速度 (time-averaged maximum flow velocity: TAMV) ではなく TAV を用いる (図 20)。パルスドプラ法による血流量測定は TAV を用いると、実血流量やエコー以外の測定方法と近似しており⁹⁻¹³⁾、TAMV を用いると血流量は過大評価となる。

を小さくすると血流速度波形の描出感度が高くなる (図 19-c)。ステアリングの角度を 30° に設定できない場合は、長軸像を水平方向から斜めに描出するか、血管が斜めに走行する部位を選択することにより角度補正を 60° 以内に設定することができる (図 19-d)。また、血管を斜めに描出させた際は、B モードの超音波を血管壁に対し直交する方向から送信すると、血管壁がより明瞭に描出される (図 19-e)。

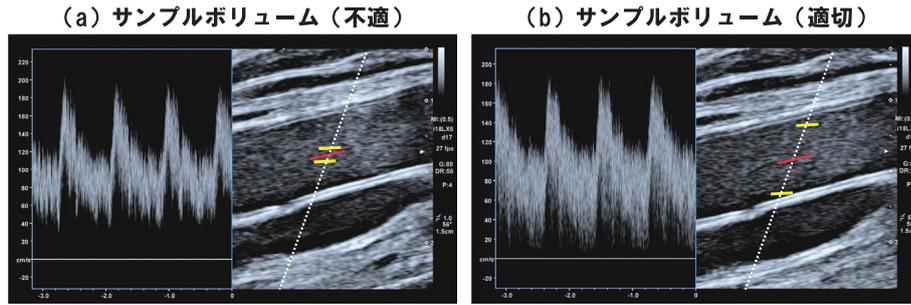


図 21 サンプルボリュームの設定

- (a) サンプルボリュームが小さく、血管の中央部に位置させると血管壁近くの低流速成分を検出できず TAV が過大評価される。
- (b) 適正なサンプルボリューム設定。血管内腔からはみ出さない最大径に設定する

図 22 血管径の計測

血管内腔の最短距離を計測する。計測する際は内腔距離 (trailing edge to leading edge) で測定する

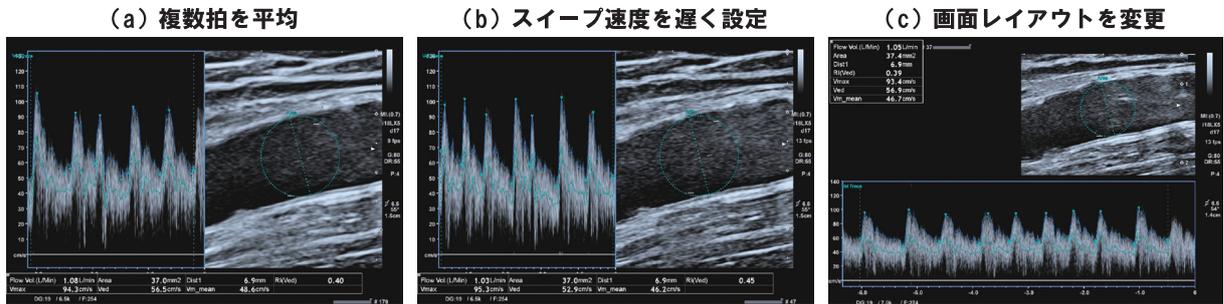
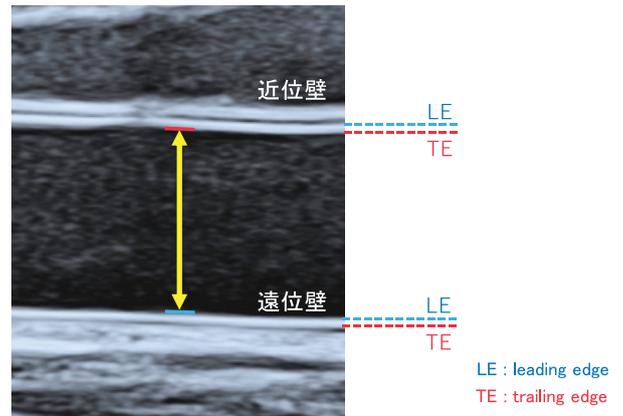


図 23 不整脈を有する場合の測定

- (a) 絶対的不整脈の場合は複数拍分の平均血流速度を血流量算出に用いる。
- (b) スイープ速度を遅く設定することで血流速度波形が多く表示することが可能となる。
- (c) パルスドプラの表示を上下レイアウトにすると血流速度波形が多く表示することが可能となる

f) サンプルボリュームの設定

血管内の血流が層流であれば血流速度は中心部が速く、血管壁に近づくほど遅くなる。よって、血流量を求める際の平均血流速度は、血管内全体の血流速度を平均化することで真値に近いと考えられるため、パルスドプラのサンプルボリュームは血管内腔からはみ出さない最大径に設定する (図 21)。

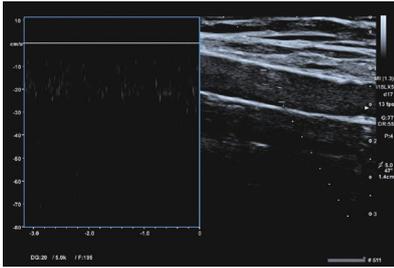
g) 血管径の計測

透析患者の上腕動脈は石灰化により、近位壁の leading edge が不明瞭になることが多い。よって、

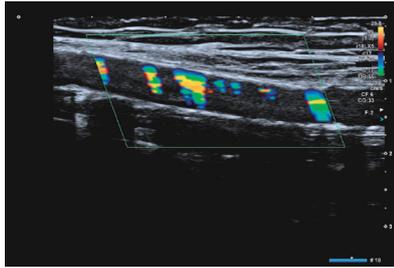
血管径を計測する際は内腔距離で測定する。なお、内腔距離とは血管近位壁の内膜面と内腔の境界高エコー層の下縁 (trailing edge) から、遠位壁の内膜面と内腔の境界高エコー層の上縁 (leading edge) まで (trailing edge to leading edge) とする (図 22)。

血管径を計測する際の B モードの時相は、血管径が最小となる時相 (心拡張期・血管収縮期) で計測する。心拡張期 (血管収縮期) は血管の壁運動の静止時間が長く、血管壁が明瞭に描出されることが多いことが主たる理由である。また、時相の選択に心電図は必ずしも必要としない。

(a) 石灰化によるドプラ不通過



(b) カラードプラによる超音波通過部位の検出



(c) 超音波通過部位にサンプルボリュームを合わせる

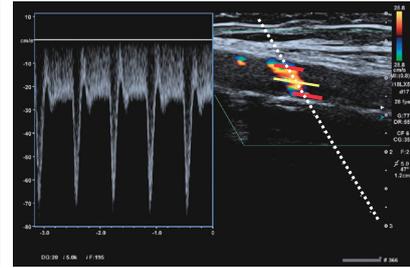
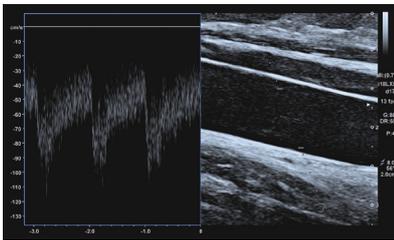


図 24 石灰化などにより血流速波形の描出が不良の場合

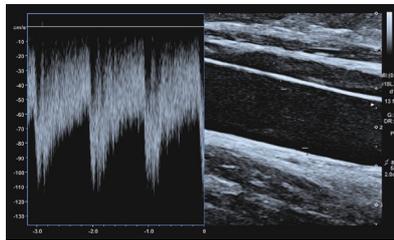
- (a) 石灰化が強い場合はパルスドプラが通過不良のため血流速波形が明瞭に描出されないことがある。
- (b) カラードプラ法を用いて、血流シグナルが表示される部位を検索する。
- (c) カラー表示された部位にサンプルボリュームを重ねることで血流速波形が表示される

(a) 低すぎる

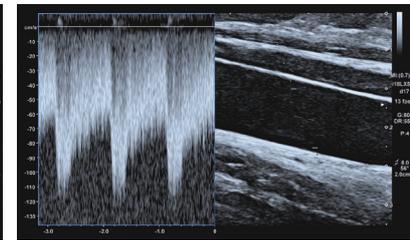


血流速波形が不明瞭

(b) 適正



(c) 高すぎる



背景にノイズが生じている

図 25 パルスドプラ法におけるドプラゲインの調整

h) 不整脈を有する場合の測定

「超音波による頸動脈病変の標準的評価法」に準じて、期外収縮など一時的な不整脈を認める場合は可能な限り洞調律の血流速波形を選択する。また、心房細動など絶対的不整脈の場合は、連続する3心拍以上の平均血流速度を血流量算出に用いる（図 23-a）¹⁴。血流速波形を多く表示させるためにスイープ速度を遅く設定したり（図 23-b）、パルスドプラの表示を上下レイアウトにしたりすることが有用である（図 23-c）。不整脈を有する場合の RI は参考値とする。

i) 石灰化などにより血流速波形の描出が不良の場合

石灰化が強い場合はパルスドプラが通過不良のため血流速波形が明瞭に描出されないことがある（図 24-a）。その際は、カラードプラ法を用いて血流シグナルが表示される部位を検索し（図 24-b）、その部位にサンプルボリュームを重ねると血流速波形が表示されることが多い（図 24-c）。また、前述のように血流速波形の描出感度を上げる目的で、パルスドプラのステアリングの角度を小さくすることも有効である（図 19-c）。これらの手技は血管走行が深く血流速波形の描出が不良の場合にも有用である。

ただし、血流速波形の描出感度は TAV の値に影響をおよぼす可能性があり参考値とすることが望ましい。

j) パルスドプラ法におけるドプラゲインの調整

ドプラゲインが低すぎる場合は、適正な TAV のトレースができず測定値の正確性に影響する（図 25-a）。よって血流速波形が明瞭に描出され、かつノイズが生じない程度に調整する（図 25-b）。また、ドプラゲインが高すぎる場合は、TAV を過小評価することが考えられる（図 25-c）。

8.4 機能評価の基準値と結果の解釈

a) AVF の基準値

本標準的評価法では以下の基準値を推奨する。

AVF における機能評価の基準

精査を考慮する基準値

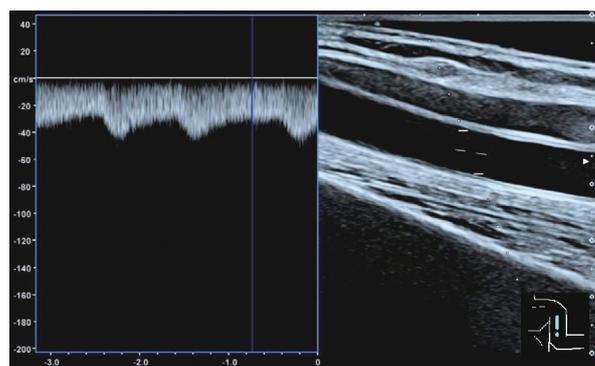
上腕動脈血流 < 500 mL/min または RI > 0.60

治療を考慮する基準値

上腕動脈血流 < 350 mL/min または RI > 0.70

日本透析医学会のガイドラインにおいて、AVF

図 26 中枢の動脈に病変を有する症例の血流速波形
測定部より中枢の動脈に病変がある場合や高度の大動脈弁狭窄症を有する場合は、血流速波形の立ち上がりの鈍化、PSV の低下、RI の低下が認められる



は「定期的に VA の血流量を測定し、500 mL/min 未満またはベースの血流量より 20% 以上の減少は狭窄病変が発現している可能性がある」と記載されているが¹⁾、超音波による血流量測定とは明記されていない。

VA 不全に対するスクリーニングの基準値として、上腕動脈血流量 500 mL/min、RI 0.60 と報告されており^{15,16)}、本標準的評価法では「精査を考慮する基準値」として推奨する。

次に、透析時の脱血流量（quantity of blood flow: QB）200 mL/min における脱血不良発生のカットオフ値は上腕動脈血流量 350 mL/min、RI 0.70 であり¹⁷⁾、QB 280 mL/min におけるカットオフ値は上腕動脈血流量 512 mL/min、RI 0.61 と報告されている¹⁸⁾。したがって、QB により脱血不良発生のカットオフ値は異なるため、治療適応の基準値を一律に定めることは容易ではないが、わが国の透析治療における QB は 200 mL/min から 220 mL/min の割合が最も多いこと¹⁹⁾、また治療適応のカットオフ値は上腕動脈血流量 350 mL/min との報告があることを鑑みて²⁰⁾、本標準的評価法では、上腕動脈血流量 350 mL/min、RI 0.70 を「治療を考慮する基準値」として推奨する。ただし、治療適応は機能評価の指標のみで決定されるものではなく、形態評価、透析状況、患者背景などを考慮する必要がある。

b) AVG の基準値

本標準的評価法では以下の基準値を推奨する。

AVG における機能評価の基準

精査を考慮する基準値

上腕動脈血流 < 650 mL/min

治療を考慮する基準値

上腕動脈血流 < 500 mL/min

日本透析医学会のガイドラインにおいて、AVG は「定期的に VA の血流量を測定し、650 mL/min 未満またはベースの血流量より 20% 以上の減少は狭窄病変が発現している可能性がある」と記載されているが、超音波による血流量測定とは明記されていない¹⁾。また、Sato や三輪らの報告では、治療適応となった症例の上腕動脈血流量のカットオフ値は 480 mL/min、RI 0.57 であったと報告している^{4,6)}。AVG の機能評価として、RI は AVF よりは有用性が劣り、エビデンスに関しても現状では少なく、本標準的評価法では基準値は明記しないこととする。

c) 機能評価の数値の扱いに関する注意点

機能評価の指標はシャントの状態を知るうえで非常に重要であるが、あくまでシャント血管へ流入する血流量や流れる抵抗を反映したものであり、機能評価が良好であるからといって問題となる狭窄の存在を否定することはできない。吻合部から狭窄部までの間に側副血行路がなければ機能評価と狭窄の程度は非常によく相関するが¹⁷⁾、発達した側副血行路がある場合は、機能評価の低下を認めないことも多い¹⁸⁾。よって、形態評価を含めて総合的に判断する必要がある。また、腋窩動脈や鎖骨下動脈など中枢の動脈に病変が存在する場合や高度の大動脈弁狭窄症を有する場合は、血流速波形の立ち上がりの鈍化、PSV の低下、RI の低下が認められる（図 26）。

d) 機能評価を行うタイミング

検査を実施するタイミングは透析前後，透析中，非透析日など施設や状況によって異なるため，統一することは困難である。また，上腕動脈血流量やRIは体液量や血圧などの影響を受けるため，透析

前後によってもその値は変化する^{21, 22)}。

よって，前回のデータと比較する場合，可能な限り前回と同じタイミングで検査を実施することが望ましい。また，機能評価を実施したタイミングは検査所見に明記することを推奨する。

9. 形態評価

- ◆狭窄病変の検出は、Bモード断層法とカラードプラ法を併用する。
- ◆狭窄の程度は、短軸像の内腔が正円に近ければ「狭窄径」、楕円形や不整形であれば「断面積」で評価する。
- ◆狭窄の評価の際は、プローブによる圧迫を避け、カラードプラ法は併用せず、原則Bモードにて計測する。
- ◆閉塞の診断にはBモードのみではなく、カラードプラ法やパワードプラ法を併用し、血流シグナルの有無を確認する。

形態評価の目的は血管走行の把握（マッピング）および狭窄の検出とその評価にある。また、吻合部、穿刺部、狭窄部の位置関係などを考慮し、トラブルの原因を特定するという役割もある。ここでは最も多くみられる狭窄と閉塞について解説する。

多くのVAは狭窄を有しており、狭窄を認めないVAの方が少ないといってよい。しかし、臨床的に問題となる狭窄はごく一部であり、狭窄の程度の評価が重要である。

9.1 狭窄の観察

a) 狭窄の検出

狭窄病変の検出は、Bモードおよびカラードプラ法（各メーカー別の血流表示機能も含む）を併用する。カラードプラ法を併用すると狭窄部では乱流を反映した血流信号がみられるため、Bモードのみで

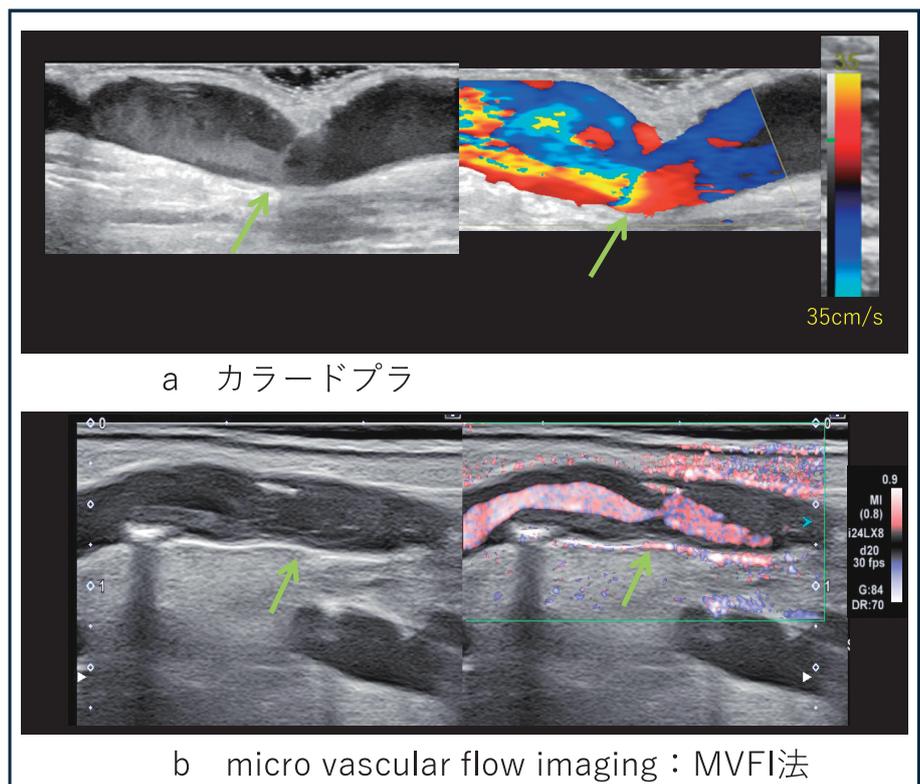
は見逃しやすい狭窄病変を検出できることもある（図27）。高速血流の存在が疑われる部位では流速レンジを広く（大きく）して観察する。また狭窄部より中枢側などの低速血流の場合は流速レンジを狭く（小さく）して観察する。VAエコーでは、部位によって低速血流から高速血流まで血流速度に大きな幅があるため、適宜流速レンジの調整が必要である。

b) 狭窄の形態

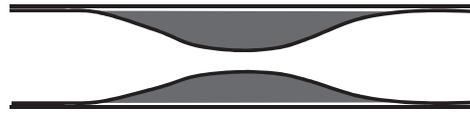
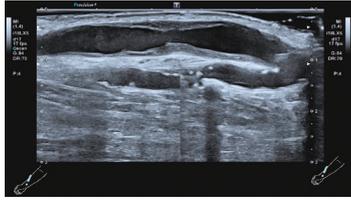
VAに発生する狭窄の形態にはさまざまなものがある。代表的な狭窄形態として、内膜肥厚型（図28-a）、縮窄型（図28-b）、内膜肥厚型と縮窄型が複合した混合型（図28-c）、静脈弁硬化型（図28-d）、瘤の流入部や流出部に発生する瘤圧迫型（図28-e）、石灰化型（図28-f）などが挙げられる^{23,24)}。

図27 狭窄の検出

- a：カラードプラ法で最も狭い部位を通過する血流信号に乱流を呈している。
- b：MVFI法でBモードでは不明瞭な最も狭い部位が明瞭に描出された

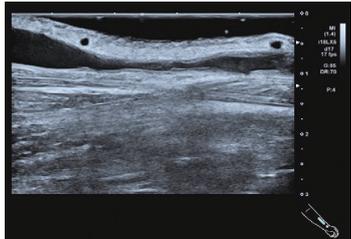


(a) 内膜肥厚型



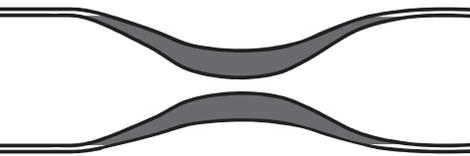
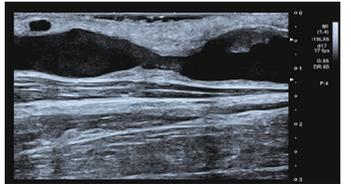
(a) 狭窄部の血管外径は非狭窄部と同程度であるが、血管壁の肥厚により内腔が狭小化する

(b) 縮窄型



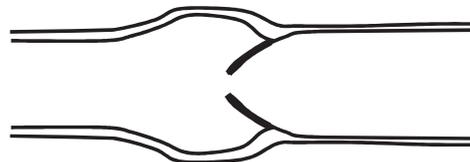
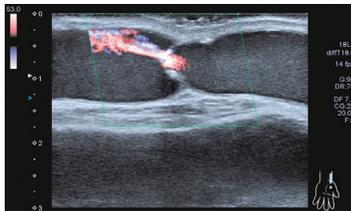
(b) 狭窄部の血管外径が非狭窄部より縮小することにより内腔が狭小化する。血管壁の肥厚をほとんど伴わない。

(c) 内膜肥厚型と縮窄型の混合型



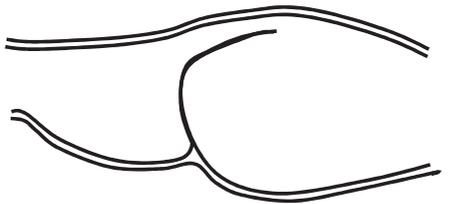
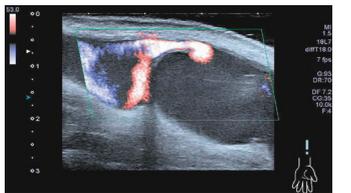
(c) 狭窄部の血管外径が非狭窄部より縮小し、かつ血管壁の肥厚を伴う狭窄。

(d) 静脈弁硬化型



(d) 静脈弁が硬化することにより発生する

(e) 瘤圧迫型



(e) 瘤の流入部や流出部に発生する狭窄病変。血管壁が瘤に圧迫されることで発生すると考えられる。

(f) 石灰化型



(f) 血管壁の石灰化により内腔が狭小化する狭窄病変。石灰化が高度になると超音波が通過せず、詳細な観察が困難になることもある。石灰化が高度になると音響陰影 (acoustic shadow) を認める。

図 28 狭窄の形態

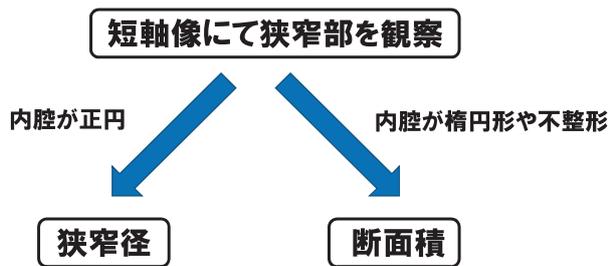


図 29 狭窄の評価法の選択

狭窄の評価法の選択において、前回所見があればその際の評価法を参考にする

9.2 狭窄の評価法

透析時のトラブルや VA の合併症には脱血不良、静脈圧上昇、穿刺困難、閉塞、瘤、静脈高血圧症、スチール症候群などさまざまなものがあるが、その多くに狭窄が関与している。狭窄部の評価は、内腔径（狭窄径）、断面積、狭窄部の PSV、収縮期最高血流速度比（peak systolic velocity ratio: PSVR）などがあり、わが国では狭窄径が広く用いられている。

a) 狭窄の評価法の選択

狭窄の定量評価法において、短軸像の内腔が正円に近ければ、長軸像で計測する狭窄径と短軸像で計測する断面積の間には臨床的な有用性に差はない^{25,26)}。しかし、短軸像の内腔が楕円形或不整形であれば狭窄径による評価の有用性は低下する。よって、狭窄の評価法の選択は、狭窄部を短軸像にて観察し、内腔が正円に近ければ長軸像による狭窄径を

選択し、明らかに正円でない場合および瘤圧迫型狭窄は短軸像にて断面積評価を行う（図 29）。また、前回の検査所見があれば、その際の評価法を参考にする。

b) 狭窄径による評価

＜計測手技と正確な計測のためのポイント＞

はじめに狭窄部を短軸像で描出し、内腔が正円に近いことを確認する。次に血管内膜面に対し直交断面で長軸像を描出し、最小となる内腔径（trailing edge to leading edge）を計測する。正確な計測のためのポイントを以下に記載する。

1) B モードで計測する

計測の際はカラードプラ（各メーカー別の血流表示機能を含む）などのカラー表示は併用せず、原則 B モード画像で計測する（図 30-a）。カラー表示を併用すると血管内腔外にもカラーが表示されるため計測値が大きくなる傾向にある（図 30-b）。

2) プローブによる圧迫を避ける

静脈は血管内圧が低いいためプローブによる圧迫を受けやすい。よって、狭窄径を計測する時はエコーゼリを多く使用し（図 31）、血管の圧迫を避けるように注意する。

図 30 狭窄径の計測

- (a) 計測の際はカラードプラは併用せず、B モード画像で計測する。狭窄径の計測は内腔距離（trailing edge to leading edge）で計測する。
- (b) カラー表示を併用すると血管内腔外にもカラーが表示されるため計測値が大きくなる傾向にある

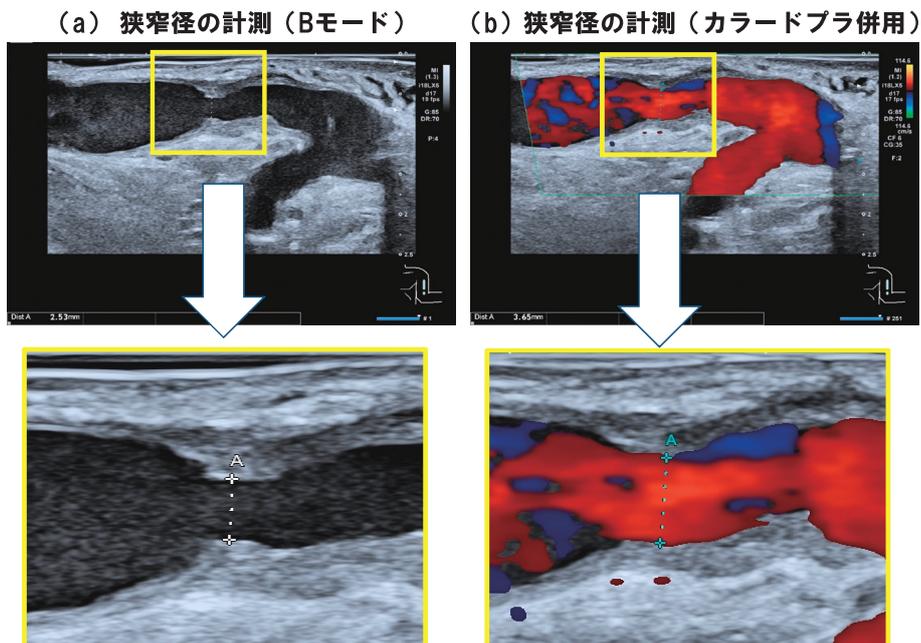




図 31 プローブによる圧迫を避ける
血管の圧迫を避けるためにはエコーゼリーを多く使用し、
皮膚とプローブ面が直接触れないように描出する

3) 狭窄部の血管内膜面を明瞭に描出する

狭窄径を正確に計測するためには血管壁と内腔の境界を明瞭に描出する必要がある。そのためにはBモードの送信超音波と血管壁を直交させることが重要である。また、血管の描出深度がとくに浅い場合は、エコーゼリーを多く使用し、ある程度深く描出すると血管壁が明瞭に描出できることがある（図 32）。

< 狭窄径による評価が不適当な狭窄形態 >

長軸像による狭窄径の評価は、短軸像の血管内腔が正円に近いこと（扁平になっていないこと）

が前提となっている。しかし、血管内腔が楕円形や不整形になる狭窄も少なからず存在する。その場合は評価の正確性を欠く。特に瘤圧迫型狭窄は短軸像の血管内腔が扁平になっていることが多く、狭窄径による評価は適さない。瘤圧迫型狭窄の評価は短軸像の断面積による評価が有用である²⁵⁾。

また、高度の石灰化による狭窄は内腔評価が困難なことが多く、狭窄径による評価は適さない。

< 狭窄径における基準値 >

本標準的評価法において、AVF の狭窄径は以下の基準値を推奨する。なお、AVG の狭窄径の基準値に関してはエビデンスに乏しく記載は見送ることとする。

AVF における狭窄径の基準値

精査を推奨する狭窄径：2.0 mm 以下

治療を考慮する狭窄径：1.5 mm 以下

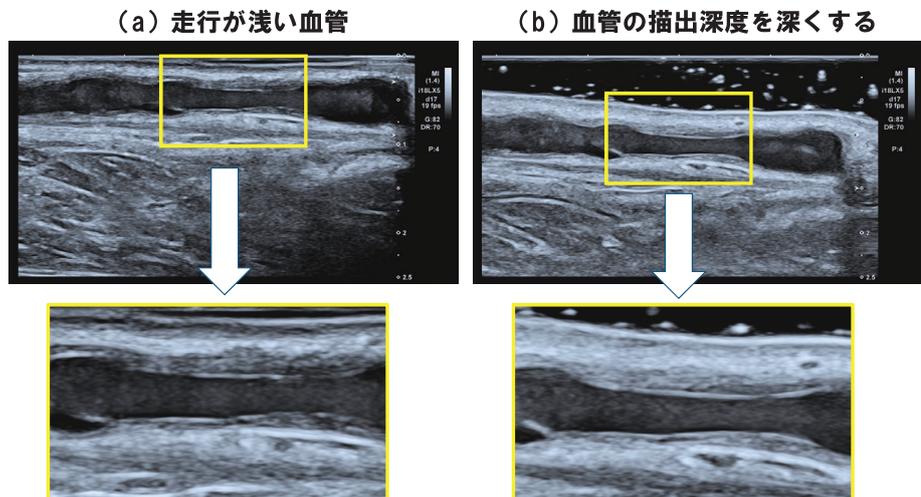
※非駆血時の狭窄径

穿刺困難や静脈高血圧症などはこの限りではない。

尾上らは、VA 不全症例の 89.2% が 2.0 mm 以下の狭窄を有しており、62.5% が 1.5 mm 以下の狭窄を有していたと報告している¹⁶⁾。また、山本らは透析時の QB が 200 mL/min において脱血不良となるカットオフ値は 1.5 mm と報告している^{25, 26)}。それらを踏まえると、狭窄径 2.0 mm 以下にて精査を考慮し、1.5 mm 以下で脱血不良が発生する可能性があるため治療を考慮するという目安になる。ただし、

図 32 狭窄部の血管内膜面を明瞭に描出する

- (a) 血管の描出深度がとくに浅い場合は血管壁が不明瞭になることがある。
- (b) エコーゼリーを多く使用し、ある程度血管を深く描出すると血管壁が明瞭に描出できることがある



治療の必要性に関しては狭窄径のみで決定するわけではなく、機能評価、透析状況、患者背景などを考慮する必要がある。

AVF における断面積の基準値

治療を考慮する断面積：2.5 ～ 3.0 mm²

※非駆血時の断面積

c) 断面積による評価

断面積による評価は内腔の形状に左右されにくいいため、内腔が楕円形や不整形によって狭窄径の評価が困難な場合は、断面積による評価が有用である。

< 計測手技と正確な計測のためのポイント >

狭窄部を短軸像で描出し、内腔の最も狭い部位の内輪線をトレースすることにより断面積を求める。正確な計測のためには内腔の最も狭い部位を短軸像にて描出することが大切である。そのためには、まず長軸像で狭窄径を計測し（図 33-a）、短軸像の縦径と近似しているかを確認することが参考となる（図 33-b）。

< 断面積における基準値 >

本標準的評価法において、断面積は以下の基準値を推奨する。

断面積評価に関する報告は少ないが、山本らの検討では QB 200 mL/min にて脱血不良となるカットオフ値は 2.5 ～ 3.0 mm² と報告している^{25,26}。

d) 血流速度による評価

欧米では狭窄の評価は、狭窄部の PSV と PSVR による 2 つの評価法が主に用いられており、有意狭窄の検出に有用とされている²⁷⁻²⁹。しかし、山本らは、狭窄部の PSV は定量評価としての有用性は確認できなかったと報告している²⁶。よって、狭窄部の血流速度による評価は、有意狭窄を検出するためには有用であるが、狭窄の程度を評価するには有用性が低いと考えられる。

e) 駆血による血管径の変化

シャント静脈は中枢側の駆血により血管内圧が高くなれば拡張するが、狭窄部も同様である。駆血下に狭窄病変を観察することで、内腔が最も狭い部位

図 33 瘤圧迫型狭窄の評価

- (a) 長軸像における狭窄径
- (b) 再狭窄部が短軸像にて描できていないかは、長軸像における狭窄径と短軸像の縦径が一致しているかを確認する。内腔の最も狭い部位の内輪線をトレースすることにより断面積を求める

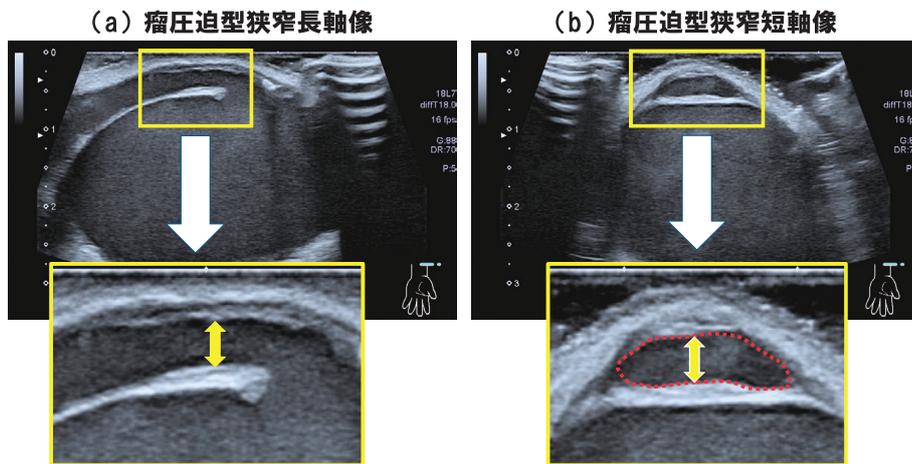
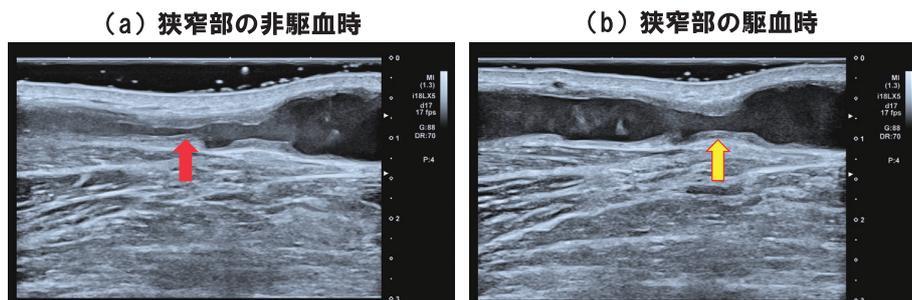


図 34 駆血による血管径の変化

- (a) 非駆血時：画像上は ➡ が最も狭く観察される。
- (b) 駆血時：駆血により非駆血時に観察された最も狭い部位は拡張し、➡ が最も狭い



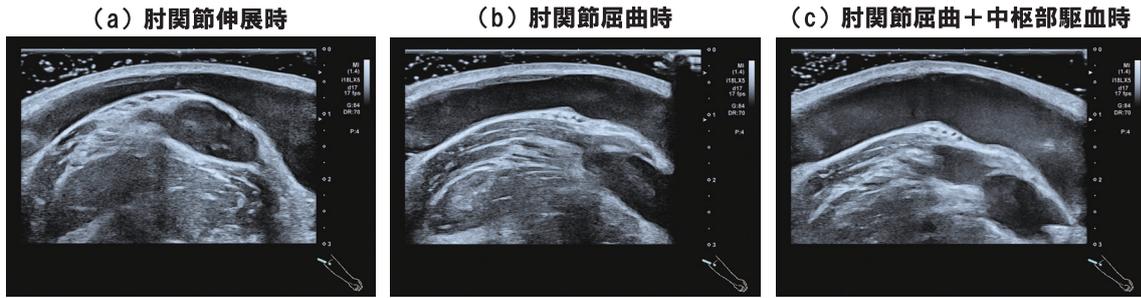
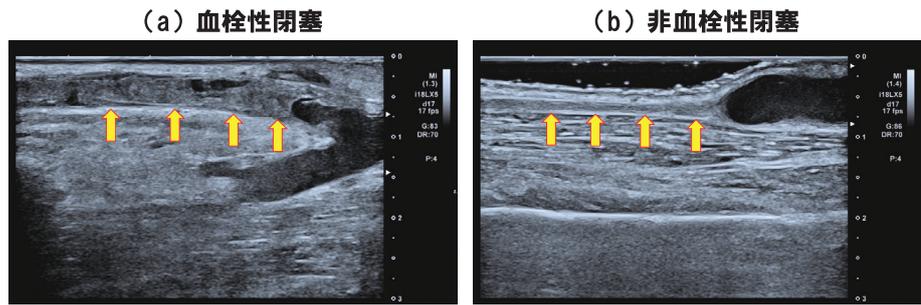


図 35 肘正中皮静脈にみられる偽狭窄

- (a) 肘関節を伸展すると圧迫や伸展の影響を受け、内腔が狭く観察されることがある。
- (b) 肘関節をやや屈曲させると、圧迫や伸展の影響が少なくなり、内腔が拡張する。
- (c) 肘関節を屈曲させた状態で、中枢側を駆血すると狭窄の程度や真偽が判定しやすい

図 36 閉塞の種類



(a) 血管内腔に充実性成分が観察される。 (b) 血管内腔が狭小化し、閉塞している。

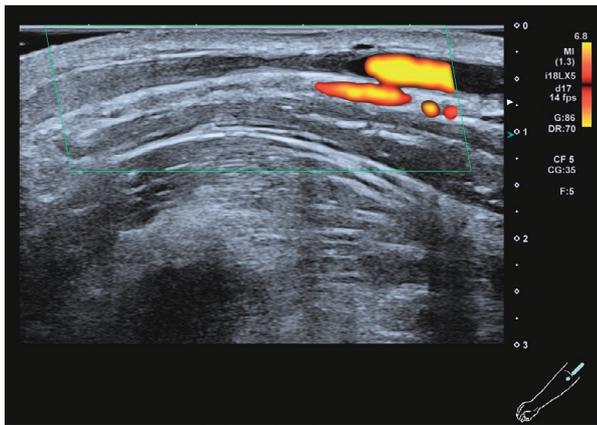


図 37 パワードブラによる血流の観察

閉塞の診断にはカラードブラまたはパワードブラを使用し血流シグナルを認めないことを確認する

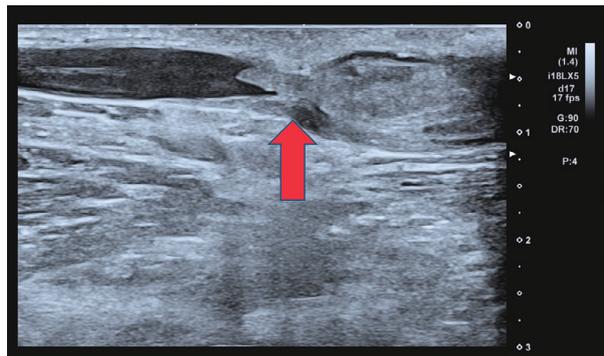


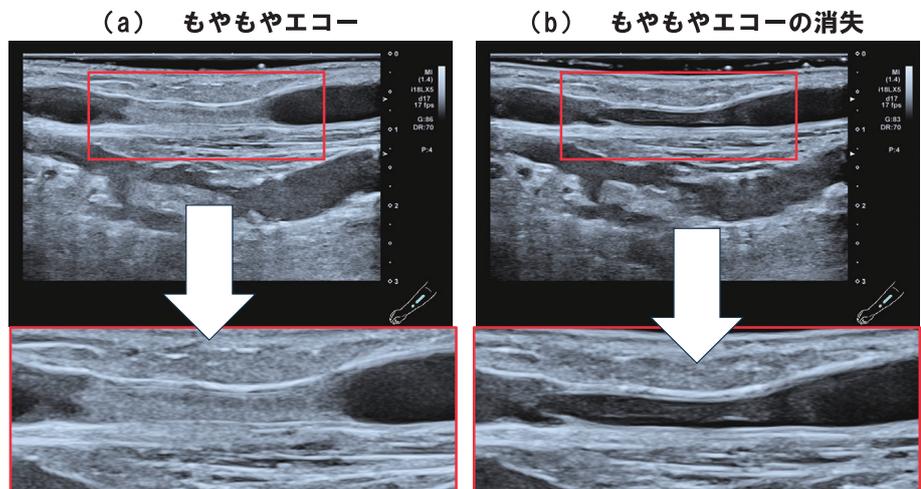
図 38 閉塞の責任病変部位の観察

血栓性閉塞の場合、責任病変部位まで血栓が形成されることが多く、責任病変部位特定の参考となる。

➡ 責任病変

図 39 血液のうっ滞によるもやもやエコー

- (a) 血管内腔に比較的均一で充実性のもやもやエコーを認める。
- (b) プローブや用手的に圧迫することでもやもやエコーが消失。血栓が存在する可能性は低いと判断できる



を特定できることもあるため、一定の有用性はあると考えられる (図 34)。

また、浅部を走行する静脈は圧迫を受けやすく、狭窄様に観察されることがある。とくに肘正中皮静脈は直下の筋肉や上腕動脈の圧迫を受けやすく、また肘を伸展した際に血管が長軸方向に引っ張られるために内腔が狭小化し、狭窄様に観察されることがある (図 35-a)。肘正中皮静脈の狭窄を疑った場合は、肘関節を少し曲げ (図 35-b)、かつ中枢側を駆血することで狭窄の程度や真偽を判定することができる (図 35-c)。

駆血による狭窄径評価の意義については現状結論を得ていない。北村らは、非駆血時の狭窄径と駆血時の狭窄径において脱血不良に対する診断能力に差はなかったと報告している³⁰⁾。一方、人見らは、非駆血による狭窄の評価は過剰な治療介入の可能性があると報告している^{31,32)}。

狭窄部を駆血下にて観察・評価することは現状において必須とまでは言えないが、その有用性は少なからず認められるため、本標準的評価法では記載することとした。

9.3 閉塞の評価法

a) 閉塞の種類

閉塞は血栓性閉塞 (図 36-a) と非血栓性閉塞 (図 36-b) に分類される。血栓性閉塞は狭窄の進行や脱水、急激な血圧低下、頻回穿刺などによりシャント全体または一部の血流が停滞することで血栓を形成した閉塞形態である。ほとんどの場合は狭窄が主因であり、狭窄が高度なほど血栓性閉塞のリスクは高くなる。非血栓性閉塞は狭窄が進行し、内腔が閉塞することにより生じる場合や血栓性閉塞により形成された血栓が退縮して生じる閉塞形態である。

b) 閉塞の診断

Bモードにて血管内腔を観察し、閉塞を疑った場合は血流シグナルを観察する。血流が通過していなければ閉塞と診断されるが、そのためにはカラー Doppler (各メーカー別の血流表示機能を含む) またはより感度の高いパワード Doppler (図 37) を使用する。Doppler を使用する際は流速レンジを狭く (小さく) 設定し、それでもカラー表示が認められない場合は閉塞の可能性が高い。血栓性閉塞は血管内腔に充実性成分が充満しており、非血栓性閉塞は狭小化した

血管の内腔が消失したように観察され、検査の際はその範囲を記録しておく。血栓性閉塞の場合は、閉塞の原因となった狭窄を特定する。また、閉塞の形態として、シャント全体が閉塞している状態 (完全閉塞) か、分岐後の静脈の閉塞 (部分閉塞) かを確認する。完全閉塞の場合は、中枢での再建や人工血管移植などを考慮し、閉塞部中枢の動静脈の開存性や連続性、血管径を評価する (図 38)。

閉塞が疑われた際に、血管内が無エコーではなく均一な充実性エコーを認めることがある (図 39-a)。その場合、血液のうっ滞によるもやもやエコーの可能性を考慮し、血栓との鑑別が必要となる。プローブや手動的に軽く圧迫することでもやもやエコーが消失すれば血栓が存在する可能性は低いと判断できる (図 39-b)。

【文献】

- 1) (社)日本透析医学会 バスキュラーアクセスガイドライン改訂・ワーキンググループ委員会：慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン。透析会誌。2011; 44: 855-938.
- 2) 多川齊, 小野哲章, 横手祐二. 超音波 Doppler 法による血液透析用動静脈瘻の評価。腎と透析。1977; 2: 59-63.
- 3) 山本裕也, 日野紘子, 中山祐治, ほか. 自己血管内シャント作製前後の末梢循環動態の変化。腎と透析。2012; 72(別冊アクセス 2012): 236-8.
- 4) Sato T, Tsuboi M, Onogi T, et al. Standard procedures of endovascular treatment for vascular access stenosis in our facility - clinical usefulness of ultrasonography. J Vasc Access. 2015; 16 Suppl 10: S34-7.
- 5) 三輪尚史, 櫻井寛, 桃原啓介, ほか. 超音波検査による上腕動脈血流量 (FV)・血管抵抗指数 (RI) 測定は治療時期を特定できるか? 腎と透析。2013; 74(別冊アクセス 2013): 160-2.
- 6) 三輪尚史, 櫻井寛, 桃原啓介, ほか. 超音波診断装置を用いたアクセス狭窄径の評価とその意義。腎と透析。2021; 91(別冊アクセス 2021): 86-8.
- 7) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, ほか. 超音波パルス Doppler 法による人工血管内シャント血流量測定部位別の基礎的検討。腎と透析。2013; 74(別冊アクセス 2013): 165-7.
- 8) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, ほか. 上腕動脈の高位分岐症例に対する基礎的検討。腎と透析。2014; 77(別冊アクセス 2014): 120-2.
- 9) 吉本勝美, 武田理子, 坂井久美, ほか. パルス Doppler 法による人工血管内シャントの血流量測定一希釈方途の比較一。大阪透析研究会会誌。2001; 19: 31-5.
- 10) 野口智永. HD02 の有用性一できること, できないこと一。腎と透析。2011; 71(別冊アクセス 2011): 36-8.
- 11) 山本裕也, 大川博永, 西川博幸, ほか. 超音波パルス Doppler 法による流量測定の模擬回路を用いた基礎的検証。透析会誌。2023; 56: 361-8.
- 12) Kenneth Hoyt, Felix A Hester, Randall L Bell, et al. Accuracy of Volumetric Flow Rate Measurements.: an in vitro study using modern ultrasound scanners. J Ultra-

- sound Med. 2009; 28: 1511-8.
- 13) 前野七門, 中西正一郎, 太田なおみ, ほか. パルスドプラ法による血流量測定の誤差要因についての検討. 透析会誌. 2010; 43: 641-7.
 - 14) 超音波による頸動脈病変の標準的評価法 2017.
 - 15) 村上康一, 猪又扶美, 奈良起代子, ほか. シヤント管理における超音波パルスドップラー法の有用性について. 腎と透析. 2003; 56(別冊アクセス 2003): 39-43.
 - 16) 尾上篤志, 東野寧明, 大野卓志, ほか. バスキュラーアクセス機能評価における狭窄径・血流量・RIの有用性. 超音波検査技術. 2011; 36: 587-92.
 - 17) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, ほか. 自己血管内シヤントにおける脱血不良発生と超音波検査における機能評価および形態評価との関連性. 透析会誌. 2012; 45: 1021-6.
 - 18) 人見泰正, 鈴木尚紀, 辻義弘, ほか. 狭窄病変手前の分枝血管が上腕動脈血流量 (FV) と抵抗係数值 (RI) の病変検出能力に及ぼす影響. 透析会誌. 2020; 53: 393-9.
 - 19) 新田孝作, 政金生人, 花房規男, ほか. わが国の慢性透析療法の現況. 透析会誌. 2019; 52: 699-700.
 - 20) Ogawa T, Matsumura O, Matsuda A, et al. Brachial artery blood flow measurement: A simple and noninvasive method to evaluate the need for arteriovenous fistula repair. Dialysis & Transplantation. 2011; 40: 206-10.
 - 21) 人見泰正, 林道代, 衣川由美, ほか. 超音波検査による内シヤント血流機能評価は「透析中」でも実施可能か? 透析会誌. 2013; 46: 427-34.
 - 22) 人見泰正, 林道代, 衣川由美, ほか. 「透析中」における内シヤント血流量と実血流量の変動要因に関する研究. 透析会誌. 2012; 45: 863-71.
 - 23) Yamamoto Y, Nakamura J, Nakayama Y, et al. Relationship between the outcomes of stent placement and the properties of arteriovenous graft outflow vein stenotic lesions. J Vasc Access. 2012; 13: 426-31.
 - 24) Suemitsu k, Shiraki T, Iida O, et al. Impact of Lesion Morphology on Durability After Angioplasty of Failed Arteriovenous Fistulas in Hemodialysis Patients. J Endovasc Ther. 2018; 25: 649-54.
 - 25) 山本裕也, 大川博永, 西川博幸, ほか. バスキュラーアクセス超音波検査における狭窄病変の評価に関する検討. 透析会誌. 2020; 53: 1-6.
 - 26) 山本裕也, 大川博永, 西川博幸, ほか. バスキュラーアクセス狭窄の評価における収縮期最高血流速度の有用性. 透析会誌. 2022; 55: 243-7.
 - 27) Plato SA, Kudlaty EA, Allemang MT, et al. Elevated Peak Systolic Velocity and Velocity Ratio from Duplex Ultrasound are Associated with Hemodynamically Significant Lesions in Arteriovenous Access. Ann Vasc Surg. 2016; 35: 68-74.
 - 28) Wo K, Morrison BJ, Harada RN. Developing Duplex Ultrasound Criteria for Diagnosis of Arteriovenous Fistula Stenosis. Ann Vasc Surg. 2017; 38: 99-104.
 - 29) Alexandre Chao, Simon Gruenewald, George Larcos, et al. Duplex Ultrasound Criteria for Assessment of Stenoses in Radiocephalic Hemodialysis Fistulas. J Vascular Technology. 2001; 25: 203-8.
 - 30) 北村健太郎, 丸山和葵, 増村貴義, ほか. シヤントエコーによる前腕 AVF の駆血による狭窄評価の有用性. 腎と透析, 2019; (別冊アクセス 2019): 129-31.
 - 31) 人見泰正, 鈴木尚紀, 辻義弘, ほか. シヤント狭窄部の血管拡張能の違いが治療成績や検査基準に及ぼす影響. 透析会誌. 2022; 53: 167-73.
 - 32) 人見泰正, 鈴木尚紀, 辻義弘, ほか. シヤント狭窄部の血管拡張性についての検討. 大阪透析研究会会誌. 2021; 38: 147-50.

10. 透析時に生じるトラブル

- ◆AVF や AVG では、狭窄や閉塞の発現が起点となり、脱血不良や静脈圧の上昇、再循環、止血困難などが発生する。
- ◆そのほかのトラブルとして、さまざまな原因によって発生する穿刺困難がある。

VA に異常が発生すると、透析中にさまざまなトラブルを生じる。AVF や AVG では、狭窄や閉塞の発現が起点となり、脱血不良や静脈圧の上昇、再循環、止血困難などの異常が発生する。留置カテーテル以外の VA は、穿刺という工程が加わることで、穿刺困難などの異常も存在する。ここでは、透析時に生じる VA トラブルの定義や原因、超音波検査の観察ポイントについて解説する。

10.1 脱血不良

<定義>

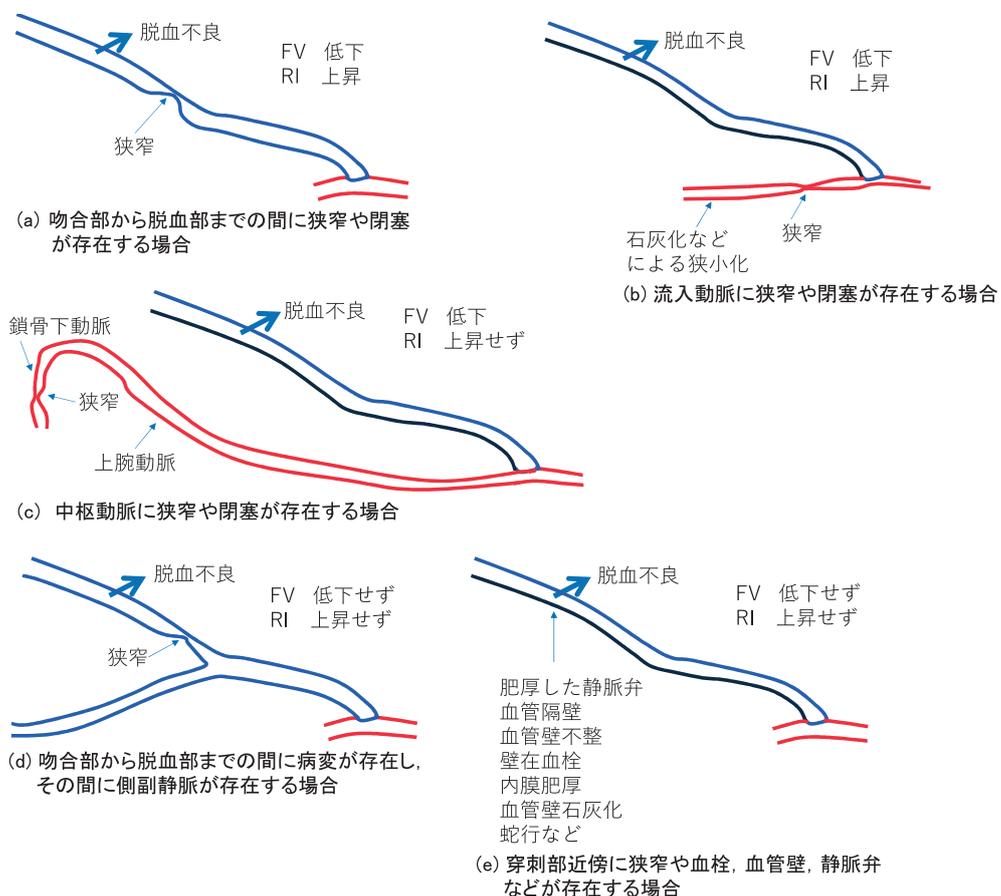
血液透析を行う上で、所定の血流量が VA から脱血できない状態をいう。透析治療で最も多く遭遇する異常所見のひとつである。

<原因>

以下の3つの原因が考えられる。

- ① 穿刺部位の血流量低下
 - ・吻合部から脱血穿刺部位までの間の狭窄や閉塞
 - ・脱血穿刺部位までに側副静脈があり、脱血部の血流量が低下している場合
 - ・流入動脈の狭窄や閉塞（吻合部より末梢側からのみ流れ込んでいる場合など）
 - ・中枢動脈（腋窩動脈や鎖骨下動脈など）の狭窄や閉塞
 - ・患者の全身状態の影響（脱水、低血圧、著明な心機能低下など）
- ② 穿刺針外套が正しく血管内に留置されていない場合
 - ・狭窄部や血栓、血管壁、静脈弁などに穿刺針外套の先端が当たっている場合など

図 40 脱血不良



③ 透析用血液回路内の異常

< 超音波検査の観察ポイント >

まず、上腕動脈の血流量と RI を計測し、その値から大まかな病態を推測して細部を観察する。

① 上腕動脈の血流量が低下し、RI が上昇している場合

- ・吻合部から脱血部までの間に存在する狭窄や閉塞を確認する (図 40-a)。
- ・吻合部から脱血部までの間に存在する狭窄がない場合は、流入動脈の狭窄や閉塞を確認する (図 40-b)。

② 上腕動脈の血流量および RI の両方が低下している場合 (狭窄後波形を呈することが多い)

- ・腋窩動脈や鎖骨下動脈などの中枢動脈の狭窄や閉塞を (可能な範囲で) 確認する (図 40-c)。

③ 上腕動脈の血流量が低下しておらず、また RI も上昇していない場合

- ・吻合部から脱血穿刺部位までの間の側副静脈の存在を確認し、マッピングする。また、吻合部から脱血部までの間の狭窄の有無を観察する (図 40-d)。
- ・側副静脈がない場合は、穿刺部近傍の狭窄や血栓、血管壁、静脈弁などの存在を確認する (図 40-e)。

※ なお、上腕動脈血流量が低下しているにもかかわらず、動・静脈に有意狭窄を認めない場合は、ドライウエイトの低値、低血圧、脱水などを考慮する。

10.2 静脈圧の上昇

< 定義 >

静脈圧 (返血圧) とは、透析治療において浄化された血液を体内に戻す際の返血部位の圧力のことであり、静脈圧の上昇とは、返血部位の血管内圧が上昇することを示している¹⁾ (図 41)。

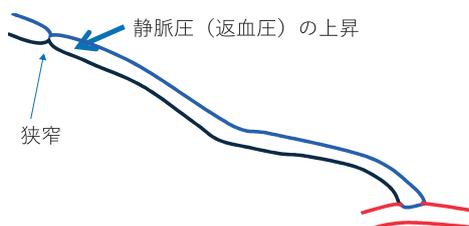


図 41 静脈圧の上昇

< 原因 >

- ① 返血穿刺部そのもの (針先の近傍)、もしくは、それよりも中枢側に存在する狭窄や閉塞。
- ② 透析用血液回路内の異常。
- ③ Qb に比して返血の穿刺針のサイズが小さい場合
- ④ 血管蛇行や隔壁、血管荒廃により、穿刺針外套の先端が血管壁に当たっている場合
- ⑤ 過剰血流によって相対的に血管内圧が上昇している場合

< 注意点 >

脱血部と返血部の間に狭窄病変が存在する場合、異常所見は認めない。すなわち、狭窄部位よりも末梢側で脱血を行うと、血流量が低下していても脱血は可能である。一方で、狭窄部位よりも中枢側で返血しても静脈圧は上昇しない。

< 超音波検査の観察ポイント >

返血穿刺部の近傍 (針先が留置されると想定される部位)、もしくは、その部位よりも中枢側に存在する狭窄や閉塞を検索する。これらの病変を指摘できない場合は、別の要因が考えられる。

10.3 再循環

< 定義 >

透析により浄化された血液が体内に返血された際、血流の一部もしくは大半が、脱血部位から再度、透析用血液回路側に引き込まれる現象をいう。また、再循環された割合を再循環率と呼び、概ね 10% 以上の再循環率がある場合は、原因を精査する。再循環が発生すると脱血不良に気づきにくくなり、除水の経過に伴う回路内濃縮や著しい透析効率の低下が生じる場合がある。

< 原因 >

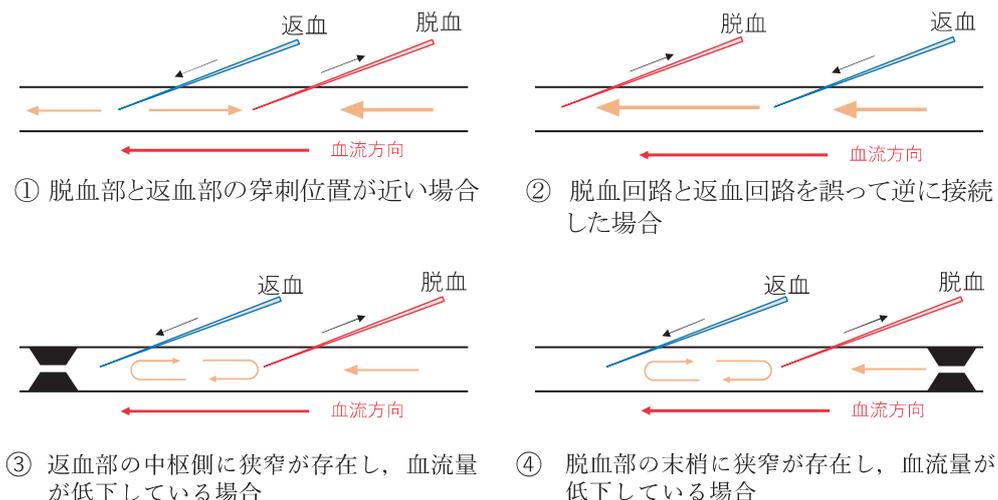
以下の 4 つの原因が考えられる。(図 42)

< 超音波検査の観察ポイント >

超音波検査で直接、再循環を証明することができないため、以下の異常所見をエコーで確認する。

- ① 上腕動脈血流量の低下
- ② 返血部よりも中枢側の病変の有無、または脱血部よりも末梢側の病変の有無 (上記の異常所見を指摘できない場合は、別の要因

図 42 再循環



が考えられる)

10.4 止血困難

<定義>

抜針後の止血に要する時間が長くなること、止血しにくいこと。

<原因>

- ① 穿刺部位よりも中枢側の狭窄や閉塞によって、止血部位の血管内圧が上昇している場合
- ② 抗凝固薬、抗血小板薬による影響
- ③ 皮膚の脆弱、血管壁の荒廃、皮膚から血管までの距離が短い場合

<超音波検査の観察ポイント>

- ① 止血時間が延長している穿刺部位よりも中枢側の狭窄・閉塞の有無
- ② 血管壁の状態の観察（破綻や壁不整など）
- ③ 皮膚から血管前壁までの距離の計測

10.5 穿刺困難

<定義>

血管内の適切な位置に穿刺針を留置することが困難であること。血管内に穿刺針（内針）を挿入できない場合と、穿刺針外套が進みにくい場合とがある。

<原因>

- ① 内針を挿入できない場合
狭窄、閉塞、壁在血栓、血管壁の石灰化、血管径が小さい、または深い場合、血流量の低下、穿刺技術などが原因となる。
- ② 穿刺針外套が進まない場合
狭窄、閉塞、壁在血栓、静脈弁、血管の蛇行、血管隔壁、穿刺技術などが原因となる。

<超音波検査の観察ポイント>

- ① 血流量低下の有無を確認する。
- ② 血流に対して逆行性穿刺あるいは順行性穿刺を考慮したうえで、穿刺部の近傍に狭窄や（血管内）血栓、壁在血栓、静脈弁、血管壁の石灰化、血管隔壁が存在するかを観察する。
- ③ 血管径が小さい、血管走行が深い、血管の蛇行の有無を観察する。
(上記の異常所見を指摘できない場合は、穿刺技術などの原因が考えられる)

【文献】

- 1) 春口洋昭. バスキュラーアクセスにおける超音波診断の意義. 超音波医学. 2019; 46: 125-31.

11. バスキュラーアクセスの合併症

- ◆シャント血管や流入動脈の狭窄・閉塞は静脈高血圧症や瘤形成，スチール症候群の一因になる。
- ◆そのほかの合併症として穿刺による感染，非生理的血流による過剰血流などがある。
- ◆合併症の病態把握には超音波検査が有用である。

シャントは動静脈を外科的に吻合した非生理的な血行動態のため，さまざまな合併症を生じる。シャント静脈の狭窄・閉塞は静脈高血圧症や瘤形成，動脈の狭窄・閉塞はスチール症候群の一因になり得る。さらに，ほとんどのVAは穿刺による感染の危険を伴う。また，非生理的血流による過剰血流と心負荷の問題もある。ここでは，これら合併症の病態と超音波検査の観察ポイントを解説する。

11.1 静脈高血圧症

<病態>

VAの静脈還流が，狭窄や閉塞などで障害され，静脈のうっ滞が生じ，さらに側副路還流の発達が末梢側への逆行性還流を増加させ，末梢組織からの静脈還流が阻害された病態である。静脈のうっ滞により，シャント肢は腫脹し，発赤や皮下静脈の拡張（側副路発達による）および手指の疼痛などが生じてくる（図43）。また，過剰血流のシャントでは，静脈側に有意な狭窄や閉塞がなくとも，中枢側のシャント静脈の発育が不良の場合は，静脈うっ滞により，

図43 静脈高血圧症の身体所見例（左上肢）
中枢側の静脈狭窄による静脈うっ滞により，上肢から手掌にかけて，腫脹と発赤および皮下静脈の拡張を認める



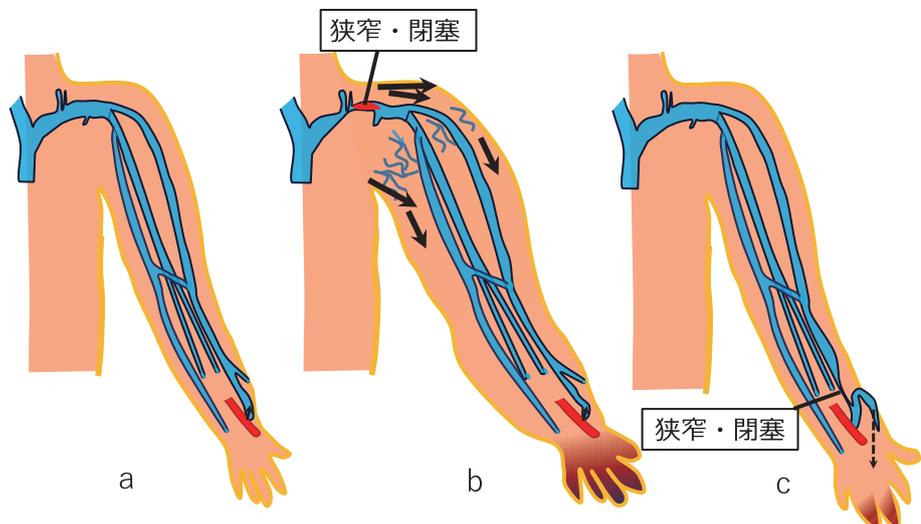
図44 静脈高血圧症の模式図

a: 通常の AVF

b: 中心静脈近傍での狭窄

c: 吻合部中枢側近傍での狭窄

※狭窄部手前で手背から合流する静脈などが逆流して手指（主に第3～4指）の腫脹が出現する可能性がある（ソアサム症候群）



静脈高血圧症を呈することがある。原則として原因病変の末梢に浮腫や腫脹が生じる¹⁾。例えば、鎖骨下静脈など、中枢側の静脈病変による静脈高血圧では、上肢全体の腫脹や前胸部皮下静脈の拡張がみられる。また、手首近くの AVF の静脈の病変では、手背から合流する静脈などが逆流して手指のみの腫脹が出現し、いわゆるソアサム症候群と呼ばれる病態となり、進行すると皮膚のびらんや潰瘍を生じ難治性となる²⁾ (図 44)。

< 超音波検査の観察ポイント >

- ・ 症状の原因と考えられる部位の静脈狭窄・閉塞所見
- ・ 上肢全体が腫脹している場合は、中枢側に狭窄や閉塞を生じている場合がある。
- ・ 手首近く（末梢側）の狭窄や閉塞が原因の場合は、血流量の低下を認める場合がある。
- ・ 狭窄部（閉塞部）よりも末梢側へのシャント血の逆流がみられることがある。
- ・ 中枢側の静脈が発育不良の場合は、静脈の狭窄・閉塞がなくとも過剰血流のみで生じる場合がある。

11.2 スチール症候群

< 病態 >

AVF や AVG において、本来還流すべき上肢末梢への動脈血流がシャントにより盗血され、前腕から手指などで末梢循環障害を生じ、疼痛やしびれおよび冷感が出現し、さらには手指の潰瘍を形成するよ



図 45 スチール症候群の身体所見

末梢循環障害により手指の色調変化および指先の潰瘍を認める

うな病態である (図 45)。動脈硬化が進行している症例や、頻回のアクセス手術によって末梢血管の閉塞を来し動脈還流が低下している症例ではスチール症候群の発症頻度が高い^{3,4)}。ただし、動脈硬化が進行していない症例でも、VA の過剰血流が顕著であれば、末梢動脈が盗血されスチール症候群に至ることがある (図 46)。発生頻度は前腕部のシャント (1.8% 前後) に比し、血流量が多くなりやすい上腕部のシャント (4~9%) や人工血管内シャント (6% 前後) は高くなる^{5,6)}。稀ではあるが、内シャント作製側の鎖骨下動脈起始部付近の狭窄や閉塞を有している症例において、同側の椎骨動脈-脳底動脈の盗血現象が生じ、脳底動脈の虚血症状 (めまい、失神発作など) を生じる鎖骨下動脈盗血症候群

図 46 スチール症候群の模式図

a 通常の AVF, b 動脈硬化による末梢動脈血行障害におけるスチール症候群, c 末梢動脈血行障害を生じていない場合の過剰血流によるスチール症候群, d 中枢の動脈 (腋窩動脈や鎖骨下動脈) の狭窄・閉塞によるスチール症候群

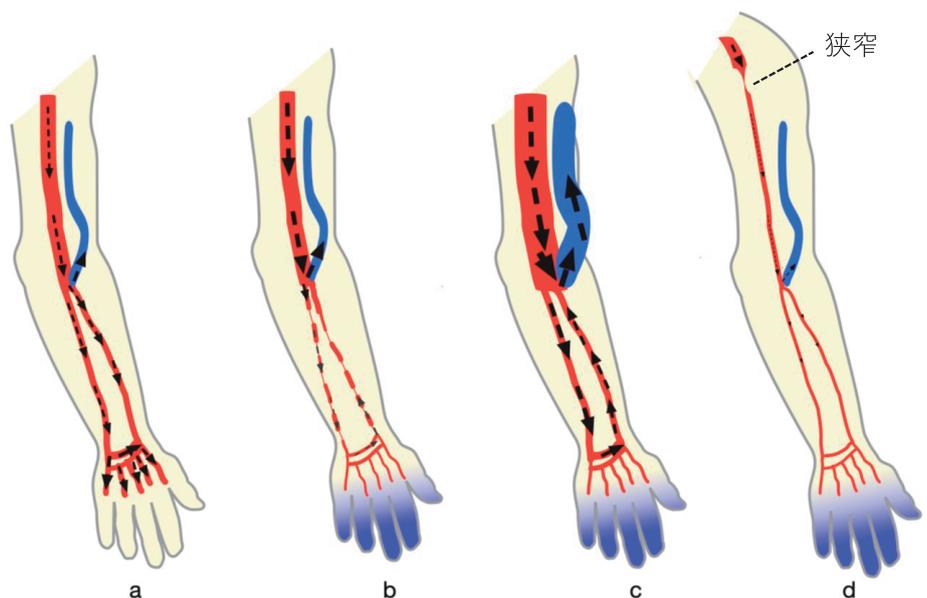


図 47 AVF の静脈側に生じた瘤
 a 身体所見 : AVF 付近の皮下の膨隆を認める (矢頭)
 b 超音波像 : AVF 吻合直上の静脈に瘤形成を認める

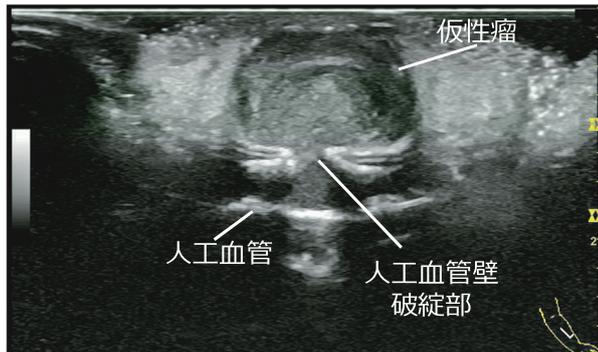
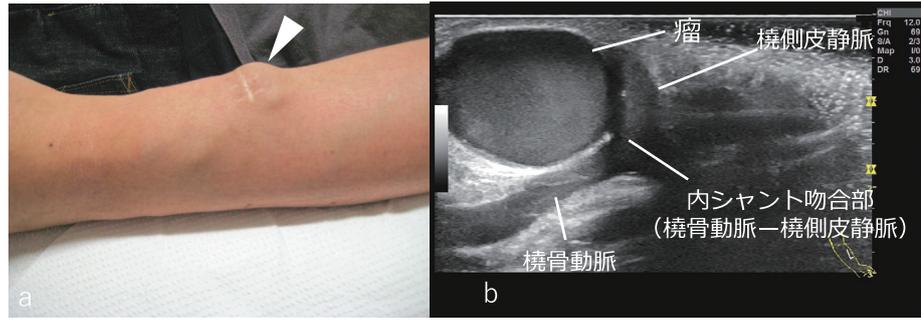


図 48 仮性瘤例

人工血管の壁破綻部から皮下に突出する瘤 (仮性瘤) を認める

(subclavian steal syndrome: SSS) も念頭におく必要がある⁷⁾.

< 超音波検査の観察ポイント >

- ・ 過剰血流の有無
- ・ 動脈側の狭窄・閉塞所見の有無 (特に手指側に還流する動脈側)
- ※ 動脈側の狭窄・閉塞が顕著な場合は過剰血流を呈さなくとも起こりうる
- ・ 吻合部末梢動脈の逆流の有無 (末梢動脈結紮術の適応があるかどうかを知るため)

11.3 瘤

< 病態 >

VA はしばしば瘤を形成する。特に、血行動態が変化する静脈側で多い (図 47)。形態的に血管壁構造を保っている「真性瘤」と、穿刺や感染に伴い血管壁構造が破綻して急速に増大してくる「仮性瘤」に大別できる。ちなみに、人工血管の穿刺部破綻による瘤形成は、必然的に仮性瘤となる (図 48)。仮性瘤は血管壁を持たない脆弱な構造であることから、破裂のリスクは高い。また、真性瘤は形態的に紡錘状と嚢状に区別できるが、嚢状で拡大傾向の瘤は破裂のリスクが高い。

瘤が認められた場合には瘤のサイズを計測する。計測法は、瘤の短軸像では短径および長径を外側の血管径 (外径) で計測する⁸⁾。瘤の長軸像では長径 (範囲) を計測する (図 49)。経過観察においては、瘤の増大傾向の有無を確認することが重要である。また、血管壁の石灰化、壁在血栓、瘤から皮膚までの距離、瘤前後の狭窄の観察も治療方針に役立つ。

< 超音波検査の観察ポイント >

- ・ 局所的な血管拡張所見
- ・ 血管壁や人工血管の破綻に一致した瘤状拡張 (仮

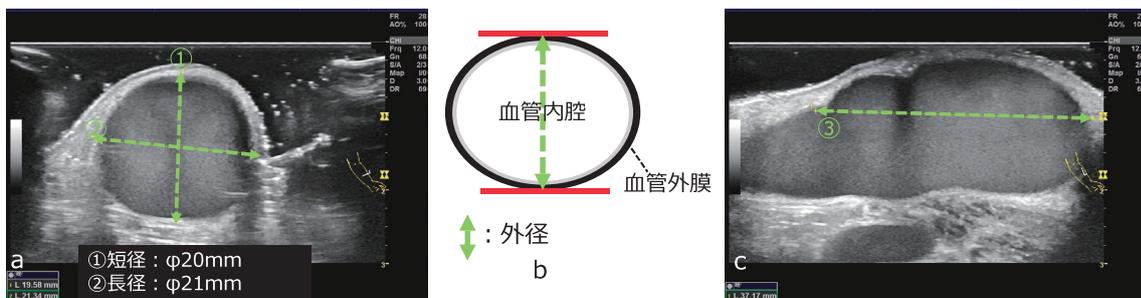


図 49 瘤のサイズ計測例

- 短軸像では血管外径で短径①と長径②を計測する
- 外径計測の概略図
- 長軸像では長径 (範囲) ③を計測する



図 50 感染部の身体所見
感染部に一致して腫脹と発赤（矢頭部）を認める

性瘤の場合)

- ・ 仮性瘤の入口部では、ドプラにて to and fro パターンの血流シグナルを認める場合がある。
- ・ 瘤前後の狭窄の有無と程度
- ・ 壁在血栓の有無
- ・ 血管壁石灰化の有無
- ・ 吻合部の瘤では流入動脈を描出する。

11.4 感染

< 病態 >

AVG の症例で多くみられる。感染の好発部位は、人工血管の穿刺部位（穿刺後血腫形成、穿刺部汚染）であるが、稀に手術創でもみられる。症状としては、感染部の腫脹と発赤（図 50）、疼痛、熱感、穿刺孔からの膿排出などがある。感染により、敗血症に至る可能性があり、早期に診断・治療することが肝要である。人工血管部などに上記症状を認めた場合、超音波にて観察すると、病巣部に、膿瘍による低輝度な液体成分主体の腫瘤を認める（図 51）。

< 超音波検査の観察ポイント >

- ・ 発赤や穿刺孔に一致した膿瘍による腫瘤像
- ・ 腫瘤（膿瘍）の内部は不均質で周囲組織に比べて低輝度な領域として描出される。

11.5 過剰血流

< 病態 >

内シヤントの還流血液量が増加し、循環動態の許容範囲を超える場合を過剰血流という。過剰血流によって、心不全や前述した静脈高血圧症やスチール症候群を引き起こす場合がある。なお、患者の状態や心予備能により、過剰血流となり得る血流量には

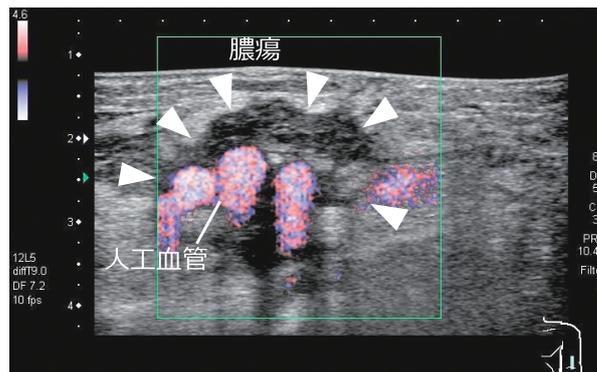


図 51 人工血管感染による膿瘍形成像
矢頭の囲み部分が膿瘍

違いがあるので、厳密に過剰血流となり得る血流量を定義づけることは困難であるが⁹⁾、超音波による血流量計測で、1,500～2,000 ml/min 以上で高拍出性心不全を生じるとする報告がある⁹⁻¹²⁾。

< 超音波検査の観察ポイント >

- ・ 上腕動脈血流量が多い（ただし、流量のみで過剰血流は判断できない）
- ・ 動脈、静脈ともに著明な血管拡張を認める
- ・ 間接所見：過剰血流による静脈高血圧症やスチール症候群、心不全などを疑う所見

【文献】

- 1) 八鍬恒芳. 静脈高血圧症とスチール症候群における超音波検査の有用性. 超音波医学. 2019; 46: 159-69.
- 2) 日本透析医学会. バスキュラーアクセスガイドライン改訂・ワーキンググループ委員会: 2011年版社団法人日本透析医学会慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン. 透析会誌. 2011; 44: 855-937.
- 3) 春口洋昭, 廣谷紗千子, 佐藤雄一, ほか. Steal 症候群と ischemic monomelic neuropathy. 腎と透析. 2001; 50(別冊アクセス): 40-7.
- 4) 春口洋昭. バスキュラーアクセス その作製・維持・修復の実際 (大平整爾, 久木田和丘, 天野泉, 内藤秀宗 編). 東京: 中外医学社; 2007. p.142-7.
- 5) Schanzer H, Eisenberg D: Management of steal syndrome resulting from dialysis access. Semin Vasc Surg. 2004; 17: 45-9.
- 6) Davidson D, Louridas D, Guzman R, et al. Steal syndrome complicating upper extremity hemoaccess procedures: incidence and risk factors. Can J Surg. 2003; 46: 408-12.
- 7) 熊谷文昭, 櫛田隆久, 佐々木路佳, ほか. 高血流量化した標準内シヤントによって鎖骨下動脈スチール症候群を発生した 1 例. 透析会誌. 2009; 42: 529-34.
- 8) 松尾汎, 佐戸川弘之, 小川智弘, ほか. 超音波による深部静脈血栓症・下肢静脈瘤の標準的評価法. 2018; 29: 363-94.
- 9) MacRae JM, Pandeya S, Humen DP, et al. Arteriove-

- nous fistula-associated high-output cardiac failure:a review of mechanisms. *Am J Kidney Dis.* 2004; 43: E17-E21.
- 10) Anderson CB, Codd JR, Graff RA, et al. Cardiac failure and upper extremity arteriovenous dialysis fistulas. Case report and a review of the literature. *Arch Intern Med.* 1976; 136: 292-7.
- 11) Jürg Schmidli, Matthias K Widmer, Carlo Basile, et al. Editor's Choice-Vascular Access: 2018 Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2018; 55: 757-818.
- 12) 2011年版 社団法人日本透析医学会. 慢性血液透析用バスキュラーアクセス作製および修復に関するガイドライン(5)過剰血流. *ジャーナル フリー.* 2011; 44: 917-20.

【参考】

12. バスキュラーアクセス新規作製の術前評価

- ◆術前評価の目的は、検査者が客観的な血管の情報を術者に提供することである。
- ◆術者は血管の状態や患者背景などを総合的に評価して判断するため、あらゆる VA に対応できるように、両上肢を観察することを基本とする。
- ◆可能であれば、術者と一緒に超音波検査を施行することが望ましい。

VA を作製する前の血管評価においても超音波検査が活用できる。日本透析医学会のガイドラインにおいても、本法による評価が推奨されており、検査者は術者に客観的な血管の状態（太さ、深さ、走行など）を提供することを目的とする。作製する VA の種類や作製部位などは血管の状態、患者背景、透析導入までの猶予などを総合的に評価して術者が判断するため、あらゆるアクセスに対応できるように術前評価は両上肢を観察することを基本とする。また、VA の作製には術者の考え方、技術、経験が強く反映される。したがって、VA 作製前の超音波検査は、可能であれば術者と一緒に観察することが望ましい。ここでは、検査者単独で VA 作製の術前評価を行うことを想定した検査法について述べる。なお、今回の術前評価は透析導入のために新規に VA を作製する場合を想定している。シャント閉塞などで新たに VA を作製する場合は、主治医と術者と相談しながらそれぞれの病態において、血管評価を行う必要がある。

12.1 術前評価を行う際に必要な VA 作製の基礎知識

術者は VA 作製にあたって、基本的に以下のような考えを持っているため、検査を進めるうえで、術前評価の知識として参考にとよい。

(1) AVF を第一選択とする。ただし、著明な心機能低下や末梢循環障害がある場合は、AVF の作製が可能であっても、上腕動脈表在化や留置カテーテルを選択することがある。

- ・可能な限り末梢から作製する（必ずしもタバチエールが第一選択というわけではなく、タバチエールまたは手関節近傍を第一選択とする）。
- ・橈骨動脈と橈側皮静脈の吻合を第一に考える。
- ・作製する部位の動脈径・静脈径が重要であるが、

作製部中枢の静脈の連続性も重要な因子となる。

(2) AVF 作製が困難な場合は、AVG または、上腕動脈表在化を選択する（患者背景や皮膚の状態等にもよる）。

- ・AVG の多くは前腕ループ型のグラフトを選択する。その場合、流入動脈は肘窩の上腕動脈または分岐直後の橈骨動脈となる。静脈は、肘正中皮静脈、上腕静脈、上腕尺側皮静脈、上腕橈側皮静脈が選択されることが多い。
- ・前腕ストレート型のグラフトを選択する場合は、前腕末梢の橈骨動脈と上記の静脈の間で作製されることが多い。
- ・上腕動脈表在化は、基本的に動脈の血管径が 2.5 mm 以上必要で、著明な石灰化がないことが条件となる。

(3) AVG、上腕動脈表在化が困難な場合は、留置カテーテルを選択する¹⁾

- ・カテーテル挿入は右内頸静脈を第一選択とする。

12.2 観察する血管

- ・動脈：上腕動脈、橈骨動脈、尺骨動脈など。
- ・静脈：橈側皮静脈、肘正中皮静脈、尺側皮静脈、交通枝、上腕静脈、副橈側皮静脈など。

12.3 身体所見

- ・上肢全体の観察：浮腫や腫脹、手指の色調、皮膚の状態、麻痺の有無など。
- ・動脈：肘部の上腕動脈と手関節部の橈骨および尺骨動脈の拍動の有無を確認する。
- ・静脈：上腕部を駆血した状態で、視診や触診で血管走行を確認する。

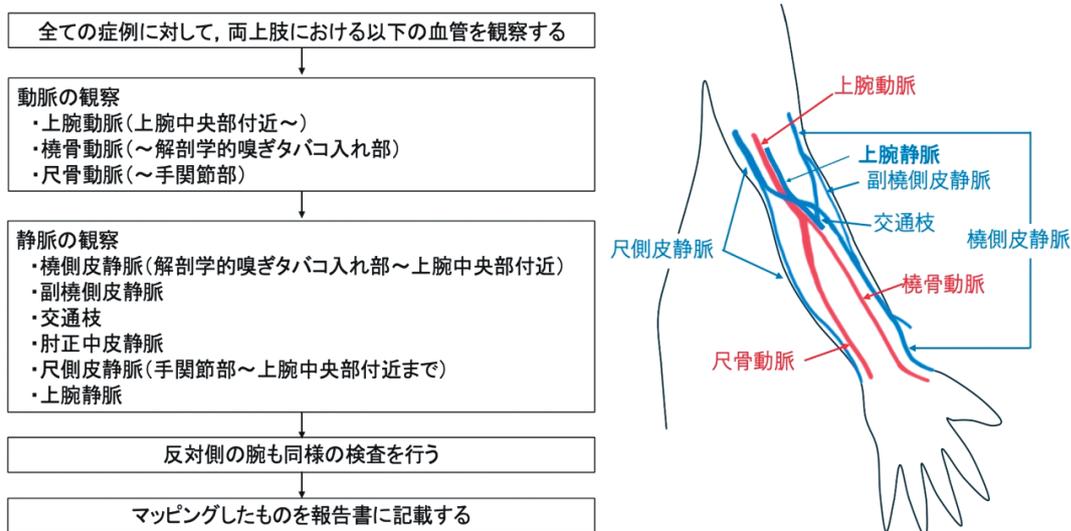


図 52 超音波による術前評価の流れ

12.4 超音波による VA 作製の術前評価の流れ

以下に検査の流れを示す (図 52)。

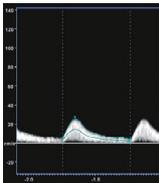
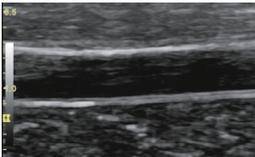
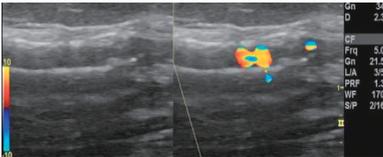
項目	作製可能	作製困難
上腕動脈の血流速波形	 2～3相性の動脈波形	 狭窄後波形
動脈壁の性状	 内膜と血管内腔の境界エコーが平滑 石灰化の沈着を認めない (認めても軽度)	 音響陰影を伴う石灰化の沈着 内膜肥厚を認め、血管内腔が狭小化
血管内径	1.5mm 以上	1.5 mm 未満もしくは閉塞

図 53 動脈の評価項目

12.5 超音波による動脈の術前評価

動脈壁の性状、血管径、上腕動脈の血流速波形を評価する (図 53)。

(1) 上腕動脈の血流速波形の評価

上腕動脈に対して超音波パルスドプラ法を施行す

る。通常 2～3 相性の血流速波形を示すが、狭窄後波形であれば、測定部位より中枢側の腋窩動脈や鎖骨下動脈に狭窄や閉塞病変の存在が疑われる。狭窄後波形においては、波形の立ち上がりから初めのピークまでの時間、つまり加速時間 (acceleration time: AT) が延長する。内シャントを有さない上肢動脈

の AT は 100 ms 以内とされる²⁾。この値よりも明らかに延長している場合は、中枢側の動脈病変を検査する。

(2) 上腕動脈および橈骨動脈、尺骨動脈の観察

(ア) 走査手順

- ・上腕動脈および橈骨動脈を末梢側に向けて走査する（同時に高位分岐の有無を確認する）。
- ・橈骨動脈の末梢側は、タバチエールシャントの作製を想定して解剖学的嗅ぎタバコ入れ部まで走査する。
- ・橈骨動脈と尺骨動脈の分岐部から前腕末梢側に向けて尺骨動脈を走査する。

以上を B モード断層法およびカラードプラ法を使用し、短軸と長軸の 2 方向で観察する。

(イ) 評価法と作製の基準

- ・石灰化病変の有無や程度を観察する。

ただし、動脈の石灰化の程度については、超音波で定量的に評価できる方法は現時点では無い。したがって、どの程度の石灰化があるかを術者が判断できるようなエコー画像を添付しておくのがよい。

- ・ RCAVF を成功するために必要な橈骨動脈径に関しては、さまざまな研究があり、橈骨動脈の最小径は 1.5 mm から 2.0 mm と報告されている^{3,4)}。

12.6 超音波による静脈の術前評価

静脈を拡張させるには、駆血やマッサージなどがあり、それを駆使して評価することが重要である。エコーでは、静脈の血管径や中枢側への連続性を評価する。静脈は圧迫すると血管が楕円もしくは狭小化するため、プローブによる圧迫を回避した走査を行う（図 54）。

(1) 橈側皮静脈および肘正中皮静脈、尺側皮静脈、交通枝の観察（図 52 を参照）

基本的に、上腕部を駆血した状態で観察する。まず、解剖学的嗅ぎタバコ入れ部から中枢側に向けて、前腕、肘部、上腕部中央部までの橈側皮静脈を走査する。この時、副橈側皮静脈があれば観察しておくことが望ましい。次に手関節部から肘部までの尺側皮静脈を走査する（UBAVF の作製を想定しておく）。肘部で肘正中皮静脈から上腕の尺側皮静脈を観察し、最後に肘窩の交通枝と（AVG の作製も想定して）上腕静脈を観察する。

(2) 観察のポイントおよび報告書の記載

静脈の観察ポイントは、①静脈の連続性②静脈径③静脈の深さである。基本的に吻合が可能な静脈径と血流が中枢側に良好に流れるために必要な静脈径は、いずれも 2.0 mm 以上であること¹⁾を念頭に入れておき、報告書に反映させる。

※【参考】報告書の項を参照

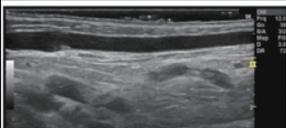
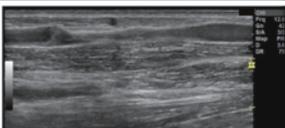
項目	作製可能	作製困難
血管内径	駆血をした状態で 2.0 mm 以上	駆血をした状態で 2.0 mm 未満
連続性	 狭窄・閉塞を認めない	 狭窄や閉塞を認める
穿刺	駆血をした状態で触診上、明らかに血管走行が触知できる	駆血をした状態で触診上、血管走行が触知できない
	超音波画像上も血管走行が浅い	超音波画像上も血管走行が深い、もしくは静脈を認めない
	血管の深さが 5.0mm 未満	血管の深さが 5.0mm 以上

図 54 動脈の評価項目

(ア) 血管の状態（狭窄や閉塞）と血管径

図 52 に記載されている主要な静脈において、駆血をした状態で直径 2.0 mm 未満の狭小部や閉塞があれば、報告書に記載する。また、術者が吻合可否を判断できるように血管径を測定して記載する。

(イ) 血管の深さ

静脈が深いと、たとえ良好なシャント血流があっても穿刺困難となる可能性が高い。したがって、肥満等でエコー画像上、皮膚から静脈前壁までの距離が 5 mm 以上ある場合は、血管の深さを計測して報告書に記載する。

【文献】

- 1) 小林大樹, 末光浩太郎. Vascular access 作製の術前評価と管理: 血管 初級. Jpn J Med Ultrasonics. 2017; 44: 261-9.
- 2) Duan YY, Yuan LJ, Ding K, et al. "Tardus and parvus" phenomenon in upper limb arteries for identifying subclavian arterial stenosis. Echocardiography. 2008; 25: 504-10.
- 3) 日本透析医学会. 慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン. 透析会誌. 2011; 44: 855-937.
- 4) Silva MB, Hobson RW, Pappas PJ, et al. A strategy for increasing use of autogenous hemodialysis access procedures impact of preoperative noninvasive evaluation. J Vasc Surg. 1998; 27: 302-8.

13. 報告書例

◆報告書の形式については、臨床側から求められる内容が、各施設によって異なるため、その施設に合ったものを使用する。

エコーにおける報告書の役割は、実際に検査して得られた情報を正確に伝達することであり、常にこのことを意識しながら作成する必要がある。そして、レポートに記載する事柄は、簡潔で理解しやすい表現を用いるべきである。報告書の形式については、臨床側から求められる内容が、各施設によって異なるため、その施設に合ったものを使用する。報告書例（シミュレーションデータ）を示す（図55～58）。

以下のように、各施設によって、さまざまな工夫

がなされている。

- ・ペンタブレットを用いて、フリーハンドでシェーマを記載する。病変部を詳細に表現したい場合は、拡大シェーマをフリーハンドで記載する。
- ・動脈は赤線、静脈は青線で表現し、狭窄部位は細いラインで、非狭窄部は太いラインで表現する。
- ・病変の詳細を書く欄を設けている。
- ・シャント肢の写真と重ね合わせて、シェーマを記載している。
- ・エコー画像を添付する。

13.1 症例1

バスキュラーアクセス超音波検査 報告書			
患者番号	〇〇〇〇〇〇	検査日	20〇〇年〇月〇日
患者氏名	●●●●	診療科 依頼医	●●●●
生年月日	19〇〇年〇月〇〇日	〇〇歳	(男性)・女性
検査目的	定期フォロー（約1年前にPTA施行）		
上腕動脈血流量	880 mL/min	検査を実施したタイミング 透析前・透析後・(非透析日)	
RI	0.55		

超音波所見
吻合部直上に2.5mmの狭窄病変を認めるが、血流量およびRIは基準値内です。

超音波診断
有意な狭窄は認めません。

診断医コメント
有意狭窄無し

検査者 ●●●●
診断医 ●●●●

〇〇病院

図55 報告書例1

13.2 症例2

バスキュラーアクセス超音波検査 報告書			
患者番号	〇〇〇〇〇〇	検査日	●●●●
患者氏名	●●●●	診療科 依頼医	●●●●
生年月日	19〇〇年〇月〇〇日	歳	男性(女性)
検査目的	静脈圧上昇、止血時間延長		
血流量	680 mL/min	高位分枝 ① 540 mL/min ② 140 mL/min	検査を実施したタイミング 透析前・透析後・非透析日
RI	—		

RI:resistance index
血流量は上腕動脈血流量を基本とする。ただし高位分枝の場合は①と②の合計を記載する

超音波所見
・上腕動脈は高位で分枝しています。
・明らかな上腕動脈血流量は認めず。
・Cephalic archに1.7mmの有意狭窄を認る。

超音波診断
Cephalic archに1.7mmの有意狭窄を認め、静脈圧上昇、止血時間延長の原因を疑います。

診断医コメント
静脈圧上昇および止血時間延長の原因としてCephalic archの狭窄を疑います。PTAを考慮ください。

検査者 ●●●●
診断医 ●●●●

〇〇病院

図56 報告書例2

13.3 症例 3

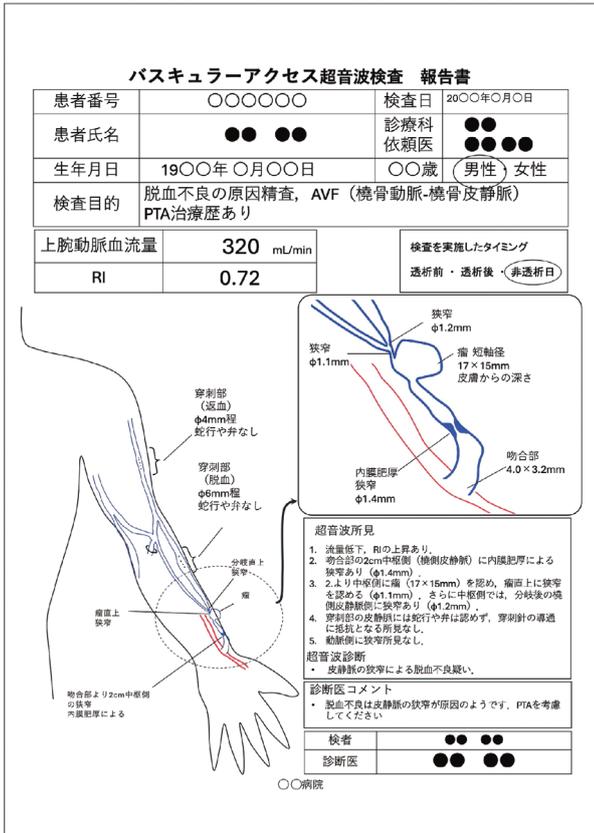


図 57 報告書例 3

13.4 症例 4

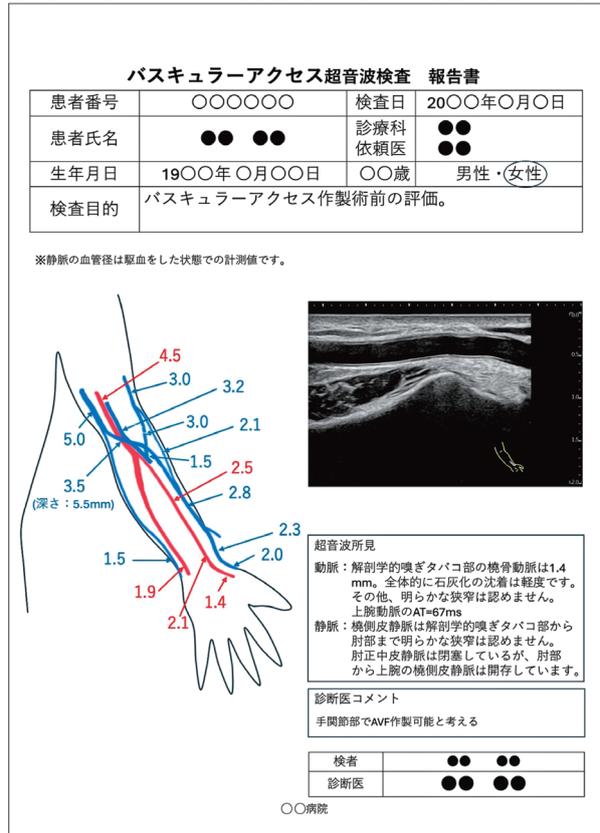


図 58 報告書例 4

利益相反

著者全員が、本標準的評価法に関して利益相反はありません。