

バスキュラーアクセス超音波検査の実践的手引き

序 文

バスキュラーアクセス (VA) は、透析に必須なものである。オランダのコルフ博士によって 1940 年代に人工腎臓が人に使用されるようになり、急性腎不全の患者の救命が可能となった。しかし、血管には限りがあり、慢性腎不全はまさに「死の病」であった。1960 年にスクリブナーが外シャントを発明し、はじめて透析医療を反復して行うことが可能となり、慢性腎不全患者も長期に生存することができるようになった。

しかし外シャントは、血栓形成や感染などのトラブルを抱えていた。その折、1966 年に Brescia と Cimino が内シャントを考案し、シャントを長期に使用することができるようになった。しかしその一方で、透析患者の高齢化、糖尿病や高血圧、動脈硬化を有する患者が増加し、VA のトラブルも多くみられるようになった。

これらのトラブルに対しては従来外科治療がおこなわれていたが、インターベンション治療の飛躍的な普及に伴い、閉塞する前に治療することが可能となってきた。そのための VA の管理の重要性が高まってきている。

VA 超音波検査は、VA の機能と形態を同時評価することが可能であり、侵襲なく簡便に使用することができる。VA 機能を正確に評価することで、治療のタイミングや治療法を決定することも可能となってきた。しかし、血流量測定を例にとってみても、標準化された方法がなく、得られた数値の意味合いも異なっているのが現状である。この指針は、現時点で、標準的と考えられる VA エコーの検査法を示し、同じ土俵で議論できる素地を作ることを目指している。

現在、VA に対する超音波検査は、医師、臨床検査技師、臨床放射線技師だけでなく、透析医療に携わる臨床工学技士、看護師など、多くの職種の方が携わっている。この手引きが多くの方に役立つことを期待している。

バスキュラーアクセス超音波研究会 代表世話人 春口洋昭

著 者

委員長	春口洋昭	飯田橋春ロクリニック
委員	小川智也	埼玉医科大学総合医療センター
委員	小林大樹	関西労災病院
委員	野口智永	吉祥寺あさひ病院
委員	三木 俊	東北大学病院
委員	村上康一	みはま成田クリニック
委員	八鍬恒芳	東邦大学医療センター大森病院
委員	横手卓也	湯島三和クリニック
委員	若林正則	望星第一クリニック血管外科アクセスセンター

1. 総 括

【第1章】VA エコーの目的と検査者の心構え

- 1-1 VAにおける超音波装置の使用者は透析医療及びVAの役割を理解するよう努める必要がある。
- 1-2 VAにおいて超音波装置を活用する際には、その目的を明確にして活用するべきである。
- 1-3 VAにおいて超音波装置の使用者は、VAに携わっている医療スタッフが多岐にわたっていることを理解し、その所見や結果について、多くのスタッフが共有できるように努めなくてはならない。

【第2章】 理学所見

- 2-1 超音波検査者は理学所見の取り方とその意味に習熟することが望ましい。
- 2-2 良好なシャントの理学所見を知っておく。
- 2-3 VAトラブルの診断では、それぞれの理学所見の変化の知識を持ち、超音波検査を行う必要がある。

【第3章】 装置の設定とプローブの選択

- 3-1 VA超音波検査として適切な装置の設定を行う。
- 3-2 検査の目的に沿ったプローブを使用する。

【第4章】 体位、画像表示、走査法

- 4-1 患者は仰臥位で検査することが望ましいが、それが困難な場合は、座位で検査する。
- 4-2 血管の縦断像（長軸像）は画面の右側を末梢側、左側を中枢側とする。血管の横断像（短軸）は足から眺めた像とするのが一般的である。
- 4-3 静脈を圧迫しないプローブ走査法を身に付けることを推奨する。
- 4-4 バスキュラーアクセスの形態評価では、可能な限り解像度の良い高周波プローブを使用する。

【第5章】 VA機能評価法

- 5-1 施行者は再現性および精度を高める手技手法を選択し、技術を磨く必要がある。
- 5-2 VA血流量は、上腕動脈血流量で評価することを推奨する。
- 5-3 計測部位、超音波ビームを入射角、サンプルボリューム、ゲインを適正に設定してパルスドプラ血流波形を描出する。
- 5-4 上腕動脈血流量は、時間平均血流速度（TAV：time averaged flow velocity）を元に計測することを推奨する。

- 5-5 RI・PI の算出には最低血流速度 (Vmin) ではなく、拡張末期血流速度 (EDV) を使用する。
- 5-6 循環動態が安定していないため、透析直後の計測は避けるのが望ましい。
- 5-7 人工血管内シャント症例では、人工血管内の血流量を計測することも可能である。

【第6章】 サーベイランスとしてのVA機能評価

- 6-1 VA機能不全を早期発見するプログラムを確立する。
- 6-2 : VAのサーベイランスとしてはVAの血流量を推奨する。VA不全の早期発見のスクリーニングとしてRIは有用である。
- 6-3 VA血流量を測定する目的は適切な透析量の確保と閉塞の予防である。
- 6-4 VA血流過剰による心負荷を生じることを認識しておく。

【第7章】 形態評価

- 7-1 局所だけでなく、バスキュラーアクセス全体の構造を血行動態とともに把握する。横断面、縦断面を駆使し、3次的に血管走行や局所の変化を理解するように努める。
- 7-2 観察範囲は、出現する病態によって異なる。症状を把握し観察ポイントを逃さないよう効率良く検査を施行する。
- 7-3 機能と形態を総合して診断することが望ましい。

【第8章】 VA作製における超音波検査

- 8-1 VA作製においては理学所見が最も有用であり、検査者は理学所見の取り方についての知識が必要となる。超音波検査は補助的に使用することが望ましい。
- 8-2 VA作製に使用する動静脈の組み合わせを知っておき、作製可能な血管径に関する大まかな知識をもって検査する。

【第9章】 各種トラブルに対する超音波検査

第9章—1 狭窄

- 9-1-1 バスキュラーアクセスの狭窄に対する超音波検査では、穿刺部位との位置関係を把握し、発生しうる臨床症状を熟知したうえで超音波検査を施行する。臨床症状の原因となっている病変を指摘することが重要である。
- 9-1-2 臨床症状を引き起こさない狭窄病変があることを認識しておく。
- 9-1-3 バスキュラーアクセスの狭窄病変に対しては正しい評価を行う必要がある。

第9章—2 閉塞

9-2-1 バスキュラーアクセスの閉塞には血流を低下させる病変と血流が保たれる病変がある。超音波検査では血行動態を観察し、これらを区別する必要がある。

9-2-2 閉塞部位の範囲や状態、原因となった責任病変を観察する。

9-2-3 治療法を熟知したうえで閉塞を正しく評価すれば、外科的再建術では再吻合部位の特定に、インターベンション治療では修復すべき責任病変の同定やシースの挿入部位など治療に対する情報を得ることができる。

第9章-3 静脈高血圧症

9-3-1 検査前にシャント肢をよく観察して、病変の予測を立てる。

9-3-2 腫脹の原因となっている狭窄や閉塞病変(直接所見)と側副血行路や逆流枝、浮腫像(間接所見)を指摘する。

9-3-3 過剰血流が腫脹の原因となることがあるため、必ず機能評価を行う。

第9章-4 スチール症候群

9-4-1 事前に患者背景や臨床症状、理学所見を把握したうえで超音波検査を行う。

9-4-2 自己血管内シャントでは吻合部より末梢側の動脈血流の状態を、人工血管内シャントでは動脈と人工血管の吻合部より末梢側の動脈血流の状態を観察する。

9-4-3 スチール症候群は過剰血流が原因で発症することがあるため、必ず機能評価を行い、血流の程度を評価する。

第9章-5 瘤

9-5-1 瘤の大きさや壁厚、性状を評価する。

9-5-2 瘤形成の原因となっている病変を検索する。

9-5-3 治療に対する情報を得ることでリスク評価や安全性も含めて、どの術式を選択するか判断材料になる。

第9章-6 感染

9-6-1 VAの感染は、生命に関わる重篤な合併症のひとつであることを認識しておく。

9-6-2 身体所見、理学所見、血液検査データを重要視する。

9-6-3 超音波検査では発赤部に一致して血管壁に接する限局性の低エコー域を認めた場合に感染が疑われるが、本検査のみでの確定診断はできない。

2. 解説

第1章 VA エコーの目的と検査者の心構え

1-1 VA における超音波装置の使用者は透析医療及び VA の役割を理解するよう努める必要がある。

慢性維持透析患者において、安定した透析を受けることが生命予後を規定することは言うまでもない。腎代替療法として、血液透析、腹膜透析、腎移植があり、それぞれクリアーしなければいけない問題がある。血液透析におけるバスキュラーアクセス (VA) の諸問題はとても身近な事項である。2005 年、2011 年に社団法人日本透析医学会から「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」(以下 JSDT ガイドライン) が発表された^{1, 2)}。このガイドラインでも強調しているように、閉塞前の治療が可能となり、VA の管理はより重要となってきた。超音波の検査者は、VA は「透析を行うため脱血と返血が良好に行え、効率の良い透析を行うツール」であることを理解して、検査に当たる必要がある。そのためには、脱血不良・静脈圧上昇・再循環など、透析に特有な症状の原因や病態を十分理解しておかなければならない。

現在の透析医療は、より良い医療を目指して取り組んできた先輩諸氏による道筋でもあり、今日までの紆余曲折を考えると、その歴史の重さを感じられずにはいられない。しかし、すべての透析患者に最善の VA を提供するためにはまだ道半ばでもある。今後も更なる取り組みが必要であるが、透析医療の現状を理解しようと努め、より理想的な VA 維持、管理を目指していくことが重要である。

1-2 VA において超音波装置を活用する際には、その目的を明確にして活用するべきである。

血液透析患者の大部分は動静脈吻合した内シャントを持つが、このことは全身血管を見渡しても極めて特殊な状況下であると言える。超音波機器を使用することで、血管をはじめとした皮下組織は鮮明に映し出されるが、内シャントはその局所だけで判断することができない特殊な状況である。VA 領域において、過去に超音波機器が汎用されなかったのは、理学所見によって大切な情報を多く収集できたからとも考えられる。超音波検査の役割は、理学的所見では得られない情報を獲得することである。超音波機器で得られる情報を明確にし、理学的所見とあわせた総合的評価を行うことが重要である。また、過去の超音波使用方法の固定概念にとらわれることなく、斬新な発想をもって取り組んでいくことで、今まで解決できなかったことが解決できる可能性に期待されている。

1-3 VA において超音波装置の使用者は、VA に携わっている医療スタッフが多岐にわたっていることを理解し、その所見や結果について、多くのスタッフが共有できるように努めなくてはならない。

従事する職種が多岐にわたっていることも透析医療の大きな特徴であり、チーム医療として充実させていく必要がある。VA の使用、管理、治療を通して、それぞれの職種における得意分野を持ち寄ることで、より充実した医療を提供できるようになると考えられる。超音波の検者はこのことをしっかり理解し、検査で得られた結果をできるかぎり情報共有できるよう心掛けることが重要である。

第1章 参考文献

- 1) 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 38：1491-1551,2005
- 2) 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 44：855-937,2011

第2章 理学所見

2-1 超音波検査者は理学所見の取り方とその意味に習熟することが望ましい

超音波検査者は理学所見を適切にとることが求められる。理学所見とは、視診・触診・聴診など五感を使用して、VA や血管の状態を知ることである。VA は皮膚表面に近いものであり、肉眼で判断できることも多い。また、触診や聴診でシャントの大まかな血流量や狭窄の部位や程度、分岐の状態を知ることができる。習熟すれば、エコーで得られる所見の半分以上は理学所見で得ることができる。VA トラブルに対しては、まず理学検査を行い病態に対する仮説を立てる。超音波検査は、理学検査で得られた所見を検証する意味合いが強い。

VA 作製前の理学所見は以下のようにとる。静脈は駆血により怒張する。座位で怒張しにくい場合、臥位でより怒張し、観察しやすくなる。1分では十分怒張しないため、2分以上駆血する場合がある。また、軽くミルキングして、静脈を拡張させることも可能である。作製時に必要な静脈の情報は、シャントを作製後にどのくらい静脈が拡張するかであり、そのためには、駆血時の血管径が良い指標となる。

動脈は健常であれば、橈骨、尺骨動脈とも手首付近で良好に触知されるが、その中枢では厚い筋層の下に潜り込む状況となり、触知しにくくなることが多い。動脈石灰化が強いと末梢であっても触知困難となるが、前壁側の硬化が少なければ表在から触知できる。吻合部位の決定の際、参考となる所見である¹⁾。

一方すでに VA を持つ患者の理学所見は、通常は駆血をしない。視診で全体像を確認した後、触診で、大まかな血流量を予想する。さらに指 1-2 本で吻合部から丹念に触診することで、狭窄部を同定することが可能となる。見えない分岐部の確認には、GL-2 で示すような血管の圧迫が有効である。聴診では、シャントが開存しているか否かを確認。その大きさ、高さ、連続性から、大まかな血流量や狭窄の部位や位置を確認することができる。しかし、聴診は触診ほど鋭敏ではない。人工血管は触診で狭窄部を同定することが困難であり、丹念に聴診することで、シャント機能を予測し、狭窄部を同定することが可能となる。

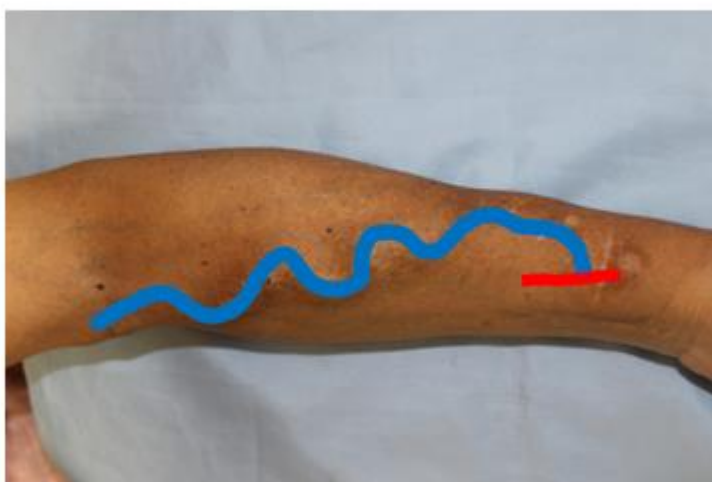
2-2 良好なシャントの理学所見を知っておく

良好なシャントは、シャント静脈全体に適度な張り（内圧がかかった状態）がある。スリルはシャント吻合部付近の動静脈に触知される。スリルは吻合部付近に最強点を有し、中枢に向け徐々に減弱する。血管の張りも吻合部付近がやや強く、中枢に向け徐々に減弱する。発達が良好であれば著明な蛇行を有する場合もある。

図1-a 良好な状態のシャント

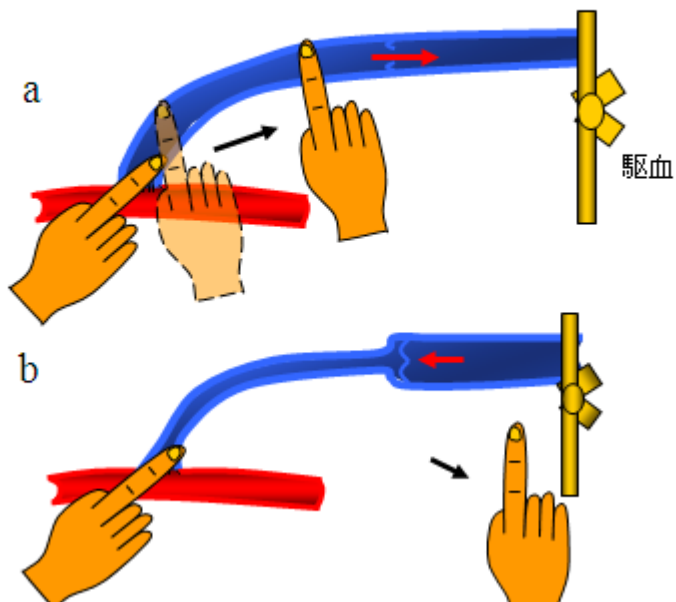


図1-b 良好な状態のシャント(シャントの発達に伴う静脈の蛇行がみられる)



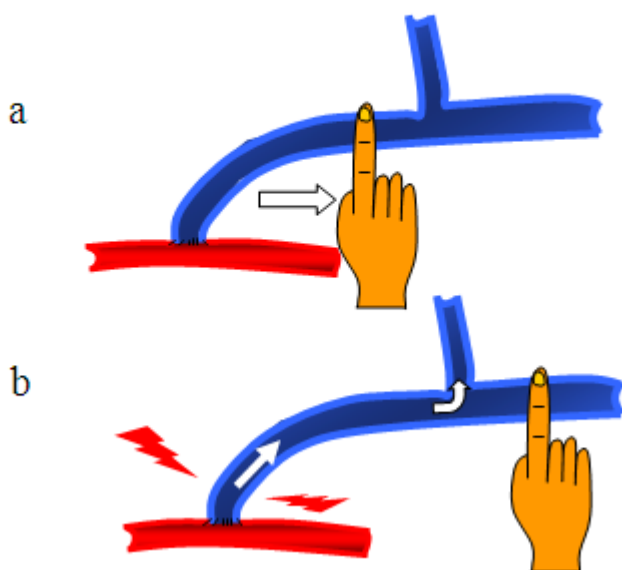
静脈弁の存在は（図2）のごとく評価できる。中枢で駆血帯等を用いて駆血した状態で、吻合部を片手で押さえる。次にもう片方の手で吻合部から中枢に向けて血管を絞るようになぞる（図2-a）。中枢で離すと静脈弁の存在する部位まで逆流し怒張する（図2-b）。

図2 静脈弁の確認方法



分枝の評価に関しては（図3）のごとくである。吻合部を用手圧迫し、徐々に中枢へなぞる（図3-a）と分枝の存在する部位で、分枝側にシャント血が流れ、スリルを触れるようになる（図3-b）。

図3 分枝の確認法



2-3 VAトラブルの診断では、それぞれの理学所見の変化の知識を持ち、超音波検査を行う必要がある。

機能異常を有する場合のシャントの理学所見について解説する。

1) 狭窄病変: アクセス管理上最も問題となる狭窄病変は、その発生部位により理学的所見は大きく異なる。聴診上は、狭窄部では高調音、狭窄部より末梢側では断続音、中枢では連続音を聴取できることが多い²⁾。

① 吻合部～動脈内狭窄

全体にシャント静脈の張りが弱くなる。聴診上狭窄部に一致して高調音を聴取することが多い(図4-a)

② 中枢部狭窄、中間部狭窄

狭窄の末梢の内圧が上昇し、静脈が硬く拍動性に触知される^{3) 4)}。狭窄部では強いスリルを触れることが多いが、多発性狭窄、長区間病変、鎖骨下より中枢の深部の狭窄ではスリルが減弱することが多い(図4-b)。

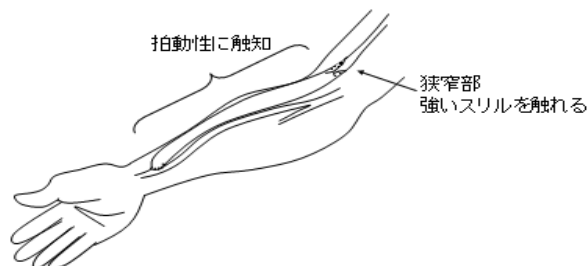
③ 多発狭窄

吻合部付近に狭窄があってもその中枢(下流)に高度の狭窄があれば、その末梢は拍動性に触れることがある。多発性狭窄、長区域病変ではシャント音は減弱することが多い。

図4-a 吻合部付近の狭窄



図4-b 中間部、中枢部狭窄



2) シヤント瘤

拍動性腫瘍を触れる。真性瘤、仮性瘤、解離性瘤に関係なく理学的にはほぼ同様の所見を呈する。壁の石灰化が強ければその程度により、島状～全周性に硬く触れる。中枢に狭窄病変を有する場合多いが、その場合狭窄部位に一致して強いスリルを触れる。シヤント血管は発達に際し、径の拡大とともに長さも伸びるため蛇行することとなる。大きな蛇行部位が瘤状に見えることがある。

3) 血清腫

硬く触れる腫瘍で通常拍動はないが、動脈やシヤント血管の上部に存在する場合、拍動を感じることがある。血管性の瘤との鑑別法としては、動脈もしくは吻合部を用手圧迫した場合虚脱するのが血管性、虚脱しない場合が非血管性（血清腫等）である。

4) 静脈高血圧

シヤント側肢全域の腫脹、静脈の怒張がみられる。中枢に狭窄(又は閉塞)を伴うことが多く、狭窄末梢のシヤント血管は拍動性に触れるようになる⁵⁾。悪化すれば皮膚のびらんや潰瘍を形成するようになる(図5-a)。時に肩部周囲の側副静脈の発達がみられる(図5-b)。

図5-a 静脈高血圧に伴う潰瘍形成



図5-b 静脈高血圧に伴う側副路の発達



5) スチール症候群

シャントの過剰血流の他、手指の動脈硬化や心機能低下例で見られるシャント側の循環血液量の低下に伴い、皮膚蒼白、冷感、チアノーゼが認められる。重症化すると皮膚壊死を伴う（図6）シャント吻合部より末梢の動脈還流圧が低下し、シャント血管の張りも弱いことが多い⁶⁾。気温が低い場合や透析後、運動後に悪化することが多い。

図6: 皮膚壊死を伴うスチール症候群症例の指



6) 感染

局所の発赤、腫脹、発熱、疼痛がみられる。穿刺による感染では穿刺部位に一致してみられる¹⁾。皮下に膿や浸出液が貯留していれば、波動を皮下に触知することとなる（図7-a、b）。

図7-a 感染(人工血管)

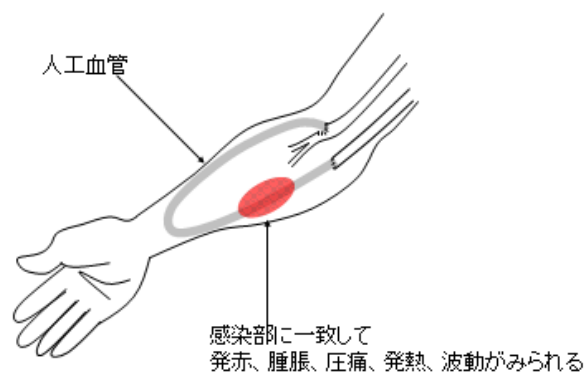


図7-b 感染(人工血管)



感染部に一致した
発赤、腫脹、圧痛

以上、症候別にその特徴的な理学的所見を述べたが、上記が混在する場合もあり、またその程度により所見も異なってくる。侵襲的検査を行う前に充分吟味すべきである。

第2章 参考文献

- 1) 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成および修復に関するガイドライン. 透析会誌 2005; 38 : 1491-1551
- 2) 天野 泉 VA機能不全時の修復 (1) 血流低下、狭窄、閉塞 (中心静脈を含む) 臨床透析 2011 vol.27 No.7 153-162
- 3) Asif A, Besarab A, Gadalean F, et al. Utility of static pressure ratio recording during angioplasty of arteriovenous graft stenosis. Semin Dial. 2006 Nov-Dec; 19(6): 551-6.
- 4) Trerotola SO, Ponce P, Stavropoulos SW, et al. Physical examination versus normalized pressure ratio for predicting outcomes of hemodialysis access interventions. J Vasc Interv Radiol. 2003 Nov; 14(11): 1387-94.
- 5) 若林正則 VA機能不全時の修復 (3) 静脈高血圧 臨床透析 2011 vol.27 No.7 171-176
- 6) Schanzer, A., Nguyen, L. L., Owens, C. D., et al. : Use of digital pressure measurements for the diagnosis of AV access-induced hand ischemia. Vasc. Med. 2006 ; 11 : 227-231

第3章 装置の設定とプローブの選択

3-1 VA 超音波検査として適切な装置の設定を行う。

1) 装置の設定

超音波装置の設定は、基本は血管エコーの設定を用い、血管内腔の抜けの良い画像が望ましい。しかし、各メーカーによって設定や画像の見え方が異なるため、フォーカス・ゲイン・ダイナミックレンジ・ティッシュハーモニックなど微調整する必要がある。また、複数プローブを使用する場合には、各プローブ専用のアプリケーションを設定することで検査時間の短縮につながる。また、装置の経年変化や性能も問題とされるが、比較的新しい汎用機装置であればバスキュラーアクセス超音波検査は可能と考えられる。

2) 装置の設定

超音波装置の設定は、基本は血管エコーの設定を用い、血管内腔の抜けの良い画像が望ましい。しかし、各メーカーによって設定や画像の見え方が異なるため、フォーカス・ゲイン・ダイナミックレンジ・ティッシュハーモニックなど微調整する必要がある。また、複数プローブを使用する場合には、各プローブ専用のアプリケーションを設定することで検査時間の短縮につながる。

3) フォーカス

フォーカス点とは超音波ビーム幅の最も絞れている点である。フォーカス点を対象に合わせることで分解能がよくなり、画像描出が明瞭になる。また、対象がビーム方向に広く存在している場合には多段階フォーカスが有効な場合もあるが、時間分解能が低下することを念頭におく必要がある。

4) ゲイン

エコーゲインとは生体から得られた反射信号を電気信号に変換した際の増幅度のことである。反射信号の強さによって画像の輝度が増えるため、最適なゲイン調整が必要となる。また、ゲインが高くとノイズが多くカラードプラが正確に表示されない場合があり、逆にゲインが低いと反射信号の弱い構造物が描出されない場合があるので、断層像の画面が明るく、血管内腔が無エコーになるように調整する。

5) ダイナミックレンジ

ダイナミックレンジは入力信号の幅である。ダイナミックレンジが大きいとエコー輝度の幅が大きくなるため、きめ細かいぼやけた超音波画像となり、ダイナミックレンジが小さいとエコー輝度の幅が小さくなるため、ぎらぎらした硬い画像となり、微細な信号が表示されなくなる。通常、血管エコーで調整するダイナミックレンジは 40~60dB 程度であるがメーカーによって差があるため、適度に調整することが望ましい。

6) ハーモニックイメージング

ハーモニックイメージングにはフィルタ法と位相反転法があり、低アーチファクトで高分解能の画像となる。現在では標準で搭載されている超音波装置が多く、状況によっては有用な場合もある。

3-2 検査の目的に沿ったプローブを使用する。

バスキュラーアクセスの超音波診断では基本リニアプローブを用いるが、腋窩から鎖骨下動静脈付近の観察ではコンベックスプローブ (3~5MHz) やセクタプローブ (2.5~8MHz) が有効である。リニアプローブの周波数は7 MHz から 14 MHz のプローブを用い、血管の深度に合わせて使い分けることが望ましい。しかし、周波数帯域の広いプローブを使用できる装置では一本のプローブでも走査可能な場合がある。また、目的血管が非常に浅い場合や血管走行に角度をつけたい場合には超音波ゲルカプラや水袋 (ウォーターカプラ) の使用を推奨する。(表)

形態評価	形態・機能評価	機能評価
中心周波数12MHz	中心周波数7.5MHz	中心周波数7.5MHz + ウォーターカプラ
皮膚表面より2cm深度付近までの形態評価に用いる	皮膚表面より2~4cm深度付近の形態評価および血流測定に用いる	傾斜のついたカプラを使用することでパルスドプラにおける入射角度の調整が容易となる

第4章 体位、画像表示、走査法

4-1 患者は仰臥位で検査することが望ましいが、それが困難な場合は、座位で検査する

観察体位は常にプローブ走査が容易でなおかつ、視診・触診を行いながらエコー検査が施行できるよう、検者と被験者が常に適度に近い位置にするようにする。体位は血圧の安定という点から安静仰臥位にて行う方がよいと考えられる。仰臥位が困難な場合は、座位で検査することも可能である。仰臥位での観察において、患者は、左上肢観察では機器と対面する位置、右上肢観察では機器と同じ方向を向く位置で行うと比較的観察は容易である (図1)。この際、超音波画像の向きを一定にするために、体位変換に伴いプローブの向きも反転する必要がある。



図1 観察体位

患者は右上肢観察では機器と対面する位置、左上肢観察では機器と同じ方向を向く位置で観察する。

4-2 血管の縦断像（長軸像）は画面の右側を末梢側、左側を中枢側とする。血管の横断像（短軸）は足から眺めた像とするのが一般的である。

画像表示に関しては、定まったものはないが、一般的に血管エコーでは血管の縦断像（長軸像）は画面の右側を末梢側、左側を中枢側とするため、VA 超音波検査でも同様な表示をすることを推奨する。血管の横断像（短軸）は、CT、MR 画像と同様に、足から眺めた像とし、画面の左側は被検者の右側が表示されるようにすることを推奨する（図 2）。体位によって分りにくい場合には画像にボディマークを付ける。

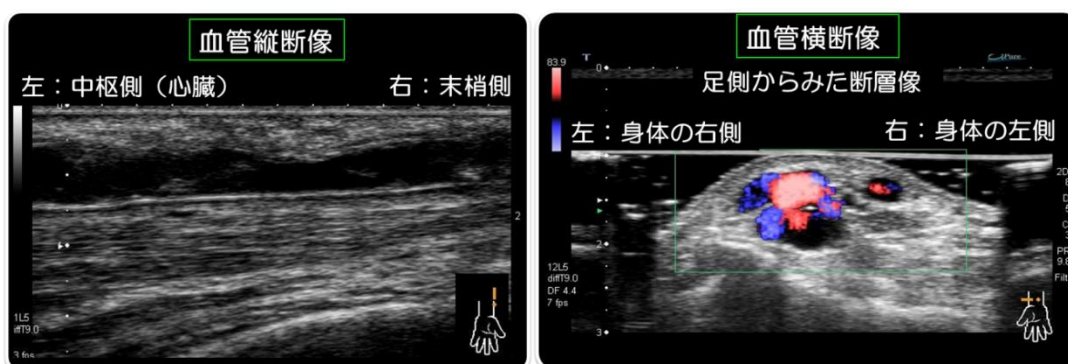


図 2 断層像 基本描出法

縦断像では、画面左が中枢側、横断像は足側から見上げる像とする。

4-3 静脈を圧迫しないプローブ走査法を身に付けることを推奨する。

ドプラを用いる流量計測での縦断像やカラー Doppler での内腔血流観察では、プローブを傾け、斜めに入射することで、角度補正やドプラ感度向上につながる（図 3）。

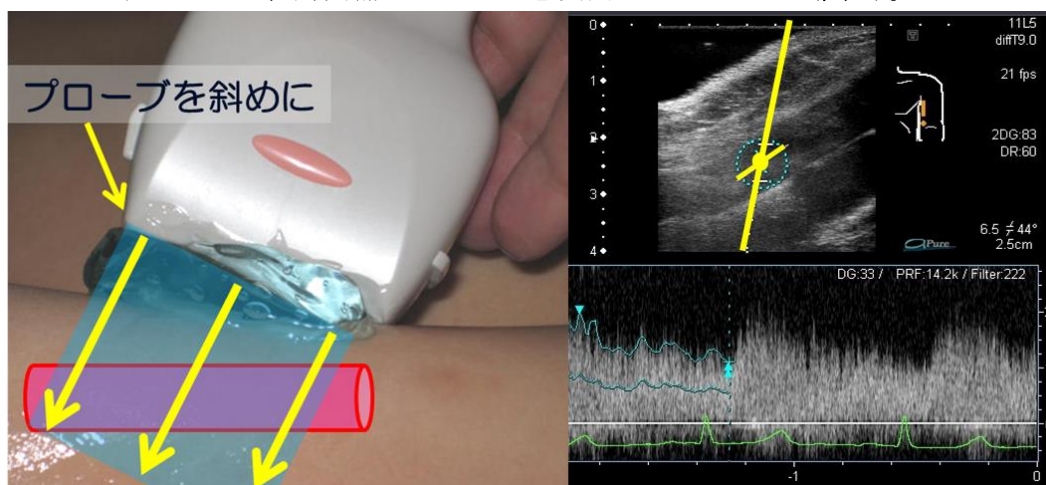


図 3 ドプラによる血流計測例

ドプラ感度向上の為に、プローブを傾け血管を斜めに描出する。

皮静脈などの表在静脈に関してはプローブ圧迫を最小限度とし、血管内腔の変形を避ける。圧迫を避ける方法として、硬度の高いゼリーにより、プローブを密着させないようにする方法や(図4)、音響カプラを用いる方法がある。また、フォーカス点を常に観察血管に位置するようプローブ走査も含め調整する。

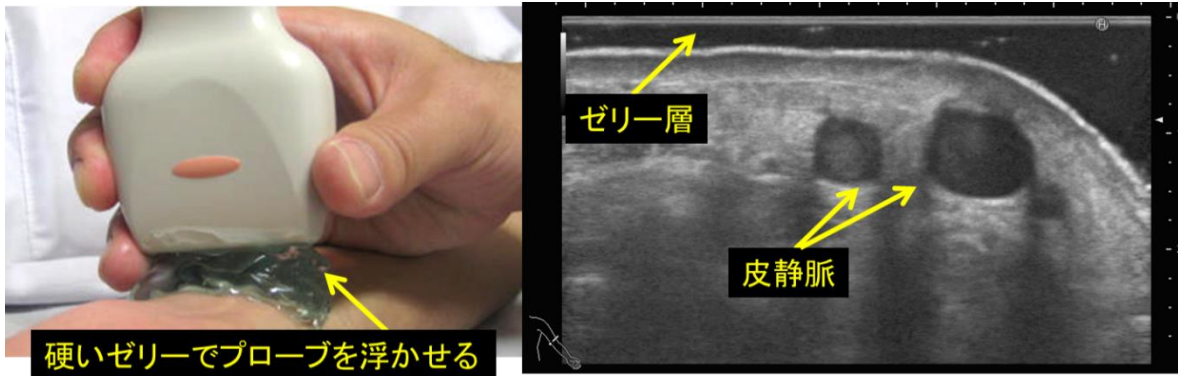


図4 硬度の高いゼリーによるプローブ走査例と超音波像

5) 皮静脈の観察では、特に内シャント形成前の血管径開存確認では中枢側を駆血して行くと、実際の静脈口径が確認できる(図5)。ただしこの際は駆血帯の締めすぎや時間超過に注意する。また、鎖骨下静脈など、中枢側で深部に位置する血管描出でセクタやコンベックスプローブを用いる(図6)。

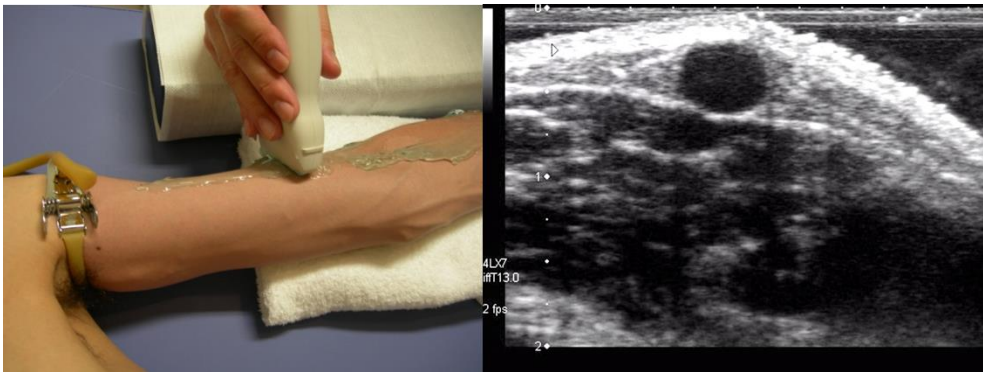


図5 駆血による皮静脈観察例

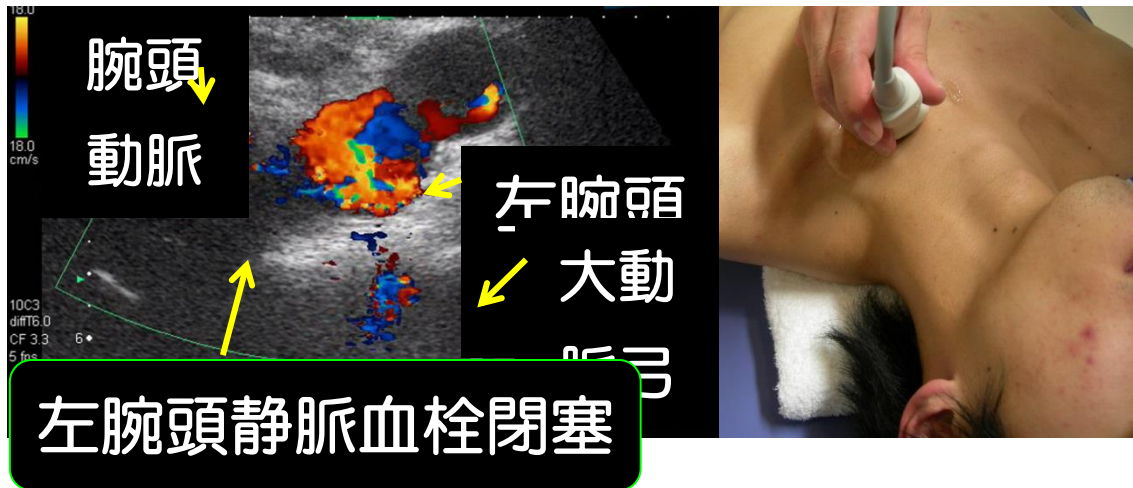


図6 腕頭静脈～鎖骨下静脈付近の観察

セクタプローブやコンベックスプローブを使用（超音波写真は左腕頭静脈閉塞例）

4-4 バスキュラーアクセスの形態評価では、可能な限り解像度の良い高周波プローブを使用する。

VAの形態評価では、可能な限り解像度の良い高周波プローブを使用する。血管壁の性状分類では血管内膜面が平滑（石灰化無し）、軽度石灰化、中等度石灰化、高度石灰化、内膜肥厚を分類することでシャントの吻合可否を推定する（図7）。また、静脈は狭窄や閉塞の有無と血管走行、深さ、血管径の計測を評価する。

血管内膜面の評価では低輝度、等輝度、高輝度と分類することで血栓像の存在や石灰化の評価をおこなう（図8）。経皮的血管形成術の事前に血管内膜面の評価をすることは治療時間の短縮や治療時における事故防止につながる。

図7: 血管壁の性状分類











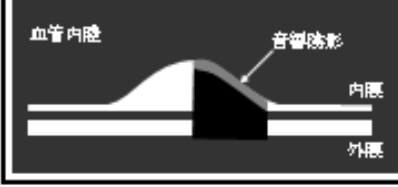
石灰化	性状	カラートラ通過	プローブによる圧迫
無し	血管内膜が平滑で石灰化を認めない		 扁平化(+)
軽度	血管内膜は不整だが、音響陰影を認めない		 扁平化(+)
中等度	血管内膜に部分的に音響陰影を伴う石灰化を認める		 扁平化(±)
高度	血管内膜にびまん性に音響陰影を伴う石灰化を認める		 扁平化(-)

図8: 血管内膜面の分類

	<p>低輝度 カラートラなどを使用しないと肥厚内膜・血栓の存在がわからない。脂質・血栓病変</p>
	<p>等輝度 内膜または外膜と同等の輝度を有する肥厚内膜。線維性病変</p>
	<p>高輝度 音響陰影を伴う内部性状を有する肥厚内膜。石灰化病変</p>

第5章 VA 機能評価法

5-1 施行者は再現性および精度を高める手技手法を選択し、技術を磨く必要がある。

一般的に超音波検査は再現性が悪いという問題を抱えている。測定精度の低い検査値はその意義が薄れてしまうので、検査精度を高めることは最優先すべきであると思われる。超音波検査の測定では施行者間の測定誤差や計算に用いる内部ソフトウェアにおける変数の機器による差異などの問題も抱えている。これらの対策として同施設内での測定部位や手技の統一や使用機器の設定の確認は最低限必要である。

5-2 VA 血流量は、上腕動脈血流量で評価することを推奨する。

VA において、エコーによる機能診断、とりわけ血流診断については、パルスドプラによる血流波形描出、および血流量測定があり、正確で定量的な評価が望まれる。またカラードプラによる狭窄部の描出や血流速診断も重要になる。

VA 血流量として上腕動脈を用いる理由：上腕動脈血流量は、VA 血流量とその吻合部より末梢の動脈血流量の和であり、VA 血流量とイコールではない。しかし末梢動脈血流量は一般的な VA 血流量に比べて小さいものであり、上腕動脈血流量を VA 血流量に代用しても、その検査値に問題は少ないと思われる（図1）。

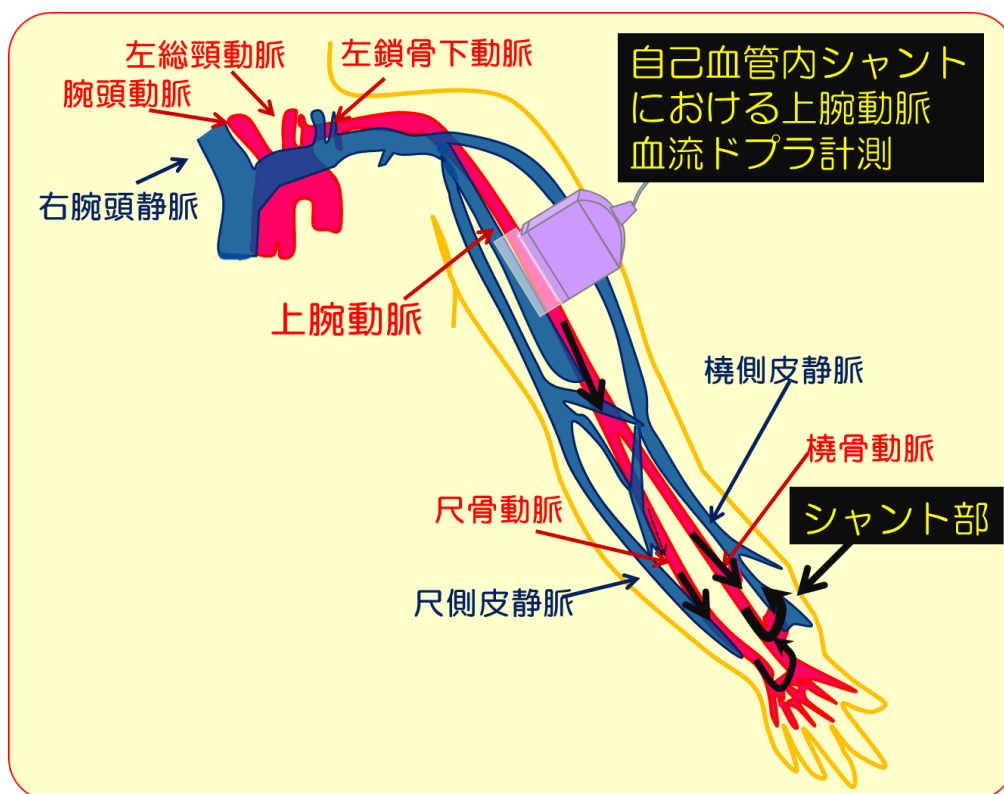


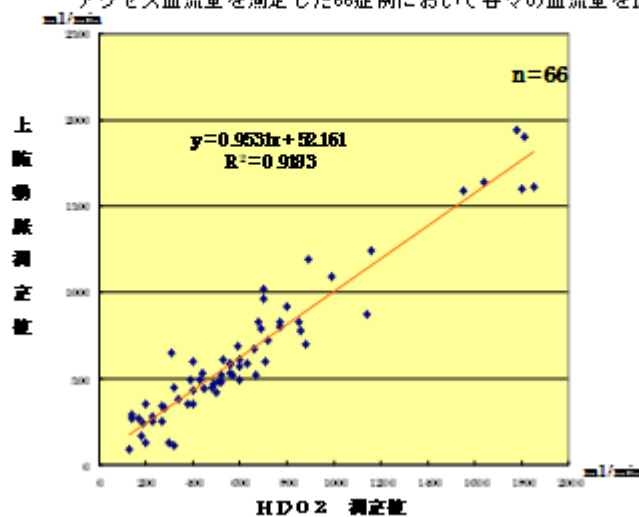
図1 自己血管内シャントでの血流量・RI 測定部位

図中プローブの位置（上腕動脈）が自己血管内シャントで用いられる血流量・RI等の計測部位。シャント還流は吻合部のみならず連続する血管還流が影響する（黒矢印は還流例）。そのため総合的な流出路である上腕動脈が計測部位として妥当である。

これに対して希釈超音波法で行われるVA血流量測定は再現性や精度に関して良好であることが知られている。そのうちHD02というモニタリング機器は横手ら¹⁾の報告によるとVA血流量の測定精度が高く有用とされ、臨床現場において使用されている。野口ら²⁾の報告ではこのHD02を用いて測定したAVFのVA血流量と超音波検査にて測定したAVFの上腕動脈血流量は強い正の相関を示しており、上腕動脈血流量をVA血流量に代用して問題がないことが示唆されている（図2）。

図2: HD02と上腕動脈血流量の関係

【対象・方法】2009年1月～4月の期間においてHD02とUSを同時期に施行し、アクセス血流量を測定した66症例において各々の血流量を比較。



また橈骨動脈か尺骨動脈に吻合された標準的なAVFの場合は吻合部から静脈に流入する血液は動脈中枢側からだけではなく、動脈末梢側からの血液も回り込んで流入する症例の割合が多く、吻合部近傍の動脈中枢側において測定した血流はVA血流を反映しないことが多い。更に橈骨動脈・尺骨動脈は上腕動脈よりも細いことから測定値にばらつきが出やすい。以上から超音波検査におけるVA血流量は上腕動脈血流量を測定することが推奨される。

5-3 計測部位、超音波ビームを入射角、サンプルボリューム、ゲインを適正に設定してパルスドプラ血流波形を描出する。

1) 上腕動脈の計測部位

正確な血流情報を得るためには、血管の内腔口径が一定で、屈曲・蛇行が少ない位置でパルスドプラによる計測を行う^{3), 4)}。VAエコーの評価として、ドプラ波形で得られた平均流量を求めるために、血管内腔全ての流速をサンプリングする必要がある。血管内腔は層流であり、血管壁近く

で最も遅いという特徴がある。そのためパルスドプラの Sample volume は血管内腔の少なくとも 2/3 を占める十分な幅で血管中心に置く (図 3)。

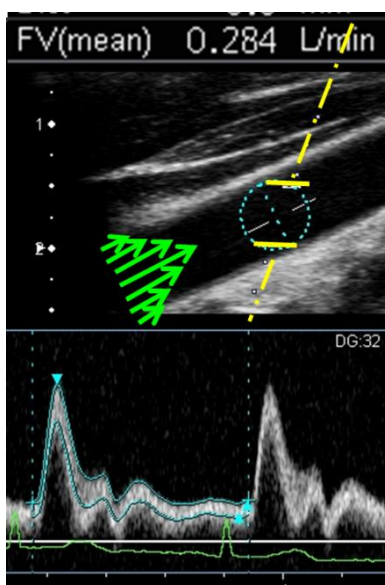


図 3 パルスドプラサンプルボリューム計測モデル

血管内腔口径が一定で、屈曲・蛇行の内位置で計測。血管内は層流 (矢印) であり、全ての流速情報を得るには内腔全体にサンプルボリュームを置く。

2) 角度補正

リニアプローブでは対象血管と平行に超音波ビームを入射できないため、血管を斜めに描出するなどの操作が必要になり、機器上では、ドプラ入射に対しスラント機能を用いる。それでも血管走行とドプラビームは平行にすることは困難であり、通常はドプラの角度補正機能を用いる。角度補正を大きくとると誤差が生じる (図 4)。

角度補正は 60 度以下が原則であり、角度が少なければ少ないほど正確性が増す (図 5)。

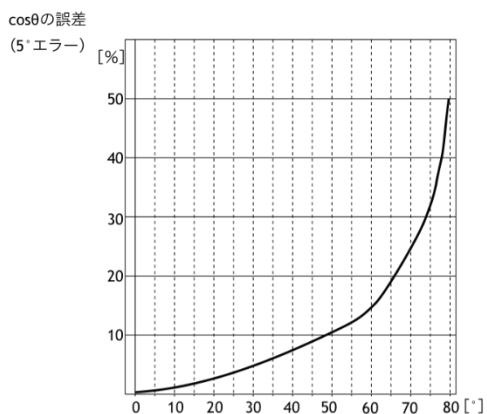


図 4 ドプラ角度補正による測定誤差を表したグラフ [文献 5 引用改変]

角度補正は 60°を超えると誤差が大きくなる。理想的には 45°以下が極めて誤差が少ない。

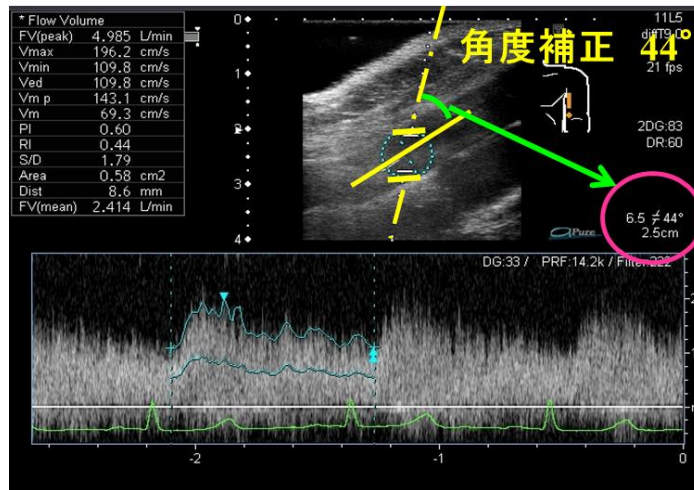


図5 ドプラ角度補正例

角度補正は60°以下が原則. 少ないほど正確性が高い。

3) FFT 波形 (ドプラ波形) 描出

現在の超音波機器はオートトレース法にて各種計測値が自動的に算出できる。適切なオートトレースによる計測値を得るには、明瞭な FFT 波形を描出するのが基本である。明瞭な FFT 波形とは波形内のグレースケールの濃淡が明瞭で、特に乱流がなければ平均流速付近と波形頂点の間が特に高輝度になり、波形頂点と周囲のコントラストが明瞭になり、全時層で頂点がトレースできていることが基本となる。調整法としては〔1〕ドプラ波形検出時には断層像は静止させ (B フリーズ)、高精細なドプラ波形を検出する。〔2〕ドプラ波形のゲイン調整にて波形の濃淡を明瞭にする。〔3〕オートトレース時は、波形のピークにトレースラインが適切に沿っていることを確認する。適切でなければ、機器のしきい値調整等で対処する (図 6)。

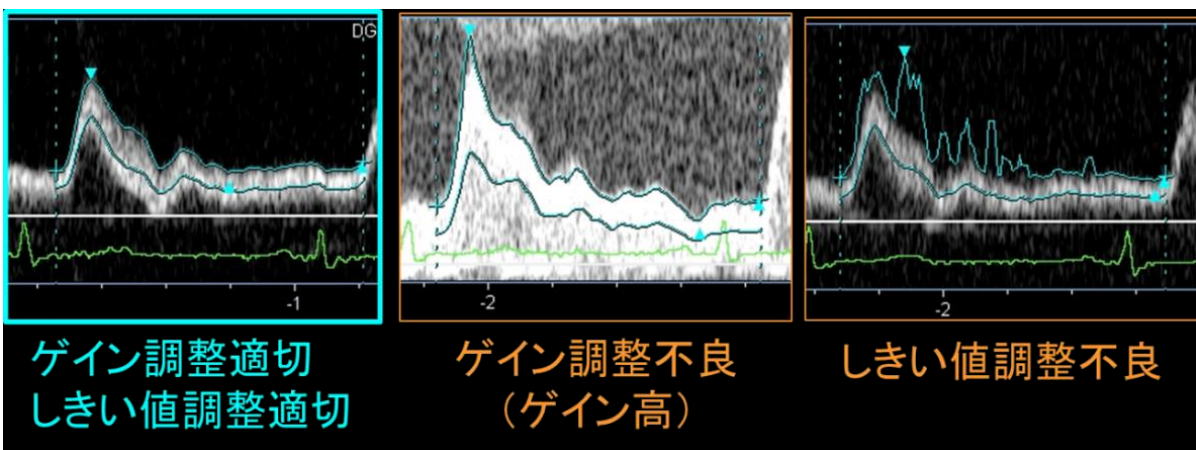


図6 ドプラ波形の調整例

左が適切。中央はゲインが高くオートトレースのピークが本来より大きく算出されている。右はオートトレースのしきい値調整不良で本来のピークと明らかにずれている部分をトレースしている。

5-4 上腕動脈血流量は、時間平均血流速度（TAV : time averaged flow velocity）を元に計測することを推奨する。

5-5 RI・PI の算出には最低血流速度（Vmin）ではなく、拡張末期血流速度（EDV）を使用する。

(ア) ドプラ波形で計測でき、VA エコーの指標となるものとして主に以下が上げられる。この中で、上腕動脈血流量と抵抗指数（resistance Index; RI）が VA 機能評価として重要である

- ① 血流量
- ② 抵抗指数（Resistance Index; RI），拍動指数（pulsatility index ; PI）
- ③ 流速
- ④ 加速時間（acceleration Time ; AT）

(イ) 流量

- ① 流量計算には平均流速を用いた F.vol(MnV) が通常よく使われる。
- ② $FV (MnV) = MnV \times CSA \times 60$
 1. CSA : 血管断面積 , MnV; 平均流速 (mean velocity)
- ③ 流量を求めるには、流速値をトレースし平均流速を求めることと、血管内腔口径から血管断面積を求める必要がある。平均流速は、〔1〕各時相の最大流速をトレースし時間平均して求めた時間平均最大血流速度（TAMV : time averaged maximum flow velocity）と、〔2〕各時相の平均流速をトレースし時間平均して求めた時間平均血流速度（TAV : time averaged flow velocity）の 2 通りがある。より真の血流量に近い値として TAV が使われる。TAV を得るにはオートトレースが必須となる（図 7）。

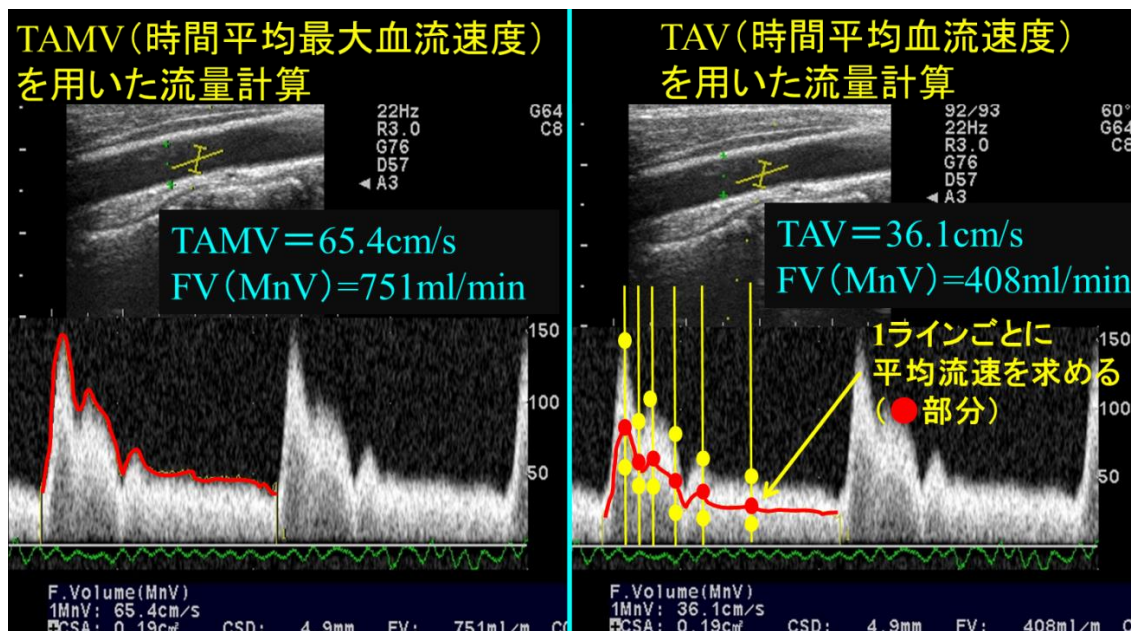


図 7 流量計測に用いる平均血流速度の違いとそれによる流量値の違い

左図は TAMV（赤ラインのトレース）を用いている。右図は TAV（赤ラインのトレース）を用いている。TAV を用いた流量値はより真の流量値を反映している。

- ④ VA エコーでの流量計測には通常 TAV を用いるが、オートトレースで得られる TAV 値は FFT 波形の描出設定にも影響されるので上述した明瞭な波形描出が重要となる。
- ⑤ 現在の機器では血管内腔口径を計測すれば断面積が自動で算出される。内腔口径計測は血管内腔面を明瞭に描出する必要があり内膜間距離で計測すれば再現性が高い。できればドプラ波形とは別に血管がビームを直交する断層像で断面積を求めるとより正確性が増す。また心周期による血管口径変動でも断面積値は変動する。通常は心拡張期の口径が安定した状態で口径計測を行う。心周期を正確に把握するために VA エコーでは心電図同期が推奨される (図 8)。

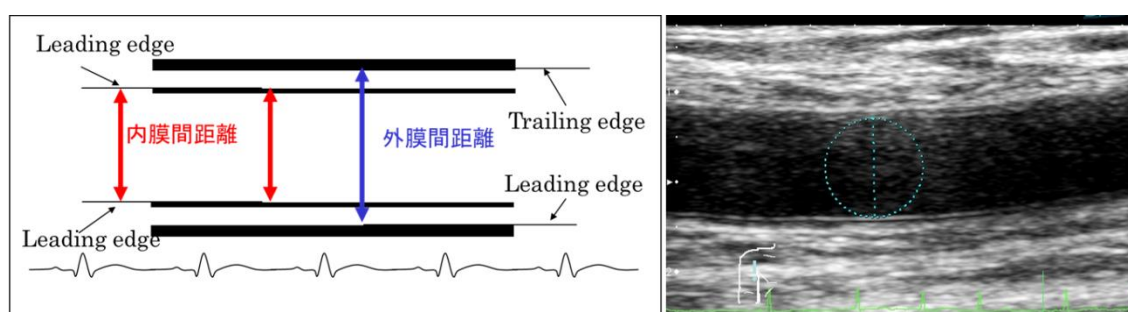


図 8 断面積計測

内膜間距離 (左図参照) で口径の安定する心拡張期で口径を計測すれば再現性の高い内腔断面積を求められる。

(ウ) 抵抗指数 (Resistance Index; RI), 拍動指数 (pulsatility index ; PI)

動脈血流速度から算出される指標で末梢の血管抵抗を反映するとされる。抵抗指数 ; $RI = \text{収縮期最高血流速度(PSV)} - \text{拡張末期血流速度 (EDV)} / \text{PSV}$ (図 9)。拍動指数 ; $PI = \text{収縮期最高血流速度(PSV)} - \text{拡張末期血流速度} / \text{平均血流速度}$ 。

スクリーニング時における Resistive Index (R.I) の測定は、透析前後いずれに測定してもよいが循環動態が安定した状態で測定することが必要である。

(エ) Peak systolic velocity; PSV

収縮期最大流速 (Peak systolic velocity; PSV) は特に狭窄部血流の指標として使われる。狭窄があれば Peak systolic velocity が正常血管部よりも上昇する。透析における上肢血管での有意狭窄の指標は、現状では明確な基準はないが鎖骨下動脈での評価では狭窄部 PSV が 2 m/s 以上で有意狭窄を疑い、約 3m/s 以上で血管造影上 70%以上の高度狭窄とする報告がある^{6), 7)}。また、内シャントによる静脈側の有意狭窄部では狭窄部 PSV が狭窄前 PSV の 2~3 倍になるとされる^{8), 9), 10)}。

(オ) 加速時間 (acceleration Time ; AT)

最小流速から最大流速までの時間。通常、動脈性の拍動波であれば心収縮による波形の立ち上がりから収縮期最大流速に至るまでの時間をいう (図 9)。正常な上腕動脈では AT は 100ms 以下であるが、鎖骨下動脈等中枢側に有意狭窄があれば狭窄後の AT は有意に延長する¹¹⁾。

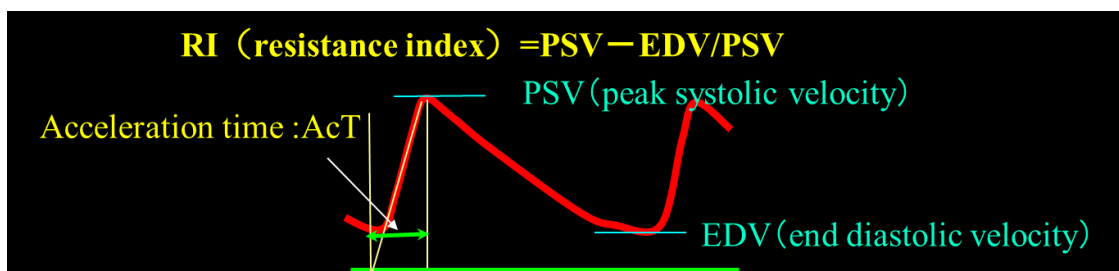


図9 パルスドプラ波形による RI, AT 計測モデル

赤曲線はパルスドプラ波形を示す。

5-6 循環動態が安定していないため、透析直後の計測は避けるのが望ましい。

VA 血流量はその絶対値よりもその症例における推移が重要であるが、推移をみる場合には体位や測定時期などの条件も統一しなければならない。VA 血流量は血圧や穿刺・止血により変動するが、透析血液透析中の VA 血流量を HD02 にて測定した明神ら¹²⁾の報告によると血圧低下の少ない血液透析開始時から3時間目までは VA 血流量の変化は少ないという結果であった。文献13の報告と合わせて検討すると、VA 血流量の測定のタイミングは血液透析中でもそれ以外でもよく、血圧が安定している状態が望ましいと考えられる。但し血液透析直後は圧迫止血などの影響のため、VA 血流量は低下していると推測され、その検査値には注意が必要である。また体位は血圧の安定という点から安静仰臥位にて行う方がよいと考えられる。

5-7 人工血管内シャント症例では、人工血管内の血流量を計測することも可能である。

人工血管内シャントでも、上腕動脈血流量で評価することが推奨されるが、PTFE グラフトは血管内を観察することができ、乱流が少ないため流速の測定は可能である。その場合なるべく直線で、穿刺による血管の損傷や石灰化がない部位で測定するのが望ましい。血流量は人工血管で測定した血流量より約 80ml/min 多いことが報告されている (表)。

	グラフト内 上腕動脈	
血流量 (mL/min)	731 ± 290	810 ± 313 P < 0.001
上腕動脈血流量 > グラフト内血流量 : 59例 (90.8%)		
グラフト内血流量 > 上腕動脈血流量 : 6例 (9.2%)		

表 AVG 65 例における上腕動脈血流量とグラフト内血流量の比較例

※山本裕也. 超音波パルスドプラ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. 第16回日本アクセス研究会学術集会・総会より抜粋

第5章 参考文献

1. 横手卓也：透析モニターHD02の有用性. 医工学治療 20：73-76, 2008
2. 野口智永：HD02の有用性—できること、できないこと—. 腎と透析 71 別冊アクセス 2011：36-38, 2011
3. Caro, C. G. Pedley, T. J., Schroter, R.C. and Seed, W. A. (1978). The Mechanics of the Circulation. Oxford Medical, N. Y.
4. 菅原基晃.超音波ドプラのための血流入門, 1998 .エム・エス・プレス
5. 春口洋昭編著.バスキュラーアクセス超音波テキスト.医歯薬出版 (株)
6. Hua Y, Jia L, Li L, Ling C, Miao Z, Jiao L. Evaluation of severe subclavian artery stenosis by color Doppler flow imaging. Ultrasound Med Biol. 2011 Mar;37(3):358-63. Epub 2011 Jan 26.
7. Kablak-Ziembicka A, Przewlocki T, Pieniazek P, Musialek P, Kozanecki A, Stopa I, Zalewski J, Tracz W. Doppler ultrasonography in suspected subclavian artery obstruction and in patient monitoring after subclavian stenting. Cardiovasc Intervent Radiol. 2007 Sep-Oct;30(5):894-900.
8. Marks N, Ascher E, Hingorani AP. Duplex-guided repair of failing or nonmaturing arteriovenous access for hemodialysis. Perspect Vasc Surg Endovasc Ther 2007;19:50-5.
9. Robbin ML, Oser RF, Allon M, et al. Hemodialysis access graft stenosis: US Detection. Radiology 1998;208:655-61.
10. 高瀬圭, 力丸裕哉, 阿部香代子, ほか. 透析シャント診断とインターベンションのための血管エコー. J Med Ultrasonics 2007;34 (Suppl) :S227.
11. .Duan YY, Yuan LJ, Ding K, Liu X, Lv FQ, Cao TS. "Tardus and parvus" phenomenon in upper limb arteries for identifying subclavian arterial stenosis. Echocardiography. 2008 May;25(5):504-10.
12. 明神健太郎, 斧武志, 森優治, 他：透析中における HD02 を用いたバスキュラーアクセス血流量の経時的変化. 腎と透析 69 別冊アクセス 2010：190-191, 2010
13. 野口智永：HD02の有用性—できること、できないこと—. 腎と透析 71 別冊アクセス 2011：36-38, 2011

第6章 サーベイランスとしてのVA機能評価

6-1: VA機能不全を早期発見するプログラムを確立する。

サーベイランスとは定期的に特定の検査法によってVA機能を評価することであり、検査結果が異常であればVAの機能不全が疑われるような検査と定義される。またそれを元に治療を行うのであれば、治療の有効性も検証しなければ検査結果は意味がないものになり得る。VA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¹⁾（以下JSDTガイドライン）においても、VA機能をモニターするプログラムの確立が必要とされている²⁾。その上で臨床症状（閉塞、透析効率の低下）が出現する前に、VA機能不全を早期発見することも重要である。

そして適切な時期に介入することで、VAの開存率を良好に維持することは可能になると考える。VA機能のサーベイランスの方法はその施設の現状に合わせて決める必要がある。透析患者全員に行うか、トラブルを有する患者に限るのかまた、その間隔は、個々の患者の病態と施設の状況に応じて着決めるのが望ましい。理学所見は最も重要なものであり、これはすべての施設で行わなければならない。非侵襲的で、再現性が高く、数値で客観的にVA機能を評価できる超音波検査（ドプラ）は有用である^{3) 4) 5) 6) 7)}。

6-2: VAのサーベイランスとしてはVAの血流量を推奨する。VA不全の早期発見のスクリーニングとしてRIは有用である。

1) AVFにおける血流量測定の意義

わが国では主にVAの血流量は超音波ドプラ法で測定されている報告が多いが、VA血流量は機能良好な群で500~1,000mL/minであり、機能不良群との境界は500mL/minと報告されている。JSDTガイドライン¹⁾によればシャント血流量500ml/min未満あるいはベースより20%以上の血流低下を認めた場合、狭窄病変の存在を疑うとしている。その他過去のVA機能不全の境界域は500ml/minとされている^{8) 9) 10)}。山本は上腕動脈におけるVA血流量測定にて350mL/min以下を脱血不良群のcut off値の目安になると報告している¹¹⁾。またVA血流量の低下を認めた場合、心機能の低下や低血圧、脱水などの患者の状態によるのか、VAそのものに起因したものかを勘案し、PTAによる治療的介入を行うことで改善するものかを総合的に判断することも肝要である。

2) AVGにおける血流量測定の意義

AVGの場合も超音波希釈法・超音波ドプラ法・クリットライン法、熱希釈法によるVA血流量の測定は侵襲が少なくVA機能把握に有用である。JSDTガイドライン¹⁾によれば、AVGではシャント血流量650ml/min未満あるいはベースより20%以上の血流低下を認めた場合、狭窄病変の存在を疑うとしている。またBeathardら¹²⁾は血栓の発生リスクが高くなる血流量は300~800ml/minと報告している。DOQIのガイドラインでは血流量650ml/min未満または

1000ml/min未満で4ヶ月間に25%以上の血流量の低下がある場合は血管造影検査を推奨している。

CSNのガイドラインでは血流量650ml/min未満または20%以上の血流量の低下をさらなる検索の基準としている。JSDTのガイドラインでは定期的にVA血流量を測定し、650mL/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して記載されている。いずれにしても絶対値としての血流量よりも相対的な血流量の変化が重要とされる。AVGは比較的血流量が多くても、ある一定の割合で閉塞をきたすことから、最低血流量の絶対値を決定することは難しいと考えられる。

しかし血流量を継続的にモニタリングし、その変化率をみることで閉塞の発生率は下げることができると思われる。一方でVA血流量の測定によりAVGの閉塞率を低下させることはできないという報告もある。小林らによると、患者あたりのAVG血流量測定回数 3.4 回/年(平成13年度)と4.1 回/年(平成14年度)を比較するとAVGの閉塞率が0.34回/年から0.17回/年へ低下したと報告しており、VA血流量を継続的にモニタリングすることは有用である可能性を示している¹³⁾。

3) AVFにおけるRI計測の意義

RIの相対的上昇は測定部位より血流の下流、つまり前腕部動脈、吻合部、シャント静脈、中心静脈流入部いずれかの部位に狭窄が存在している可能性を疑う。スクリーニング時におけるRIの測定は、透析前後いずれに測定してもよいが循環動態が安定した状態で測定することが必要である³⁾。スクリーニングに用いるRIカットオフ値に関しては、RI>0.600が一つの目安とされる³⁾。RIの相対的上昇は測定部位より血流の下流、つまり前腕部動脈、吻合部、シャント静脈、中心静脈流入部いずれかの部位に狭窄が存在している可能性を疑う。

特異度をより高くするにはRIのカットオフ値をより高値に設定、収縮期後期切痕の有無など波形の分類、上腕動脈血流量<500~600ml/minなどの諸条件を加え、何をどのような状況で発見したいか、施設としての方針を決めていただければよい。スクリーニングの期間については、1か月おきから6か月おきまで、施設によってさまざまであり、施設の状況に応じて決めるのがよい。

4) AVGにおけるRI計測の意義

AVGの場合、基本的な測定法はAVFの場合と同様であるが、RI>0.600群でAVFほどクリアカットにVA不全の判別は困難である。また、グラフト内でパルスドプラを測定した場合、RIはほとんど意味を持たない。しかし一律にスクリーニングする上で、上腕動脈でRIを測定する意味は十分にある。

6-3 VA 血流量を測定する目的は適切な透析量の確保と閉塞の予防である。

十分なVA血流量を維持することは適切な透析量の確保に必要不可欠であり、透析不足は合併症罹患率および死亡率を増加させると報告されている¹⁴⁾。Sehgalら¹⁵⁾の報告によると、米国オハイオ州東部で慢性血液透析施設22施設から無作為に抽出された721名に対する研究調査ではVAの血栓形成が不適切な透析用量に有意かつ独立して関連していた。またKt/Vが0.1減少

すると入院率が11%、入院日数が12%増加し、入院患者による医療費の増加が発生するとされている。このうちVAに関連した合併症は入院患者の24%にのぼり、その影響は大きい。これらの報告からVA血流量が低下し適切な透析量の確保が出来ない場合やVA閉塞を来した場合は患者のQOLや死亡率への悪影響や医療経済的な問題を引き起こすと考えられ、VA血流量を維持するためにモニタリングを行い、必要に応じてPTAを行うことは有益であると考ええる。

十分なVA血流量を維持できないと最終的にはVA閉塞に至る。VAトラブルのうちVA閉塞は医療者側の治療を難渋させ、患者側に透析の遅延や合併症のリスクを与える。また治療に必要なデバイスの費用あるいは入院にかかわる医療費によって生じる経済的な問題を抱える。したがってモニタリングの目的としてVAを閉塞させないことは重要であると考えられる。しかしながらモニタリングにより治療介入のタイミングが早すぎると、過剰に治療を行うことになり、医療経済上の問題が発生するので、治療の適応についてはサーベイランスを行い十分に検討されなければならない。

6-4 VA血流過剰による心負荷を生じることを認識しておく

JSDTガイドライン¹⁾には、VA流量(Flow)が1,500~2,000 mL/min以上、もしくはFlow/C0が30~35%以上で高拍出性心不全を生じることがある、と記載されている。透析患者の死亡原因の約4割は心血管系イベントである。したがって心機能をフォローすると同時に、心予備力の低下した患者に心負荷の大きくないVAを維持するため、その修復・管理を行うことは重要であり、VA流量を定期的にチェックすることは重要である。

第6章 参考文献

- 1) 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 44 : 855-937, 2011
- 2) Davidn Churchill, Kailashk Jindal, Jeanh Ethier et al: Guidelines for Treating Patients with CRF. Chapter
- 3) 村上康一, 猪又扶美, 武田稔男, 他：シャント管理における超音波パルスドプラ法の有用性について. 腎と透析 55 別冊アクセス 2003 : 39-43, 2003
- 4) 村上康一, 猪又扶美, 坂井健彦, 他：血管抵抗指数 Resistive Index (R.I) を指標としたシャント管理について. 腎と透析 59 別冊アクセス 2005 : 169-172, 2005
- 5) 村上康一, 猪又扶美, 武田稔男, 他：血管抵抗指数 Resistance Index (R.I) を指標としたシャント開存率について. 腎と透析 57 別冊アクセス 2004 : 67-70, 2004
- 6) 村上康一, 熊切こず恵, 武田稔男, 他：新規造設バスキュラーアクセスの開存期間と血管抵抗指数 Resistance Index (R.I) の関係についての検討. 腎と透析 65 別冊アクセス 2008 : 201-203, 2008

- 7)村上康一, 熊切こず恵, 武田稔男, : 血管抵抗指数 Resistive Index (R.I) を指標としたシャント管理について 腎と透析 63 別冊アクセス 2007 : 184-188, 2007
- 8)吉川和暁、北川柁彦、菱本康之、他 : 超音波パルスドプラ法によるシャント血流測定.臨泌 53 : 993-998,1999
- 9) 尾上篤志、大野卓志、高橋計行、他 : 超音波検査における前腕内シャント機能不全の予測.大阪透析研究会会誌 20 : 65-68,2001
- 10) 久保木和丘、川村明夫、米川元樹、他 : ブラッドアクセスにおける血行動態と血流量の検討. 臨床透析 8 : 661-665,1992.
- 11) 春口洋昭編 : バスキュラーアクセス超音波テキスト. 医歯薬出版株. 2011
- 12)Beathard GA:Physical examination:'The forgotten tool.Dialysis Acces-A multidisiplinary approach8ed.by Gray RJ,Sands JJ).111-118,Lippincot Williams&Wilkins,Phyladelphia,PA,USA,2002.
- 13) 小林大樹, 元上七奈, 浜田美生, 他 : 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 57 別冊アクセス 2004 : 118-120, 2004
- 14) Raymond M Hakim,MD,PhD,Julia Breyer,MD,Nuhad Ismail,MD,et al : Effects of Dose of Dialysis on Morbidity and Mortality. American Journal of Kidney Disease23 : 661-669, 1994
- 15) Ashwini R.Sehgal,MD,Richard J.Snow,DO,MPH,Mendel E.Singer,PhD,et al : Barriers to Adequate Delivery of Hemodialysis. American Journal of Kidney Disease31 : 593-601, 1998

第7章 形態評価

7-1 局所だけでなく、バスキュラーアクセス全体の構造を血行動態とともに把握する。横断面、縦断面を駆使し、3次元的に血管走行や局所の変化を理解するように努める。

VA に対する超音波検査では、部分像として得られた画像を全体像に構築する能力が検者に求められる¹⁾。走査法の基本として、横断像で血管走行の概要を把握し、縦断像で詳細を観察する(図 1)。必ず 2 方向から走査し、立体的にイメージしながら検査を進めることが重要である。さらに動静脈吻合部や血管の分岐部では側面からの走査が有効である(図 2)²⁾。またカラードプラ法により血流の情報も得られる。狭窄や閉塞による血流方向の変化をとらえ、順行性(末梢側から中枢側へ)か逆行性(中枢側から末梢側へ)かを見ることで、より詳細な血行動態が理解できる(図 3)。

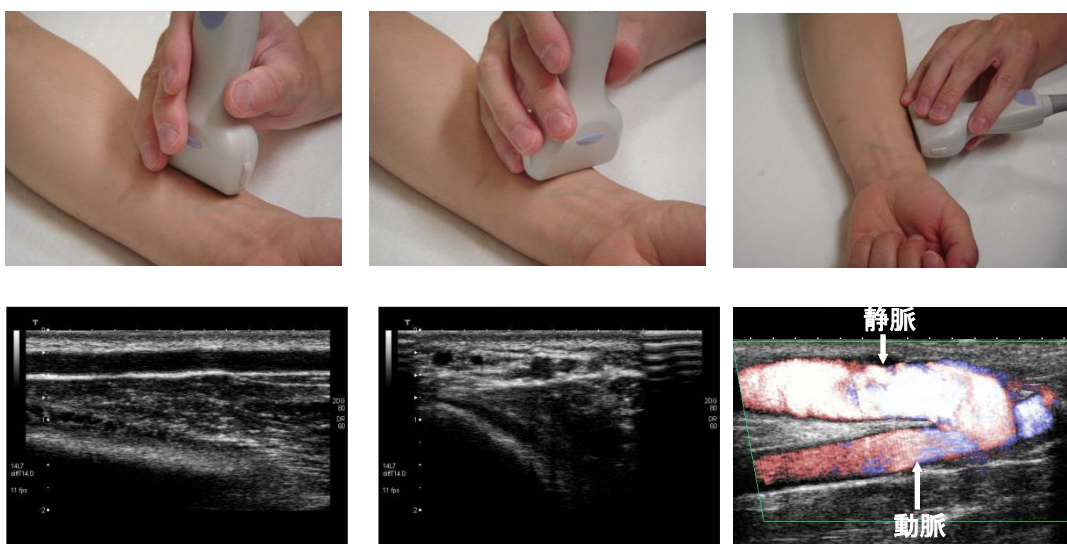


図 1 縦断像 (左) と横断像 (右)

図 2 側面からの走査

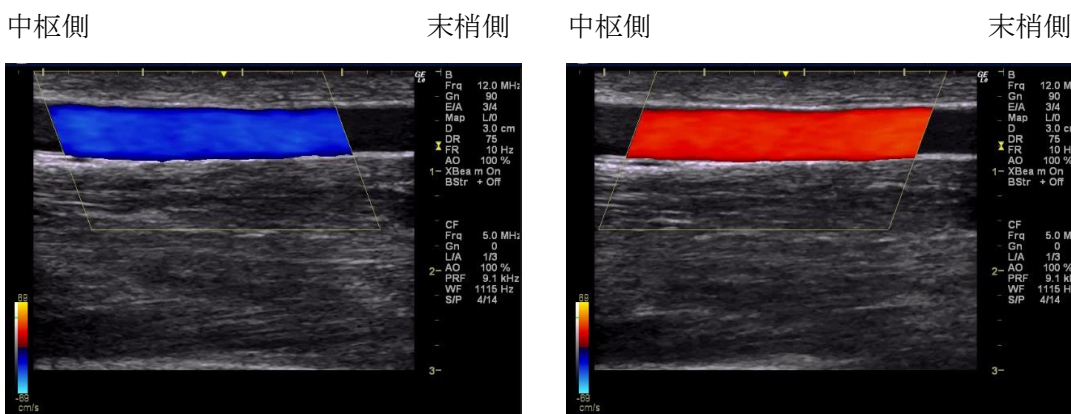


図 3 カラードプラ法による血流の方向

7-2 観察範囲は、出現する病態によって異なる。症状を把握し観察ポイントを逃さないよう効率良く検査を施行する。

超音波検査では、系統的に検査をすすめることで病変の見逃しを減らすことが可能である。加えて臨床症状や理学所見から病変部位を推定することで、より効率的な検査が行える。そのためには、プローブを持つ前に動静脈吻合部や脱血および返血穿刺部位の位置関係を確認し、臨床症状の有無や理学所見の異常を必ず把握しておく。

【自己血管内シャント】

基本走査範囲として、動脈系では主にシャント静脈に吻合している動脈を対象とする。例えば手関節部での橈骨動脈-橈側皮静脈を吻合した自己血管内シャントでは、上腕動脈から末梢側に向けて橈骨動脈、吻合部を走査する。静脈系は吻合部から中枢側に向けて前腕部の橈側皮静脈および肘正中皮静脈、上腕部の尺側皮静脈、橈側皮静脈をそれぞれ上腕中央部付近まで走査する。肘窩部で深部静脈と連絡する交通枝も観察する(図4)。皮静脈は血管走行が比較的浅いという特徴があるため、視診で走行を確認しながら走査すると全体像として把握しやすい。また吻合部の形態も観察する(図5)。

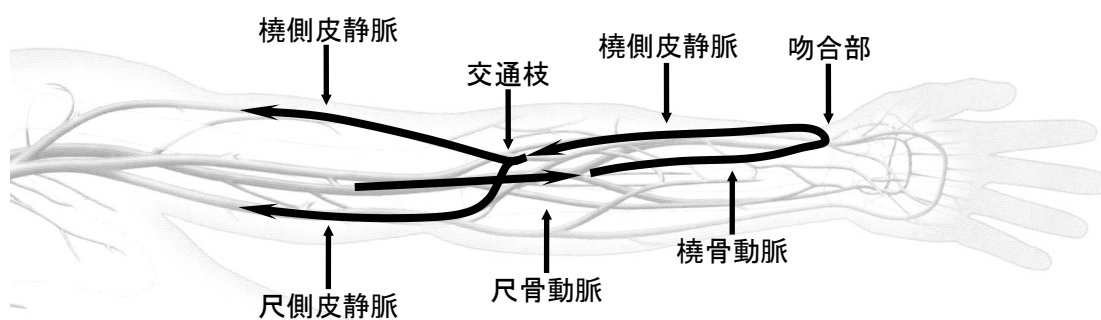


図4 自己血管内シャントの基本走査範囲

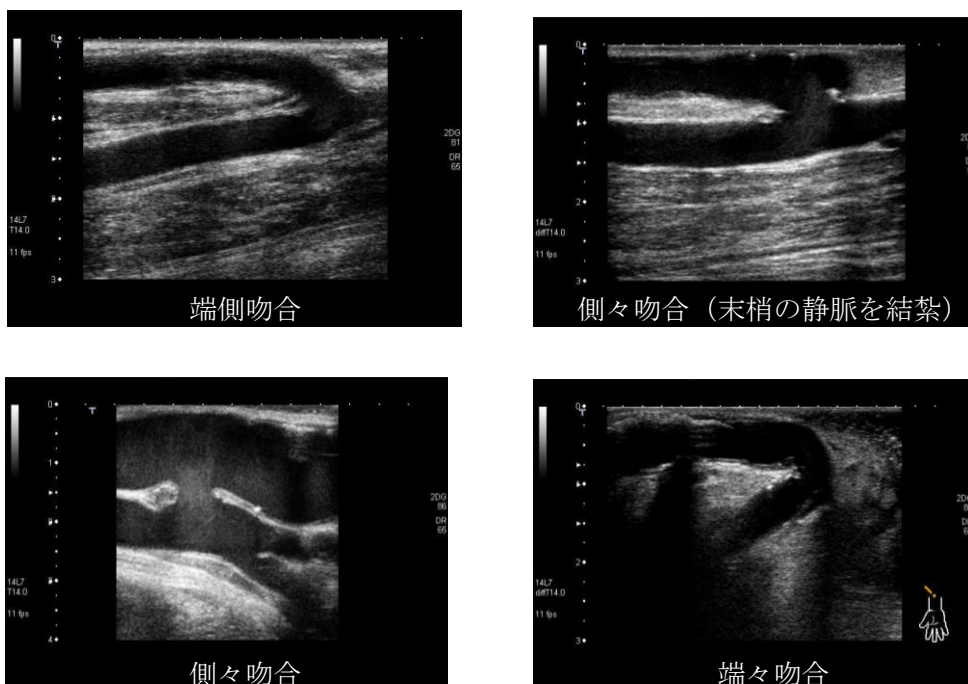


図5 自己血管内シャントの吻合形態

【人工血管内シャント】

人工血管内シャントでは、視触聴診の情報が AVF ほど多く得られないため、超音波検査による評価が有用である。人工血管の動脈側吻合部近傍から人工血管内、静脈側吻合部、流出路静脈を上腕中央部付近まで走査し、狭窄および閉塞を検索する（図 6）。

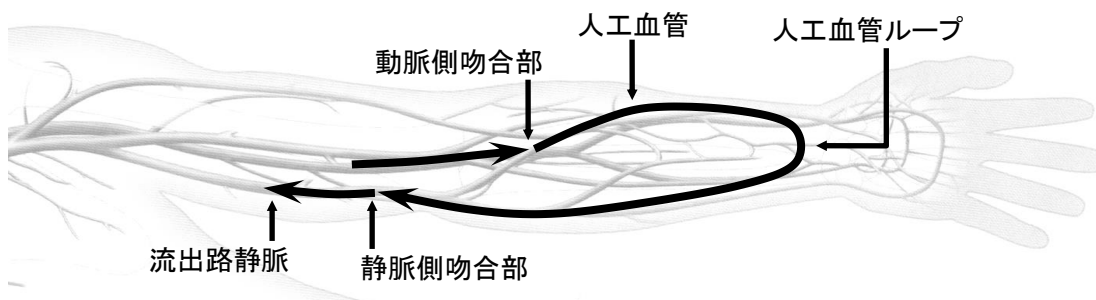


図 6 人工血管内シャントの基本走査範囲

なお自己血管内シャントや人工血管内シャントにおける基本的な走査範囲は上腕中央部付近までとしているが、静脈高血圧症など中心静脈領域に病変が疑われる場合は、その限りではない。セクタプローブに持ち替えるなどして積極的に鎖骨下静脈付近まで走査することが望ましい。臨床症状別の観察ポイントを(表)に示す。詳細は合併症の各論を参照されたい。

症状・病態	主な観察部位
脱血不良	動脈系または吻合部から脱血穿刺部位までの病変を指摘する
静脈圧の上昇 止血困難	返血穿刺部位または、それより中枢側の病変を指摘する
穿刺困難	穿刺部位近傍の狭窄・閉塞・血栓・弁などの有無を観察する
静脈高血圧症	吻合部直上から中心静脈領域まで様々な部位に責任病変が発現する。腫脹範囲を参考にする
スチール症候群	吻合部より末梢の動脈血流を観察する
過剰血流	動静脈の拡張を観察する
瘤	瘤とその前後を重点的に観察する
感染	発赤部位とその近傍を重点的に観察する

表 症状と観察部位

【動脈表在化】

表在化している上腕動脈とその近傍を走査し、血管径や性状、走行の深さを観察する（図 7）。動脈表在化では、瘤や穿刺困難などの形態評価が重要となる。

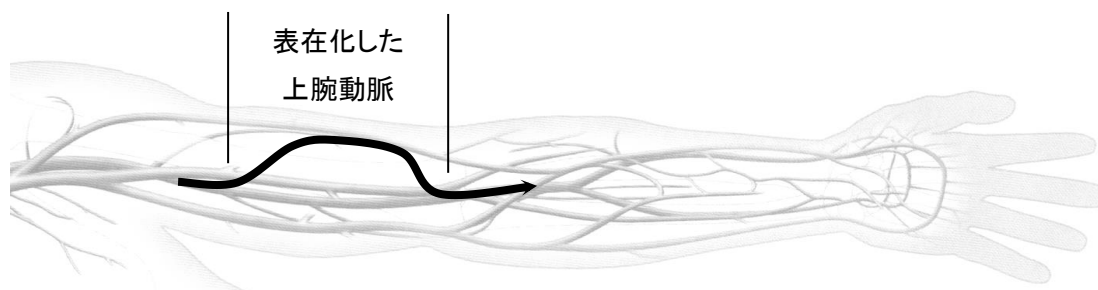


図 7 動脈表在化の基本走査範囲

7-3 機能と形態を総合して診断することが望ましい。

VA では多少の狭窄が存在しても、問題なく透析できている症例が多数ある。それを証明するのは機能評価である。VA 超音波検査では、機能と形態が同時に評価できる利点を有する。VA の状態を正確に評価するには、両者を総合的に判断することが重要である。必ず機能評価の値を参考にして、狭窄病変の程度を推測しながら血行動態を理解することが充実した検査につながる。

超音波検査で得られた情報を正しく伝えるレポート作成も重要である。詳細な情報を正確に伝えるにはシエーマを活用する。報告する側も表現しやすく、依頼医も理解しやすい。それだけでなく、透析室やインターベンション治療、手術室に関わるすべてのスタッフとも情報を正しく共有できる手段となる。

第7章 参考文献

1) 春口洋昭, 小林大樹: バスキュラーアクセスを知る・学ぶ-これで納得! 血管検査と腎臓との関係 VA 診断におけるルーチン検査. *Vascular Lab* 2011 vol.8 no.1 : 44-49, 2011

2) 春口洋昭編: 血管超音波とバスキュラーアクセス バスキュラーアクセスの基礎 検査の進め方. *バスキュラーアクセス超音波テキスト* : 47-52, 2011

第8章 VA 作製における超音波検査

8-1 VA 作製においては理学所見が最も有用であり、検査者は理学所見の取り方についての知識が必要となる。超音波検査は補助的に使用することが望ましい。

VA エコーは、すでに VA を有する患者だけでなく、新規に VA を作製する患者に対しても有用である。AVF を作製する場合は、術後 VA として機能するか否かを術前に判断しておくことが重要となる。従来視診・触診で吻合する部位を決定しており、現在でも視診・触診が最重要であることに変わりはない。エコーは理学所見で作製部位を決定できない場合（特に血管が深い位置を走行している患者や、石灰化などで動脈の拍動が不良な症例）の補助診断として用いる¹⁾。検査者は、ある程度の理学所見の取り方を知っておくことが重要である。

血管の観察をする前に上肢全体の理学所見をとることが重要である。乳がん手術の既往がある患者、鎖骨下静脈から透析用カテーテルが留置された既往のある患者、ペースメーカーを留置されている患者では、同側に AVF/AVG を作製すると、静脈高血圧症をきたす可能性があることを認識しておく。また、すでに手指の循環障害を有する患者は、AVF/AVG 作製後に、スチール症候群を呈する可能性があることを考慮して検査を行う。

静脈は、駆血すると拡張するが、患者によって拡張の程度が異なる。駆血前に細い静脈であっても、駆血後に十分に拡張する静脈は、吻合が可能である。動脈は、触診にてたくて強い拍動を有する場合は、あえて超音波で確認する必要はない。触診で橈骨動脈が非常に硬く触れ、拍動が不良の場合は、Mckeel 型の中膜石灰化病変であることが多い。石灰化があっても、十分な径があれば、AVF 作製が可能であり、拍動のないという理由だけで作製を断念する必要はない。

上腕動脈の拍動が左右で異なる場合は、鎖骨下動脈や腋窩動脈に狭窄をきたしている可能性があり、中枢の動脈も含めて精査することが重要となる。

術者から超音波検査を依頼される場合は、理学所見で作製部位が決められないことが多い。可能であれば、術者立ち合いのもとにエコーを行う。またそうすることによって、AVF 作製の戦略を知ることができ、その後の超音波検査に生かすことができる。

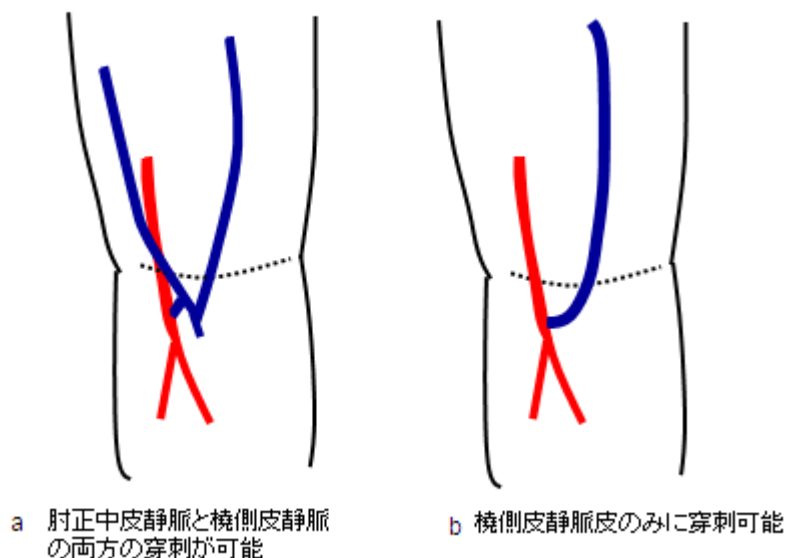
GL-2 VA 作製に使用する動静脈の組み合わせを知っておき、作製可能な血管径に関する大まかな知識をもって検査する。

1) AVF のデザイン

AVF は、手関節の橈骨動脈と橈側皮静脈の内シャントまたはタバチエール内シャントを第一選択とする^{1, 2)}。その理由としては、①末梢で作製すると穿刺範囲を広く取れる、②閉塞した時に再建する静脈が残されている、③手術が容易で合併症がないこと、が挙げられる。その部位ですでにシャントが作製されていたり、良好な動・静脈がない場合は、中枢もしくは、尺側で作製することになる。尺側では、尺骨動脈と尺側皮静脈を用いた内シャント作製が行われる。橈側に良好な動・静脈がない場合は、尺側の血管も評価することが重要となる。

前腕末梢で AVF 作製が困難な場合は、前腕中央部での作製を試みる。そこにも良好な血管がない場合は前腕肘窩で作製する。前腕肘窩で作製する場合は穿刺が 2 か所確保されることが必要となる。(図 1-a) のように肘正中皮静脈と橈側皮静脈があれば、作製することが可能である。また、上腕部に穿刺可能な橈側皮静脈がある場合は、橈側皮静脈だけを吻合して作製することが可能となる (図 1-b)。

図1 肘窩部内シャント

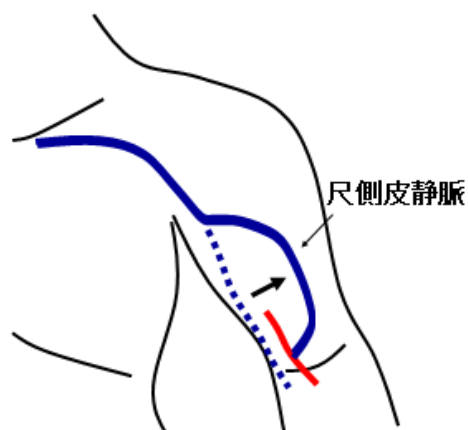


前腕尺側皮静脈が太く、尺骨動脈が細い場合は、尺側皮静脈を遊離して、橈骨動脈や上腕動脈に吻合することも可能である。通常は近くの動・静脈を吻合するが、静脈を剥離・遊離して吻合することがあることを認識しておく。

通常は非利き手に AVF を作製するが、非利き手で AVF 作製が困難な場合は、利き手で作製することもある。そのような場合は、両上肢の血管を精査する必要がある。

前腕に良好な動・静脈がない場合は、人工血管移植術もしくは、上腕尺側皮静脈をトランスポジションし、上腕動脈に吻合する術式がある (図 2)。どちらの術式を選ぶかは、術者の好みも影響する。

図2: Basilic vein transposition



2) 人工血管移植術のデザイン

人工血管は（図 3-a,b）のようなデザインで移植することが多い。デザインを知っておき、血管を精査する必要がある。静脈は、肘部の深部静脈や上腕尺側皮静脈に吻合することが多いため、その部位を重点的に観察する。

図3(a) グラフト移植法（前腕）

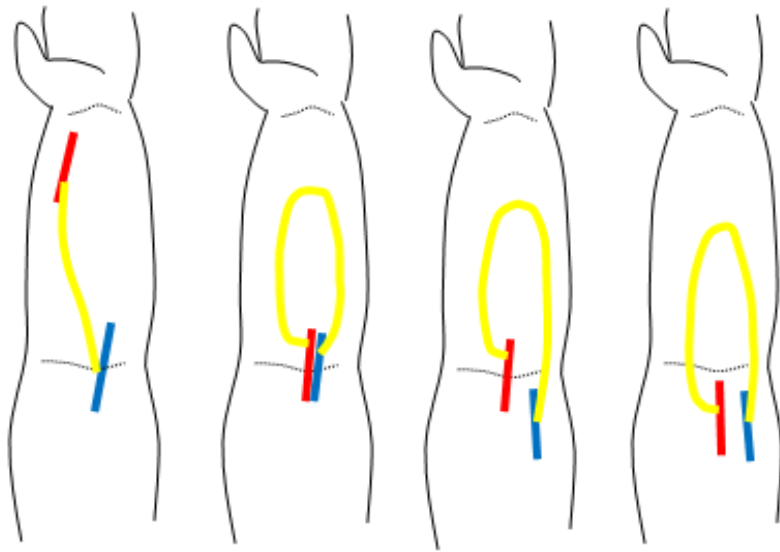
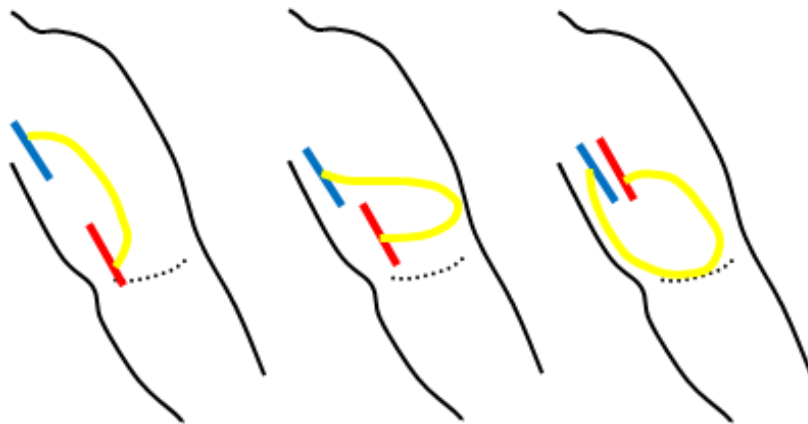


図3(b) グラフト移植法（上腕）



3) その他の VA

著明な心機能障害を有する患者では、シャントではなく、上腕動脈表在化やカフ型カテーテルの留置術を行うことがある。どのような VA を作製する予定があるかを、認識して検査を行うことは重要である。動脈表在化法は、血管壁に著明な石灰化がないことが条件となる。表在化する可能性のある動脈（上腕動脈や大腿動脈）の壁石灰化の有無と程度を十分に観察する。また、カテーテルを留置する予定の患者では、内頸静脈や大腿静脈の径や位置を確認して記載することが必要となる。

5) AVF 作製に必要な血管径

手関節で AVF を作製する場合は、駆血した状態での静脈径 2.0 mm、動脈径 1.5 mmあるのが望ましい¹⁾。それ以下でも作製することは可能であるが、細い動・静脈を用いて作製すると、術後に発育障害を呈する可能性が高い。静脈が皮膚から深い位置を走行している場合は、たとえ良好なシャント血流量が得られても、穿刺困難が予想される。概ね皮膚から 5 mm以上深くに橈側皮静脈が走行している場合は、人工血管移植術も考慮に入れて、精査を行う。検査のレポートには、血管のサイズだけでなく、深さも記入しておくことが望ましい。

6) AVG 作製に必要な血管径

AVG 作製する場合は、AVF よりもやや静脈径が大きい必要がある。駆血して 3 mm程度は必要である。肘部の深部静脈が細い場合は、上腕橈側皮静脈や上腕尺側皮静脈の径を測定しておく。

第 8 章 参考文献

- 1) 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 44 : 855-937,2011
- 2) Vascular Access 2006 Work Group. Clinical practice guidelines for vascular access. Am J Kidney Dis;48(Suppl 1): S176-S247. 2006

第9章 各種トラブルに対する超音波検査

第9章-1 狭窄

9-1-1 バスキュラーアクセスの狭窄に対する超音波検査では、穿刺部位との位置関係を把握し、発生しうる臨床症状を熟知したうえで超音波検査を施行する。臨床症状の原因となっている病変を指摘することが重要である。

VA に発現する狭窄は脱血不良、狭窄音の聴取、静脈圧の上昇など様々な臨床症状を引き起こす。狭窄部位と脱血穿刺部位、返血穿刺部位との位置関係で出現する臨床症状が異なる。検査者は単純に狭窄を指摘するだけでなく、様々な病態を熟知しておく必要がある。また狭窄の評価は、その存在のみでは正しく評価できない。超音波検査では機能（血流量および末梢血管抵抗指数 RI）と形態（狭窄径）の両方の評価が必要となり、狭窄が透析にどのような影響を与えているかを考えながら検査を進める。

【脱血不良の精査】

バスキュラーアクセス超音波検査の中で最も遭遇する頻度が高い。脱血不良とは狭窄により中枢側の血流量が不足するため、透析に必要な血流量が得られなくなることである。山本らの報告、小川らの報告では上腕動脈血流量が 350mL/min 以下になると脱血不良が出現する可能性が高くなるとされている¹⁾。診断には超音波パルスドプラ法を用いた上腕動脈血流量の低下および RI の上昇と超音波断層法で脱血穿刺部位より末梢側（吻合部側）に存在する狭窄病変を指摘する（図 1-1）。また、脱血不良の原因となる狭窄病変を認めるにも関わらず、血流が良好である症例も存在する。この場合、狭窄部位より末梢側（吻合部側）に発達した側副血行路を認めることが多く、見かけ上血流が良好となる（図 1-2）。機能評価のみではバスキュラーアクセスの良否は判断できないため、血管分岐の状態（図 1-3）などの血行動態も含め脱血不良が発生する理由を考えながら検査を進める。

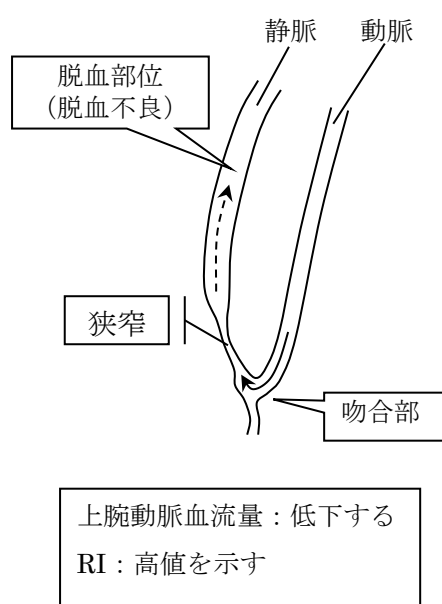


図 1-1 脱血不良例 (AVF)

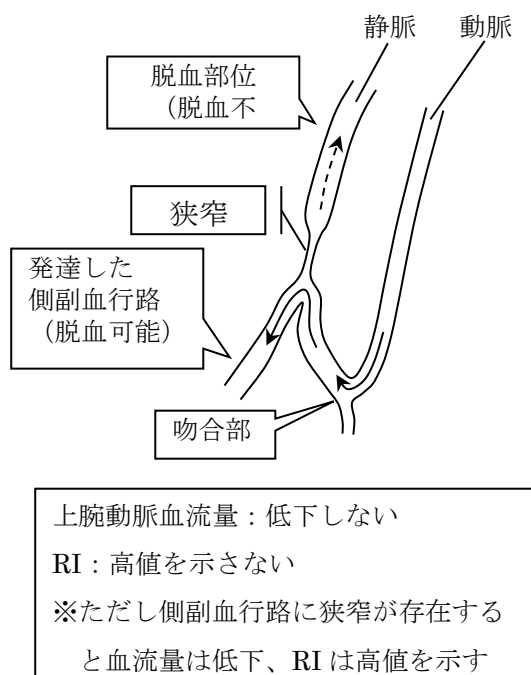


図 1-2 側副血行路を伴う
脱血不良例 (AVF)

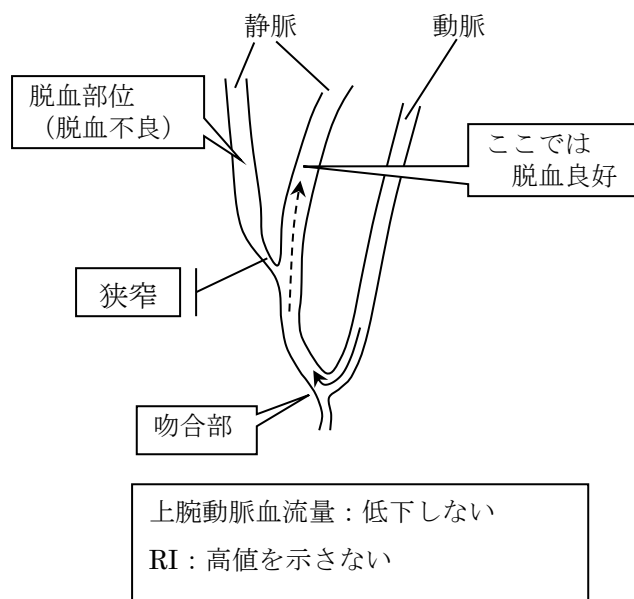


図 1-3 血管分岐の起始部の狭窄
による脱血不良例 (AVF)

【狭窄音の精査】

狭窄音を聴取する部位に病変を認めても、血流が良好であり透析に支障がなければ、経過観察される症例も多い。ただし、少なからず狭窄病変の存在を確認したことにより、今後の透析室における管理、または必要であれば超音波検査によるフォローアップを行う。

【静脈圧の上昇の精査】

静脈圧は穿刺針のサイズ、脱血流量、透析器械、ドリップチャンバーの位置、患者の体位などによって影響を受けるため、絶対値だけで臨床上有意な狭窄と判断することができない。むしろ静脈圧の変化が著明な場合に、閉塞の危険が迫っていることを認識する。通常、静脈圧は透析を行っている時に透析器械で測定する。これを動的静脈圧という。脱血流量の影響を受けるため、静的静脈圧を重要視するとの考えもある。検者は指摘されている静脈圧が動的静脈圧か静的静脈圧かを確認することが望まれる。臨床では、静的静脈圧を測定することはほとんどなく、透析チャートには動的静脈圧が記載されている。

静脈圧の上昇を呈する症例では、止血時間の延長を伴うことが多く、返血穿刺部位やそれより中枢側に責任病変が存在する (図 2-1)。この臨床症状の意味を理解していないと観察すべきポイントを見逃すことになる。また同様に AVG の症例でも、流出路静脈の狭窄が原因となっていることが多い (図 2-2)。

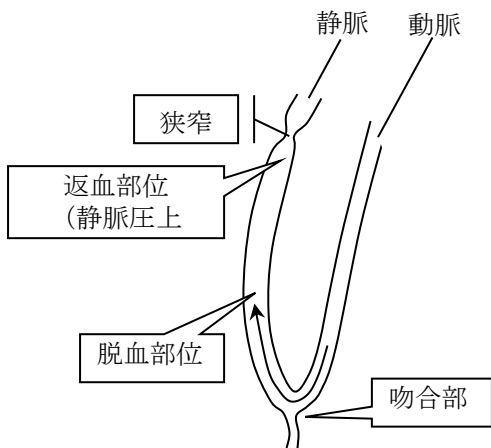


図 2-1 自己血管内シャント

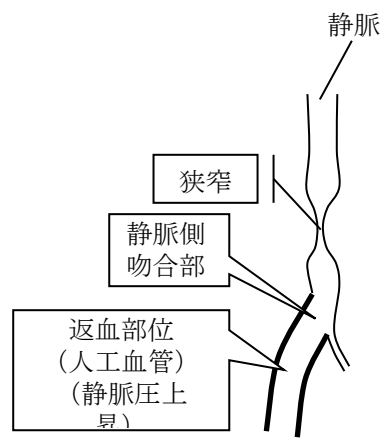


図 2-2 自己血管内シャント

【再循環】

再循環とは、浄化された血液が再び体内に戻される際に、何らかの原因により再び脱血されるため、透析効率が悪くなる。返血穿刺部位の中樞に狭窄が存在すること、脱血部位と返血部位がきわめて近いこと、これに加えて血流量が少ないこと、などが原因として挙げられる(図 3)。また、図 4 のような分岐部でも発生し得る。

穿刺をしていない状況で行う超音波検査では、再循環を完全に証明することはできないが、発生し得る可能性を示唆することはできる。検者は、脱血と返血の位置関係、その周辺の狭窄や閉塞病変の有無、血流の程度を把握したうえで血行動態を理解しなければならない。

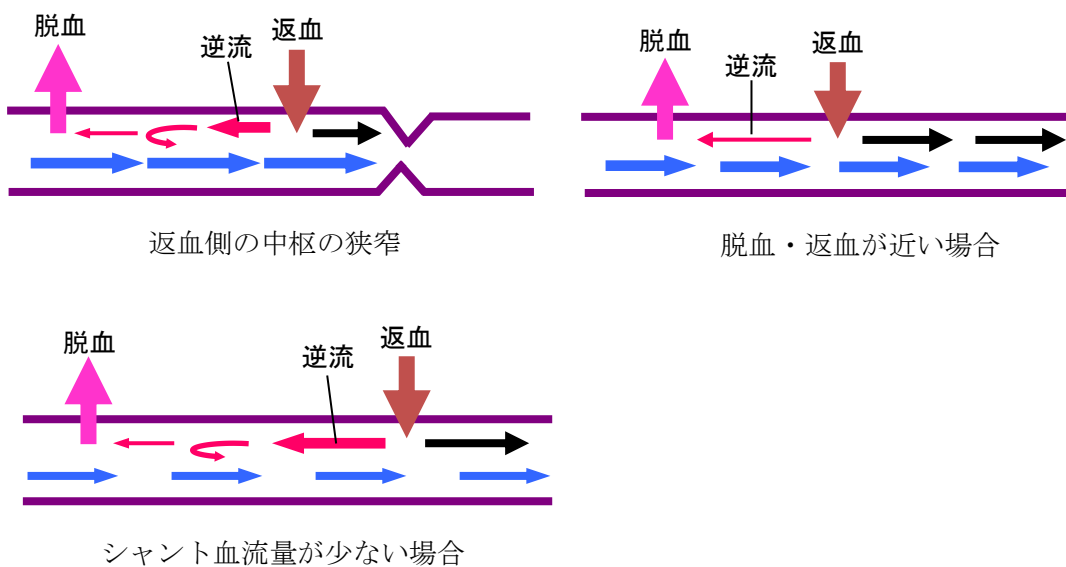


図 3 再循環

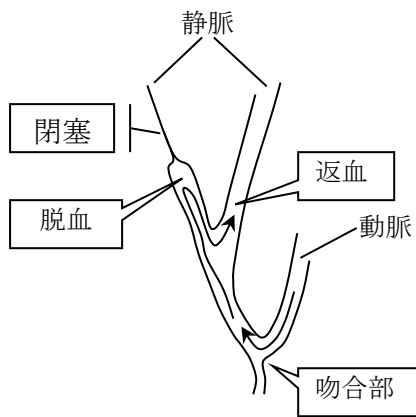


図4 血管分岐部近傍の再循環 (AVF)

以上のように狭窄部位と穿刺部位との位置関係から、どのような臨床症状が起こり得るかを理解しておく、責任病変部位の推測に役立つ。

9-1-2 臨床症状を引き起こさない狭窄病変があることを認識しておく。

脱血穿刺部位より末梢側に狭窄があれば脱血不良に、返血穿刺部位より中枢側に狭窄があれば静脈圧の上昇の症状が出現する。しかし、脱血穿刺部位と返血穿刺部位の間に狭窄病変が発現すると、いずれの症状も出現しにくく、突然に閉塞することが多い (図5)。高度の狭窄病変が存在しても必ずしも臨床症状が出現するとは限らないことを認識しておく必要がある。

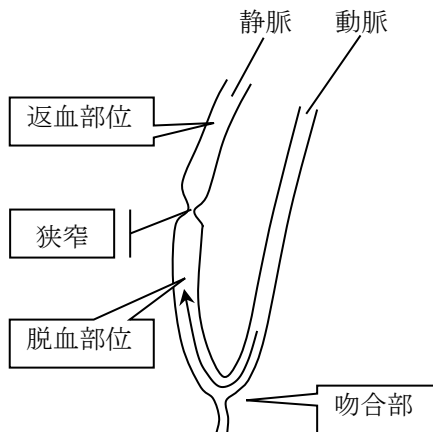


図5 臨床症状が出現しにくい症例

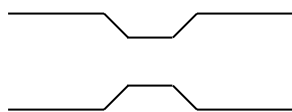
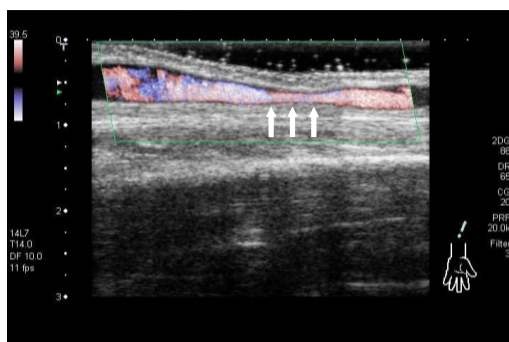
9-1-3 バスキュラーアクセスの狭窄病変に対しては正しい評価を行う必要がある。

狭窄病変の部位や範囲、程度、形態を観察する。

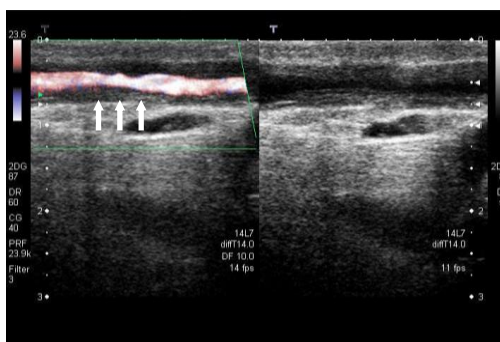
〔部位・範囲〕自己血管内シヤントでは動静脈吻合部の直上に、人工血管内シヤントでは流出路静脈に高頻度に発生する。また、狭窄長が短いものから広範囲に及ぶもの、多発性に発現するものまで様々である。

〔程度〕狭窄の診断は横断像と縦断像の両方で確認することが望ましい。横断像で同心円状であることを確認したうえで、縦断像における狭窄部位の内径を計測する。最も簡便な計測法であるが、走査の留意点として少しの圧迫で狭窄径が変化するため圧迫しない走査を心がける。計測の際はできるだけカラー Doppler を併用せず B モード断層像で正確に行うことが望ましい。なお、偏心性の病変では面積による狭窄率も計測するが、頻度は少ない。注意すべきは、臨床症状や疑う疾患により狭窄の評価が異なる。血流低下をきたす狭窄径は概ね 1.5mm 以下であるが、上腕動脈血流量や RI も併せて総合的に評価すべきである。また、静脈高血圧症や静脈圧の上昇を呈する症例では、2.0mm 以上の相対的狭窄でも、臨床症状を認める場合があるので注意が必要である。

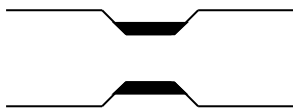
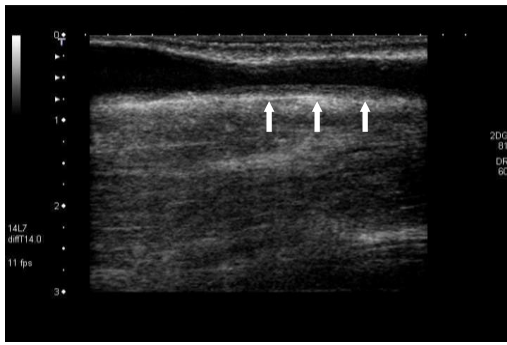
〔形態〕血管自体が収縮した狭窄や内膜肥厚を伴う狭窄、血管収縮と内膜肥厚が混在した狭窄、静脈弁狭窄、粗大石灰化の沈着を伴う狭窄などがある（図 6）。狭窄形態を正しく評価することは、治療に役立つ情報となる。



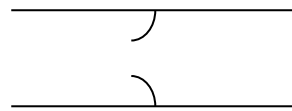
血管自体が収縮した狭窄



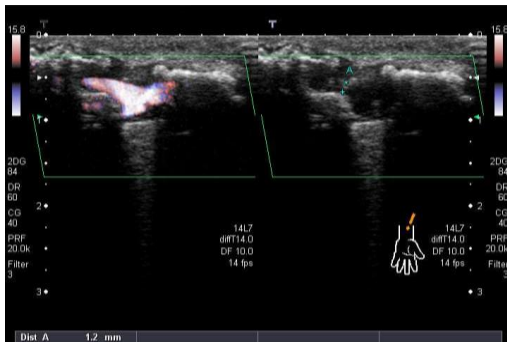
内膜肥厚を伴う狭窄



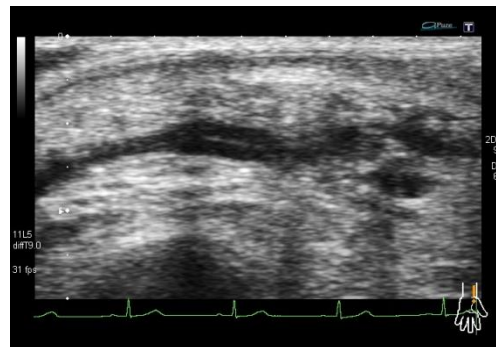
血管収縮と内膜肥厚が混在した狭窄



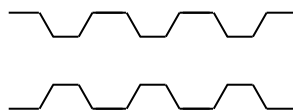
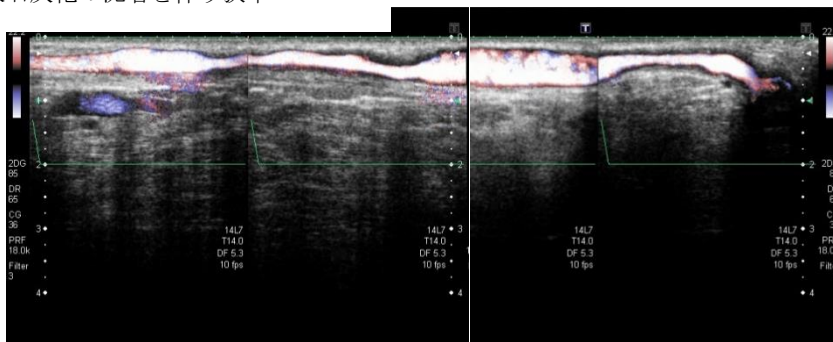
静脈弁狭窄



粗大石灰化の沈着を伴う狭窄



内膜解離による狭窄



多発性の狭窄

図6 狭窄の形態分類

<参考文献>

- 1) Tomonari Ogawa, Osamu Matsumura, et al. Brachial artery blood flow measurement: A simple and noninvasive method to evaluate the need for arteriovenous fistula repair. *Dialysis & transplantation* may 2011. 206-210

第9章－2 閉塞

9-2-1 バスキュラーアクセスの閉塞には血流を低下させる病変と血流が保たれる病変がある。超音波検査では血行動態を観察し、これらを区別する必要がある。

バスキュラーアクセスの閉塞例では血行動態別にみると2種類に大別される。

【血流を低下させる閉塞病変】

機能評価では血流速波形は拡張期成分が著しく減弱する、いわゆる動脈波形を示すパターンで血流量は低値、RIは高値を示す。形態評価では、動脈血流が脱血部位まで供給されず、良質な透析が施行できない状態である。つまり、脱血を障害する病変が存在し血流低下をきたす例である。吻合部から脱血部位まで、あるいはシャント静脈全域に血栓が充満することが多い(図1)。

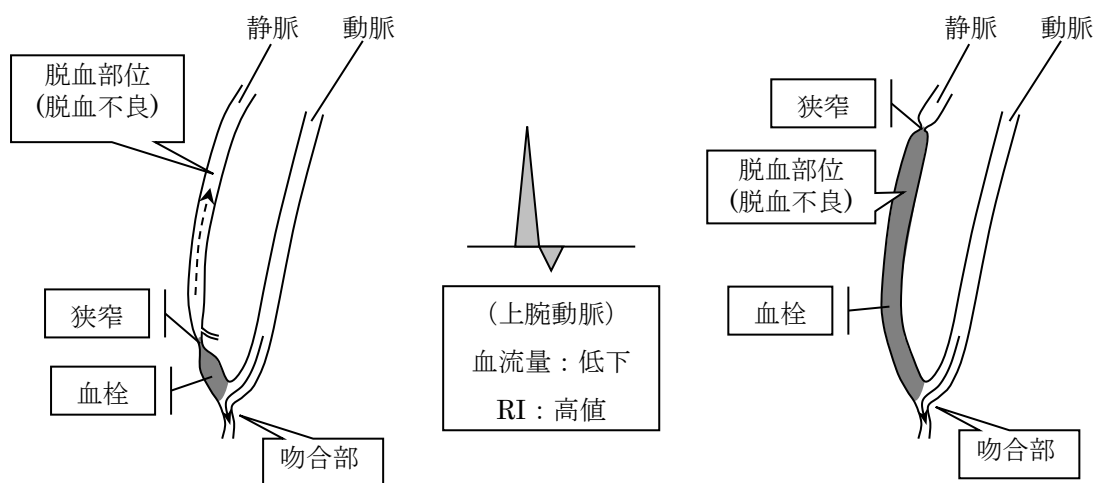


図1 血流を低下させる閉塞病変(自己血管内シャント)

【血流が保たれている閉塞病変】

機能評価では上腕動脈血流量は前者ほど不良にならない。形態評価では動脈血流がシャント静脈に流れ込んでいるものの、閉塞病変により血流が途絶し脱血部位まで到達せず、閉塞部位より末梢側に側副血行路を認める例である。つまり閉塞病変を認めるが側副血行路を形成しているため血流が低下しない(機能と形態が不一致)。手関節部で作製している標準的内シャントでは、吻合部やや中枢側で閉塞し手背枝に側副血行路を形成することがある。この場合、閉塞病変を認めるものの手背枝に穿刺すれば問題なく透析が施行できることもある。(図2)

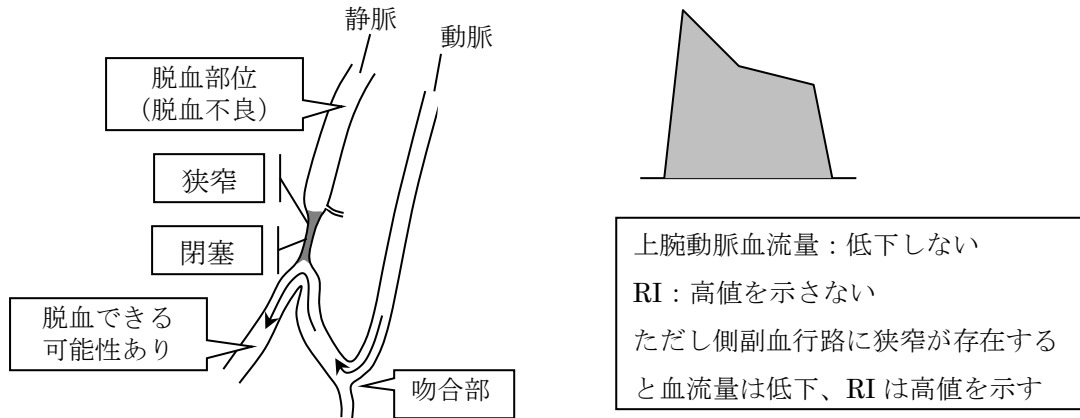


図2 血流が保たれている閉塞病変（自己血管内シャント）

9-2-2 閉塞部位の範囲や状態、原因となった責任病変を観察する。

超音波検査では閉塞病変の詳細な観察が可能であり、他の画像診断と比べて簡便かつ正確な評価が可能となる。

【範囲】閉塞している部位と開存している部位を明確にする。閉塞範囲は一部分のみ閉塞するものや広範囲に至るものまでさまざまである。

【血栓量】閉塞には血栓性閉塞と非血栓性閉塞がある（図3）¹⁾。前者は血管内に血栓が充満したもので量も多い。後者は側副静脈に血流が逃げたために、慢性的に狭窄病変が進行し閉塞に至ったもので、血栓を伴わない。血栓を形成している部位では静脈炎を併発していることもあるため、プローブ走査による圧痛に注意する。また、図4のように血流がうっ滞している場合、血栓様に見える（もやエコー）ことがあるので注意が必要である。

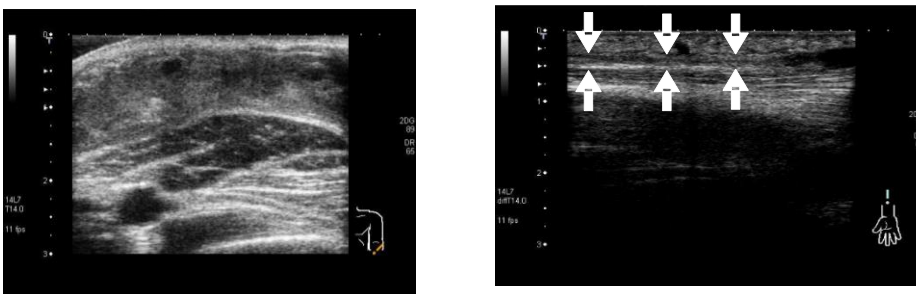


図3 血栓性閉塞（左）と非血栓性閉塞（右）

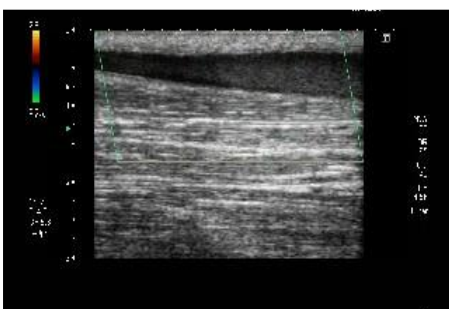


図4 もやエコー

【原因】閉塞する原因の大部分は狭窄病変の進行である²⁾。自己血管内シャントでは、吻合部直上に狭窄病変が好発するため、それより末梢側に血栓を形成することが多い(図1)。つまり血栓が存在する最も中枢側に狭窄病変を伴っていることが多い。人工血管内シャントの症例では流出路静脈狭窄が多いため、これが原因となり閉塞することが多い。この場合、人工血管内にも血栓が形成される(図5)。また狭窄病変の進行以外の閉塞因子として、急激な血圧低下や凝固能亢進、長時間のシャント部の圧迫などがある。また高度狭窄を認めない場合でも、これらの要因が加わることで閉塞する。画像検査のみでは特定できない原因があることを留意しておく。

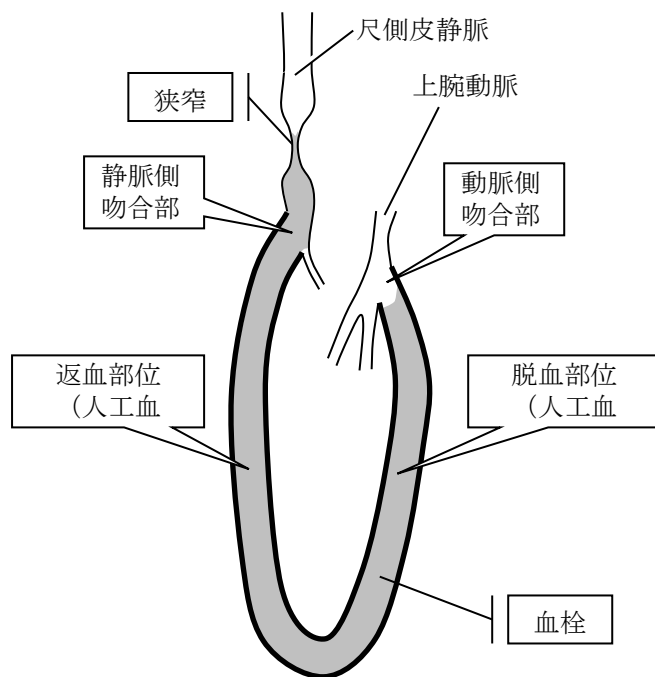


図5 人工血管内シャント(前腕ループ型)の閉塞例

9-2-3 治療法を熟知したうえで閉塞を正しく評価すれば、外科的再建術では再吻合部位の特定に、インターベンション治療では修復すべき責任病変の同定やシースの挿入部位など治療に対する情報を得ることができる。

閉塞症例のもうひとつの観察ポイントとして、治療法の選択および治療手技の参考としての情報も得られるため、ある程度の治療手技の知識も必要となる。

自己血管内シャントにおける外科的再建術では、閉塞部位と開存している部位を明確にする。これにより閉塞部位より中枢側での再吻合が可能と考えられる。この際、吻合予定部位の動・静脈の血管径や壁の性状を評価するとともに、脱血と返血の穿刺部位が確保できるか否かも確認する。インターベンションにおいても閉塞部位が治療対象となり、非閉塞部位はシースイントロデューサーの挿入部位になる³⁾。また血栓性閉塞か非血栓性閉塞かを判断することは、血栓に対する使用デバイスの予測に有用となる⁴⁾。閉塞の原因となった狭窄病変の特定も血栓を除去するだけでなく、この部位の拡張も必要になることが分かる(図6)。

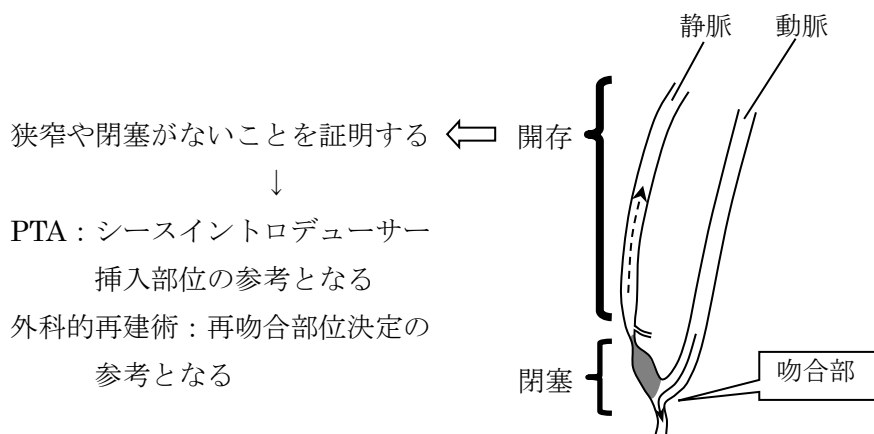


図6 治療に対する情報

第9章—2 参考文献

- 1) 春口洋昭編：合併症の診断における超音波検査 狭窄・閉塞. バスキュラーアクセス超音波テキスト：149-159, 2011
- 2) Besarab A, Sullivan KL, Ross RP, Moritz MJ: Utility of intra-access pressure monitoring in detecting and correcting venous outlet stenosis prior to thrombosis. *Kidney Int* 47:1364-1373, 1993
- 3) 松尾汎監修：VA の診かた VA のスクリーニングから病的所見、カテーテル治療のエコー評価とサポートについて, *Vascular Lab* 増刊 超音波検査テクニックマスター：262-266, 2012
- 4) 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* 44 (9)：906-909, 2011

第9章－3 静脈高血圧症

9-3-1 検査前にシャント肢をよく観察して、病変の予測を立てる。

静脈高血圧症における最大の特徴はシャント肢の腫脹であり、その原因となっている病変よりも末梢側に伴うことが多い¹⁾。したがって、超音波検査を始める前に腫脹している範囲を十分に観察することで、概ね責任病変部位の推定が可能となり、効率良く検査を進めることができる。例えば前腕部および手掌が腫脹している場合は、肘部近傍の病変が疑われる。シャント肢全体が腫脹し前胸部に側副血行路の発達を認める場合は、中心静脈領域の病変が疑われる(図1)。また、乳癌手術後やペースメーカーを留置している場合も静脈高血圧症を呈しやすい²⁾。

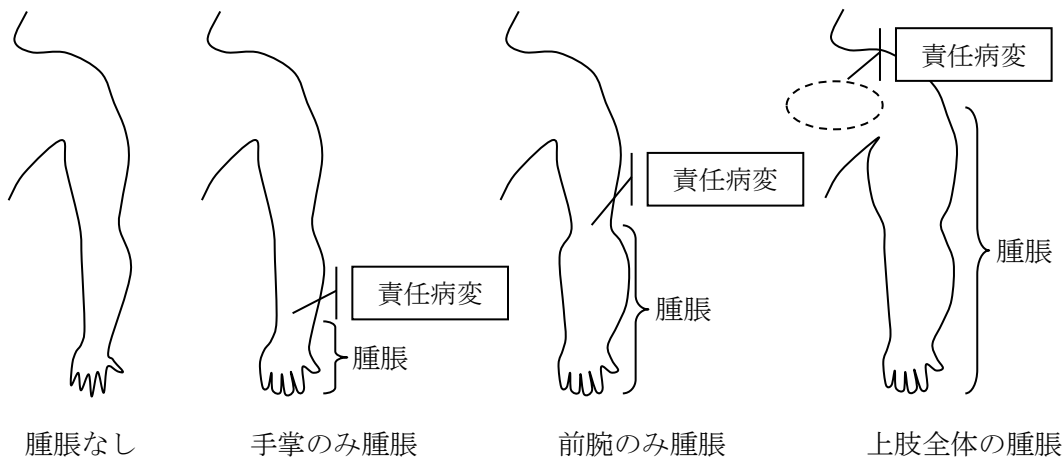


図1

9-3-2 腫脹の原因となっている狭窄や閉塞病変(直接所見)と側副血行路や逆流枝、浮腫像(間接所見)を指摘する。

シャント肢の腫脹は流出路静脈の狭窄や閉塞病変が原因となり、その結果として静脈圧が亢進し血液がうっ滞する。また腫脹している部位に一致して浮腫像を認める(図2)。責任病変部位は吻合部直上や肘部、鎖骨下静脈や腕頭静脈などの中心静脈領域(図3)まで様々である。中心静脈領域に責任病変の存在が疑われる場合は可能な範囲内で積極的に中枢側まで走査し直接所見を指摘することが望ましい。この際、セクタプローブやマイクロコンベックスプローブの使用が有効であるが、その走査には多少の熟練が必要になる。検査の限界を把握したうえで、観察できなかった部位は造影検査に委ねることも重要である。次に直接所見に伴って出現する逆流枝(図4)や発達した側副血行路の存在を確認する。高度狭窄や閉塞病変を認めるにも関わらず血流量が低下していなければ、側副血行路の存在を疑う。超音波検査では、カラードプラを用いることで血流方向の情報が得られるため、責任病変との関係から逆流する理由を考えながら検査を進めると血行動態を理解しやすい³⁾。また、直接所見が得られない場合でも間接所見を得ることで病変の存在を疑うことができる。たとえば内頸静脈の逆流は、腕頭静脈病変の存在が示唆される(図5)³⁾。狭窄病変の評価においては、真崎らは中心静脈領域に狭窄を認めない症例および相対的狭窄症例、過剰血流の症例では、流速が1m/s未満で血流速波形が2峰性を示したのに対し、腫脹を伴う症例では、流速が1m/s以上で波形も1峰性になると報告している⁴⁾。

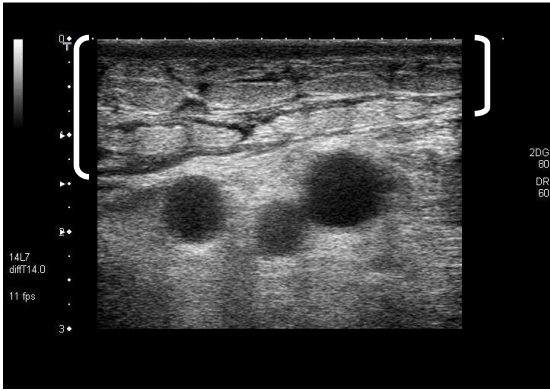


図 2. 浮腫像

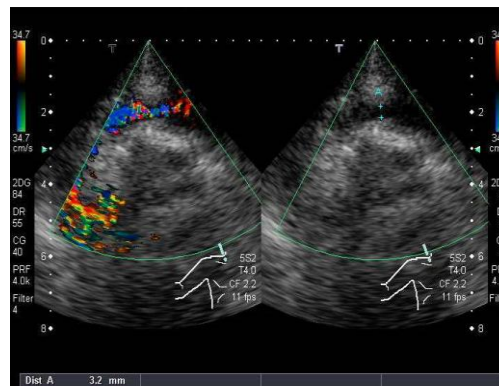


図 3. 鎖骨下静脈の狭窄

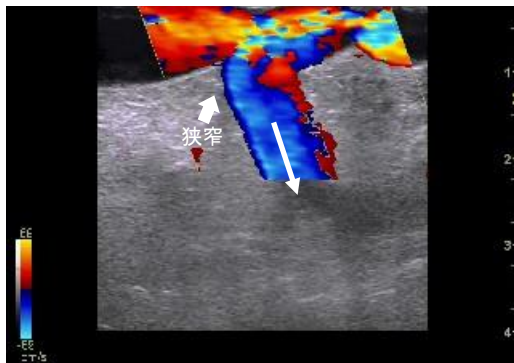


図 4. 手背枝の逆流

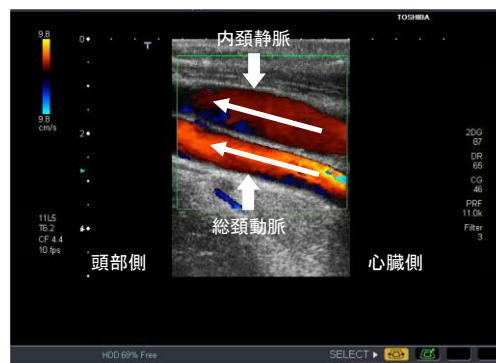


図 5. 内頸静脈の逆流

9-3-3 過剰血流が腫脹の原因となることがあるため、必ず機能評価を行う。

シャント肢が腫脹しているにも関わらず責任病変を認めない、あるいは狭窄を認めても軽度である場合は、過剰血流の要因も加わって静脈高血圧症をきたしている可能性がある。本症は側副血行路を形成していることが多く、高血流量の症例も多い。必ず超音波パルスドプラ法による上腕動脈血流量の測定を行い、血流の程度と狭窄の程度を相対的に評価することが重要である⁵⁾。

第 9 章— 3 参考文献

- 1) 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 44 (9) : 912-913, 2011
- 2) Schwab SJ, Quarles LD, Middleton JP, Cohan RH, Saeed M, Dennis VW: Hemo dialysis-associated subclavian vein stenosis. *Kidney Int* 33:1156-1159, 1998
- 3) 春口洋昭, 小林大樹: バスキュラーアクセスを知る・学ぶ-これで納得! 血管検査と腎臓との関係 静脈高血圧症をどう診るか. *Vascular Lab* 2011 vol.8 no.6 : 102-108, 2011
- 4) 真崎優樹ほか: 腋窩静脈より中枢病変 (狭窄) 観察における体表面エコーの初期経験. *腎と透析* 66 巻別冊アクセス 2009, 141-142, 2009
- 5) 春口洋昭編: 合併症の診断における超音波検査 静脈高血圧症. *バスキュラーアクセス超音波テキスト* : 160-168, 2011

第9章—4 スチール症候群

9-4-1 事前に患者背景や臨床症状、理学所見を把握したうえで超音波検査を行う。

高齢者、糖尿病、全身性エリテマトーデス、閉塞性動脈硬化症などを有する患者や高位アクセス、人工血管内シャント（Arteriovenous graft : AVG）では高頻度に発症する^{1) 2)}ため、事前に患者情報を把握しておく。理学所見においては、シャント肢における手指の冷感やしびれの有無を非シャント側と比較する。また、指の変色や潰瘍、壊死の部位を確認しておく。

9-4-2 自己血管内シャントでは吻合部より末梢側の動脈血流の状態を、人工血管内シャントでは動脈と人工血管の吻合部より末梢側の動脈血流の状態を観察する。

動脈硬化による末梢循環不全を呈する場合は、動脈狭窄の有無や石灰化の程度を観察する^{3) 4)}。

(1)自己血管内シャント

動静脈吻合部の末梢動脈がシャント静脈に流入しているかを観察する（図1）。また、手指への血流不足が示唆される末梢動脈の性状を観察する。

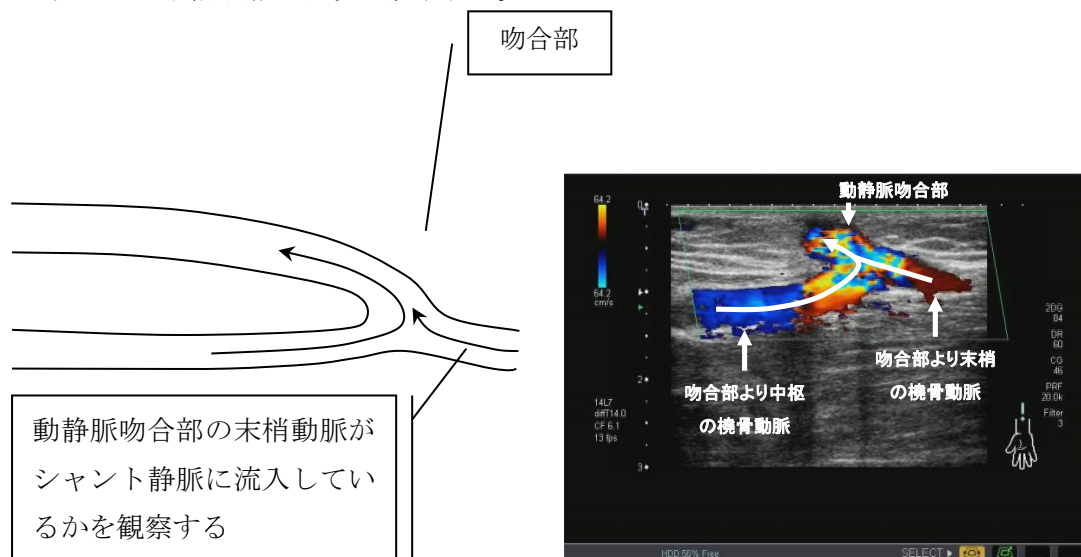


図1

(2)人工血管内シャント

前腕ループ型の人工血管内シャントにおいて、上腕動脈-人工血管吻合部では橈側反回動脈および尺側反回動脈からの血流がそれぞれ橈骨・尺骨動脈を経て上腕動脈を逆流し、人工血管内に流入する。これは末梢動脈の高度石灰化や狭小化を伴う末梢循環不全に加えて血管抵抗に低い人工血管を移植したことで、動脈側吻合部末梢の上腕動脈までもが逆流し末梢の血流量が減少した結果、手指の冷感などの症状が出現する。このような症例では、上腕動脈を逆流し人工血管内に流入する像をカラー Doppler で観察する（図2-1）。また人工血管の圧迫により血管抵抗を高くすることで、逆行性に流れていた上腕動脈の血流が順行性に変化する様子を観察する（図2-2）。

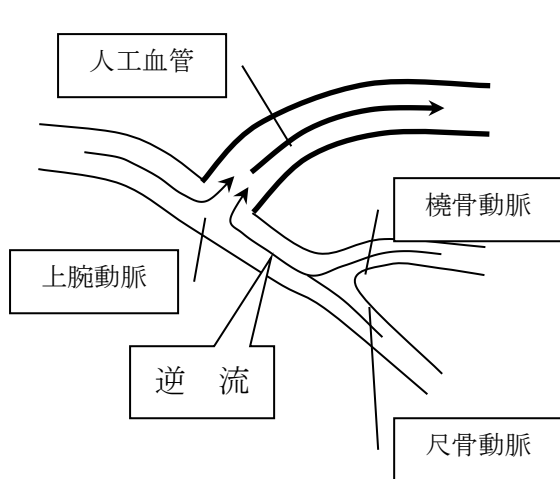


図 2-1

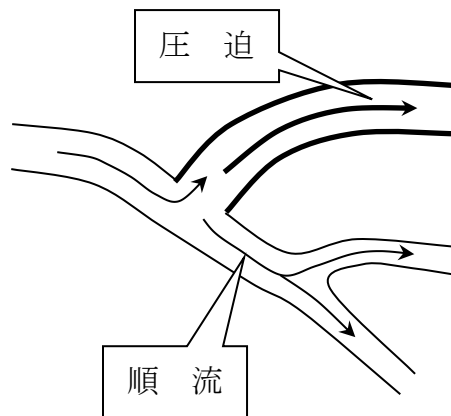
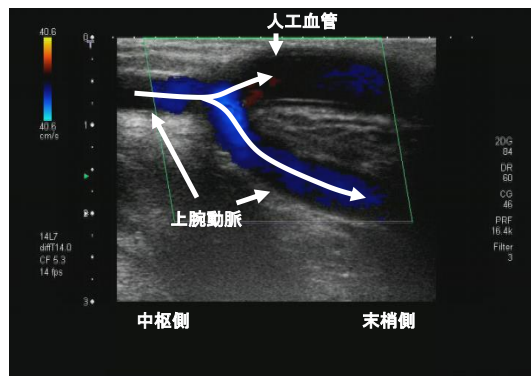
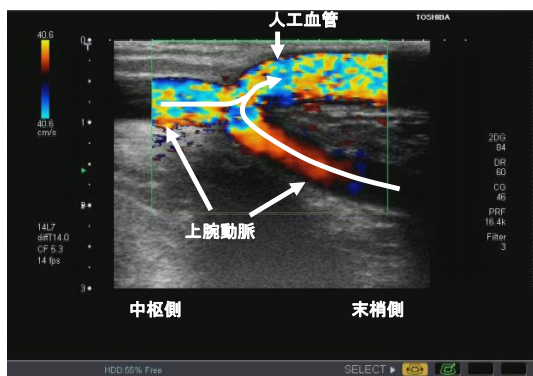


図 2-2



しかしながら、自己血管内シャント、人工血管内シャントともに、これらの血行動態を示しても本症の確定診断とはならない。超音波検査はあくまで補助的診断であり、臨床症状や理学所見を重視すべきである。

9-4-3 スチール症候群は過剰血流が原因で発症することがあるため、必ず機能評価を行い、血流の程度を評価する。

末梢動脈の状態が良好であっても、血管抵抗が低いシャント静脈であるがゆえに過剰血流となり、本来流れるべき末梢側への血流量が減少することがある⁵⁾。過剰血流の定義は未だ明確なものはないが、2000 mL/min を超える血流量の場合は、明らかに過剰であると判断される。このように過剰血流が原因となって症状を引き起こすことがあるため、必ず超音波検査では機能評価を行い、血流の程度を確認する。1000mL/min 以上の過剰血流がある場合はシャント静脈のバンディング手術が有効になるとされている^{6) 7)}。

第9章－4 参考文献

- 1) Redfern AB, Zimmerman NB: Neurologic and ischemic complications for upper extremity vascular access for dialysis. *Hand Surg Am* 20:199-204, 1995
- 2) 春口洋昭, 廣谷紗千子ほか: steal 症候群と ischemic monomelic neuropathy. *腎と透析* 50 (別冊アクセス 2001): 40-47, 2001
- 3) 春口洋昭, 小林大樹: バスキュラーアクセスを知る・学ぶ-これで納得! 血管検査と腎臓との関係 スチール症候群をどう診るか. *Vascular Lab* 2012 vol.9 no.1: 89-97, 2012
- 4) 小林大樹ほか: 静脈高血圧症・スチール症候群に迫る. *腎と透析* (71) アクセス 2011: 45-48, 2011
- 5) 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* 44 (9): 914-916, 2011
- 6) 春口洋昭編: 合併症の診断における超音波検査 スチール症候群. *バスキュラーアクセス超音波テキスト*: 194-196, 2011
- 7) 山本裕也ほか: スチール症候群に対する超音波診断装置を用いた血行動態モニタリングによる絞扼術, *腎と透析* (71) アクセス 2011: 196-200, 2011

第9章－5 瘤

9-5-1 瘤の大きさや壁厚、性状を評価する。

超音波検査を行う前に、瘤に対して視診・触診を行う。自己血管内シャントでは真性瘤が多く、人工血管内シャントでは仮性瘤が多い（図1）。瘤の内圧が高く最近急速に増大している場合や皮膚の光沢、感染兆候を認める場合は、破裂の危険性も否定できない¹⁾。超音波検査における評価を以下に示すが、瘤自体の評価は理学所見や大きさの経時的変化が最も重要視されるため超音波検査は補助的診断となる²⁾。ただし、緊満感を有する瘤に対しては今後のフォローアップが必要である。

- (1) 大きさ : 経過とともに増大の程度を把握する。
- (2) 壁の厚さ : 仮性瘤の場合、皮膚から血管前壁までの厚さを認識しておくことが重要である。
- (3) 壁の性状 : 壁に血栓を伴う症例や石灰化の沈着を認める症例では破裂の危険性は少ない。
- (4) 瘤の開口部 : 径を計測することで、手術時の有用な情報となる。
- (5) 瘤内部の血流 : カラー Doppler でその有無を確認する。

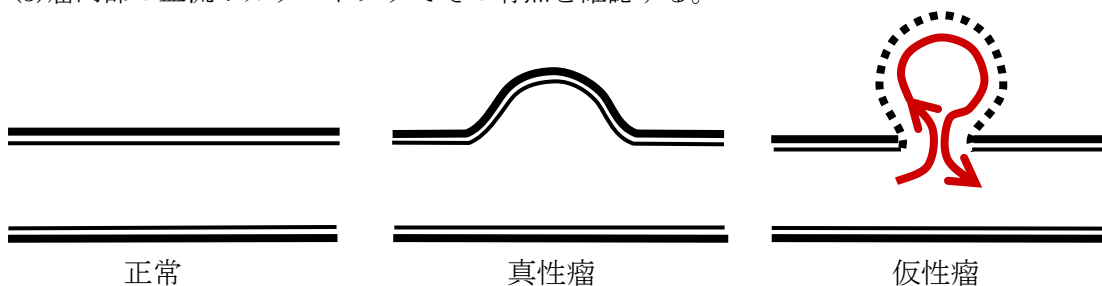


図1

9-5-2 瘤形成の原因となっている病変を検索する。

瘤の両端（中枢側あるいは末梢側）に存在する狭窄病変が増大の原因となっていることが多い。そのため参考として、他の合併症と同様に機能評価を行い血流の程度を把握する（狭窄があれば血流は低下する）。狭窄病変より末梢側の血管内圧が上昇すると瘤が形成される。一方、狭窄病変の中枢側でも狭窄後拡張として瘤が形成される（図 2）。また、肘部の瘤に対する交通枝の狭窄や吻合部瘤に対する動脈狭窄など瘤の後方に発現する狭窄病変は、シャント造影検査では診断しにくいいため、必ず超音波検査で瘤と狭窄病変の位置関係を把握しておく（図 3）。なお、瘤近傍を観察する場合は、プローブと皮膚面の間に多量のエコーゼリーを充填して走査を行う。

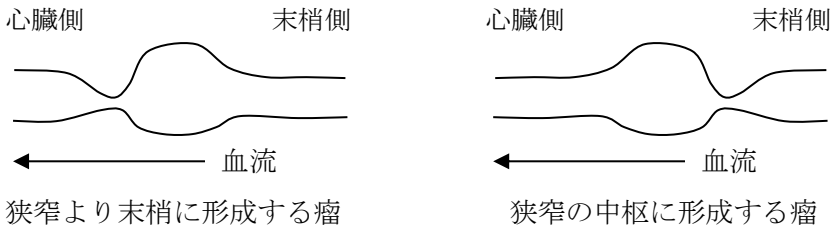


図 2

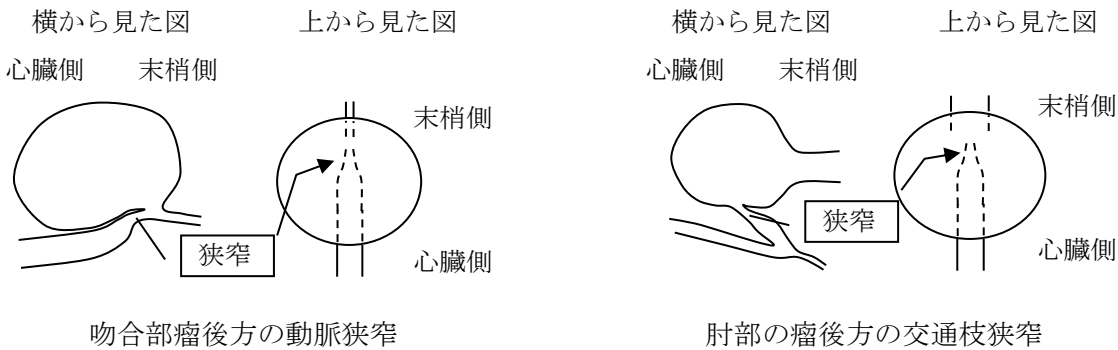


図 3

9-5-3 治療に対する情報を得ることでリスク評価や安全性も含めて、どの術式を選択するかの判断材料になる。

経皮的血管形成術（percutaneous transluminal angioplasty : PTA）の手技や外科的瘤切除術および再建術に関する術前情報をリスク評価や安全性も含めて得ることができる。そのためには検査者は各々の術式や治療手順を理解しておく。

(1) 瘤を切除する場合

吻合部瘤に流入出する動脈は瘤の背面を走行することもあり、触診のみでは分からないこともある。動脈が流入出している部位や流出路静脈、瘤内に流入するシャント静脈の分枝を超音波検査で特定し術前にマーキングしておくことで血流の遮断が確実にできる（図 4）。

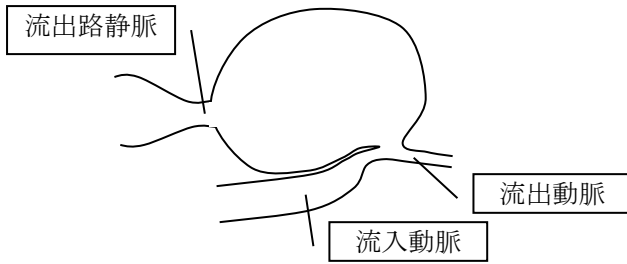


図 4

(2) 中枢側の病変が瘤増大の原因となっている場合

上記(1)において外科的瘤切除術を行う。さらに次のアクセスを作製するため、その中枢側での再建術が考えられる。中枢側の静脈狭窄・閉塞の検索や吻合が想定される部位の動静脈評価も造設術前評価と同様の基準で行う (図 5)。

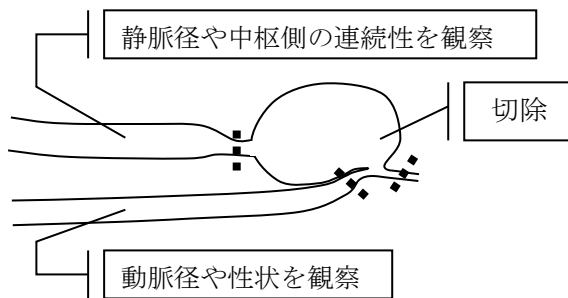


図 5

(3) 人工血管の部分置換術

瘤の両端を切離して摘出した後、その部分に新しい人工血管を移植する術式である。この場合、切離する人工血管部位に対して、内膜肥厚による狭窄や石灰化があれば縫合に難渋する。術前には瘤だけでなく、その両端に対しても詳細な観察が必要である。

(4) 瘤・狭窄パターン

PTA 手技におけるシースイントロデューサーの挿入は、血流方向に対して逆行性にアプローチするが、瘤に連続する狭窄病変 (瘤→狭窄病変) に対してはガイドワイヤーの通過に苦慮することがある。一方、順行性アプローチ (狭窄病変→瘤) であれば、容易にガイドワイヤーが通過することが予想される (図 6)。このように狭窄と瘤の関係を明確にしておくことはガイドワイヤーのアプローチ方向の決定にも役立つ³⁾。

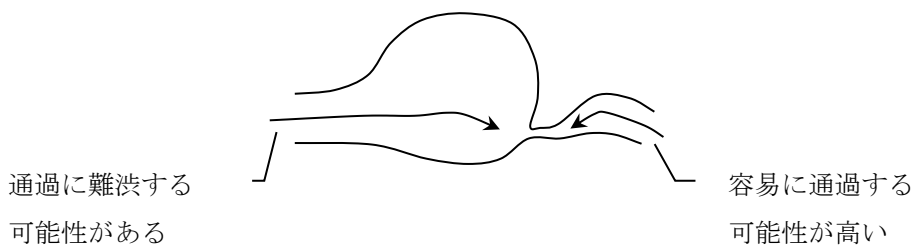


図 6

第9章—5 参考文献

- 1) 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 44 (9) : 910-911, 2011
- 2) 春口洋昭編:合併症の診断における超音波検査 瘤. バスキュラーアクセス超音波テキスト:169-179, 2011
- 3) 春口洋昭, 小林大樹:バスキュラーアクセスを知る・学ぶ-これで納得!血管検査と腎臓との関係 静脈高血圧症をどう診るか. Vascular Lab 2012 vol.9 no.3 : 98-105, 2012

第9章—6 感染

9-6-1 VA の感染は、生命に関わる重篤な合併症のひとつであることを認識しておく。

VA の感染は、時として処置が遅れると敗血症につながり、致命的となる危険な合併症である。したがって早急な診断、治療が要求される。

近年、AVF の感染例は少なく¹⁾、ほとんどが AVG の感染疑いで検査が依頼される。AVF では抗生物質の投与によって完治する場合があるが、AVG では完治しないため人工血管の抜去を余儀無くされる。発症部位として、穿刺部感染が最も多いが、穿刺していない部位でも二次的な感染が発生することもある。

9-6-2 身体所見、理学所見、血液検査データを重要視する。

超音波検査を施行する前に、以下の項目を必ず確認する。

〔身体所見〕発熱の有無や経過

〔理学所見〕発赤部の位置や範囲、排膿の有無

〔血液検査〕白血球数や CRP などの炎症マーカー

その他、抗生物質の投与状況などの情報も参考になる。

9-6-3 超音波検査では発赤部に一致して血管壁に接する限局性の低エコー域を認めた場合に感染が疑われるが、本検査のみでの確定診断はできない。

VA 感染に対する超音波検査では、発赤部に一致して血管に接する境界明瞭な限局した低エコー域(膿)の有無を確認する¹⁾(図 1)。さらに低エコー域の連続性を追跡することで、感染が波及している範囲をある程度同定できるため、外科的に人工血管を摘出する際の参考になる。しかしながら、VA 感染の確定診断は超音波検査所見のみでは判断できない。理学所見や臨床症状、血液検査データ、血液培養なども併せて総合的に診断することが重要である。

鑑別を要する病態として血清腫 (seroma) がある。この場合、e-PTFE に合併することや発赤、疼痛を認めないこと、長期的に感染兆候を認めないことである程度の鑑別はつくが、超音波画像上の鑑別はきわめて困難である。また、感染が疑われる症例に対しては発赤部に一致して圧痛を伴うこともあるため、プローブ走査に配慮する。プローブ面は直接患部に接するため二次感染を防ぐ意味でも、患部への保護シート貼付や検査毎のプローブ面のアルコール消毒なども考慮する。

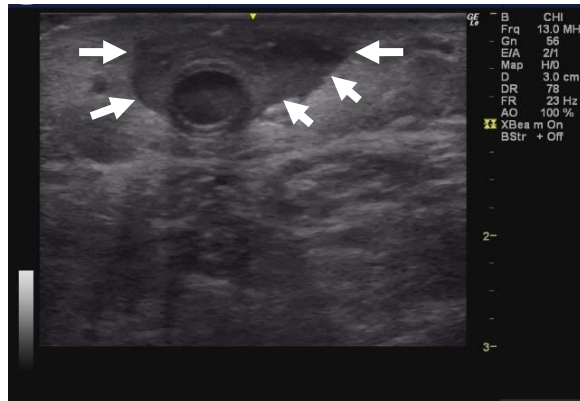


図1 グラフト感染のエコー所見

第8章—6 参考文献

- 1) 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 44 (9) : 921-924, 2011
- 2) 春口洋昭, 小林大樹 : バスキュラーアクセスを知る・学ぶ-これで納得! 血管検査と腎臓との関係 感染をどう診るか. Vascular Lab 2011 vol.9 no.4 : 60-65, 2011

3. 補遺

VA 機能は超音波検査以外で行うこともできる。ここでは、それらの機能検査の方法と位置付けについて解説する。

1. 超音波検査以外で行う機能評価の位置づけ

近年では超音波エコーの多機能化・小型化等により透析室内でも活躍の場が広がり、VA 機能不全を早期に発見する一助になっていることはいままでのない。超音波検査では形態評価はもちろんのこと、流量や RI (Resistive Index) 測定などの機能評価も可能になっている。しかし、超音波検査やその他の形態評価だけでは VA 機能を網羅的に評価することは難しい。後述するのは超音波検査では行うことのできない機能評価であり、非常に付加価値のある評価法であると思われる。

ゆえに、各施設では超音波検査による形態・機能評価とあわせて総合的に判断すべきであると考えられる。(図 1)

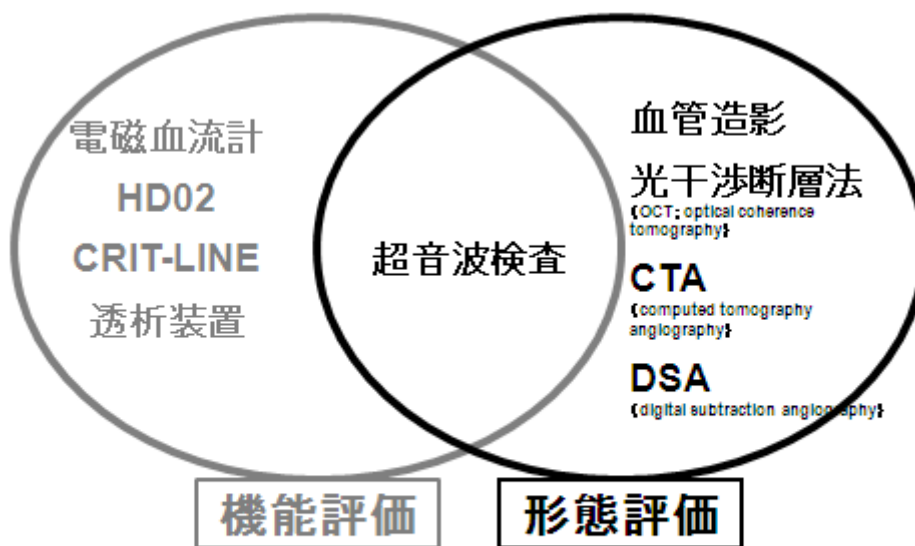


図1. さまざまな評価

2. 実血液ポンプ流量 (RQB) 測定

治療条件の1つである血液流量は、患者個々に異なる値を透析装置に設定している。しかし、様々な要因により RQB と設定血液流量の間には乖離があり、医師の指示通りの血液流量が得られていない場合がある。従来、脱血状態の確認にはピローや血液ポンプチューブなどを目視確認するという定性的評価しか行われておらず、Kt/V などの透析量算出時には装置に設定した値を代入するしかなかった。仮に RQB と設定血液流量の乖離が大きい場合には、クリアランス値や CL-Gap 値、ひいては VA 機能自体を過大評価することになるため、治療条件等の決定に影響を与えたり VA 機能不全の早期発見に至らない

恐れがある。

2004年9月に transonic 社より透析モニタ HD02 が発売されて以降、RQB 測定の有用性が多数報告されている^{1) 2) 3)}。

HD02 は超音波トランジットタイム方式により、専用のセンサーを血液回路に装着するだけで RQB がデジタル表示される。超音波トランジットタイム方式とは、血液回路内に超音波を送り、超音波伝搬速度の変化を記録して血液回路内の血流を測定する。超音波が血流方向に進む場合、超音波が血液回路および血流に乗って進むために要する時間（トランジットタイム）は、血流依存的に減少する。超音波が血液回路の血流に逆らって進む場合、超音波のトランジットタイムは血流依存的に増加する。上流方向へのトランジットタイムから下流方向へのトランジットタイムを減ずることで、流量が算出される。（図 2）

4)

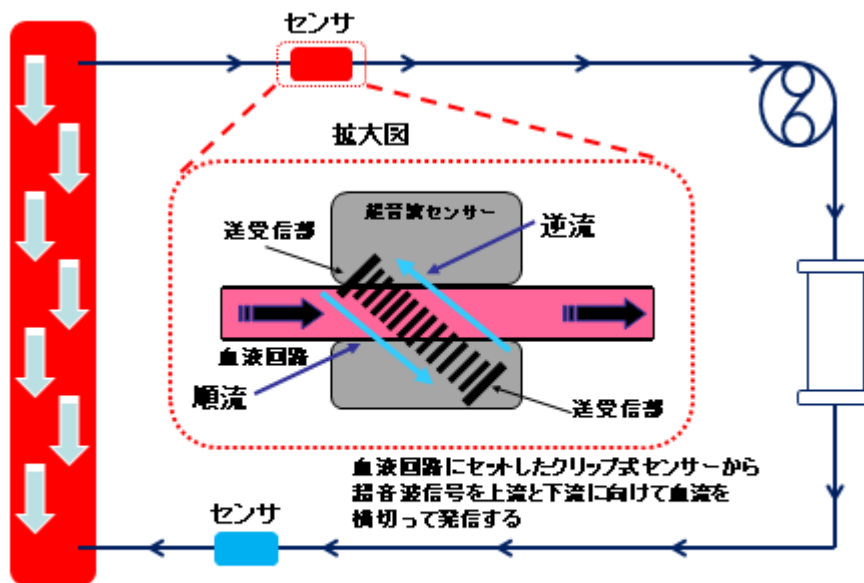


図2. 超音波トランジットタイム方式

また、治療中に得られる圧力データから RQB を測定する方法（圧力変化法）が報告されている。設定血液流量が一定であれば動脈圧と静脈圧の差も一定とあるが、血液ポンプにより発生する脱血圧が陰圧状態では RQB の減少に伴い差圧も下降する。脱血圧が陰圧状態の時に生理食塩液などを注入すると脱血圧が一時的に 0mmHg になり、血液回路内圧が上昇する。この時変化した回路内圧の比を用いると、RQB を求めることができる。この方法はどの回路内圧からでも算出可能であるが、除水の影響が少ない動脈圧から RQB を求めている。大澤らはこの方法を考案し、in vitro による基礎評価と臨床評価を行い、高い精度を有していることを報告している⁵⁾。

東レメディカル社製 TR-3000 シリーズは、装置モニタ内に RQB を表示する機能がオプションで搭載されており、リアルタイムで確認することが可能となっている。測定原理は、RQB が脱血圧に依存して変化することに注目している。血液ポンプの回転によって生じる動脈圧、静脈圧の変動を波形でとらえ、その振幅と動脈圧平均値を連続的に測定して脱血圧を算出し、それをもとに RQB を求める方法である。

山口らは HD02 と TR-3000 の RQB 測定方法を比較し、異なる測定原理ではあるが両者間に良好な相関が認められたと報告している⁶⁾。

社団法人日本透析医学会が 2011 年に改訂した「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」(以下、JSDTガイドライン)では RQB 測定に関しては触れられていない⁷⁾。しかし、RQB は治療効率に直接影響を与える非常に重要な因子であるため、定期的に測定を行い、設定血液流量に比して-10%以上の乖離が認められた場合には何らかの対処が必要と思われる。濱田らは、設定血液流量との乖離が-10%以上の患者に対して、穿刺針のゲージアップ、もしくは脱血側穿刺部位および穿刺方向の変更を行うことで、有意な改善が認められたと報告している⁸⁾。また、松田ら、深澤らは穿刺針の各ゲージが持つ脱血性能を検討し、穿刺針の適正使用により乖離が小さくなり治療効率が向上したことを報告している^{9) 10)}。

つまり、定量的な評価だけでなく、その結果を考慮して穿刺することもまた重要である。

3 再循環率 (RR) 測定

JSDTガイドラインでは、尿素法ではない希釈法、または尿素希釈法(表1)で2回以上測定し、尿素希釈法の場合には15%以上、尿素法以外の希釈法の場合には5%以上でその原因を検索する必要があると記述されている。しかし、検出感度がよくない、報告が少ない、などの理由から、可能であれば参考程度で測定するとしている⁷⁾。

- ▶ 血液透析開始後30分に限外濾過を停止して測定する。
- ▶ 動脈側(A)と静脈側(V)からサンプルを採血する。
- ▶ 採血後すぐに血流量を120mL/minに低下させる。
- ▶ 血流を下げた後10秒後に血液ポンプを停止する。
- ▶ 動脈側のサンプルポートの下流をクランプする。
- ▶ 動脈側のサンプルポートより採血する(S)。
- ▶ クランプをはずし、血液透析を再開する。
- ▶ A、V、Sの尿素窒素濃度を測定し、下式より再循環率(R)を計算する。

$$R = \frac{(S - A)}{(S - V)} \times 100$$

表1. 尿素希釈法による再循環率測定法

本邦では、尿素希釈法以外の方法として、①治療中にモニタリングしている圧力値から算出する方法、②CRIT-LINE による Hct 希釈法、③HD02 による超音波指示薬希釈法、④透析装置のオプション機能(DBG-03 による濃縮法、4008S による熱希釈法)で RR を測定・定量評価し、アクセス管理に用いた報

告がされている。

大澤らは血液回路の動脈圧と静脈圧の差圧から RR が測定可能であると報告している。血液流量、除水速度を一定条件とした場合、差圧をモニタリングするとダイアライザ内の流動状態として血液粘稠度の変化を観察することができる。血液粘稠度と Hct 値には相関関係があるため、差圧を連続測定することにより Hct 希釈法と同様に RR を測定できる¹¹⁾。さらに、大澤らは動脈圧のモニタリングのみで RR を求める方法も報告している¹²⁾。

JMS 社製体外循環用ヘマトクリットモニター CRIT-LINE では、生理食塩液の注入による Hct 値の希釈を計算して RR を測定することが可能である。まず、動脈側アクセスポートより生理食塩液を注入すると、血液希釈が生じクリットラインで希釈曲線 (SA) が検出される。次に静脈側ドリップチャンバより同様に生理食塩液を注入すると、再循環した生理食塩液により血液希釈が生じ、希釈曲線 (Sv) が検出される。この面積比により RR を算出している。(図 3) 江口らは生理食塩液の注入速度や位置、量などについて検討し、適正な条件下で測定することの重要性を報告している¹³⁾。

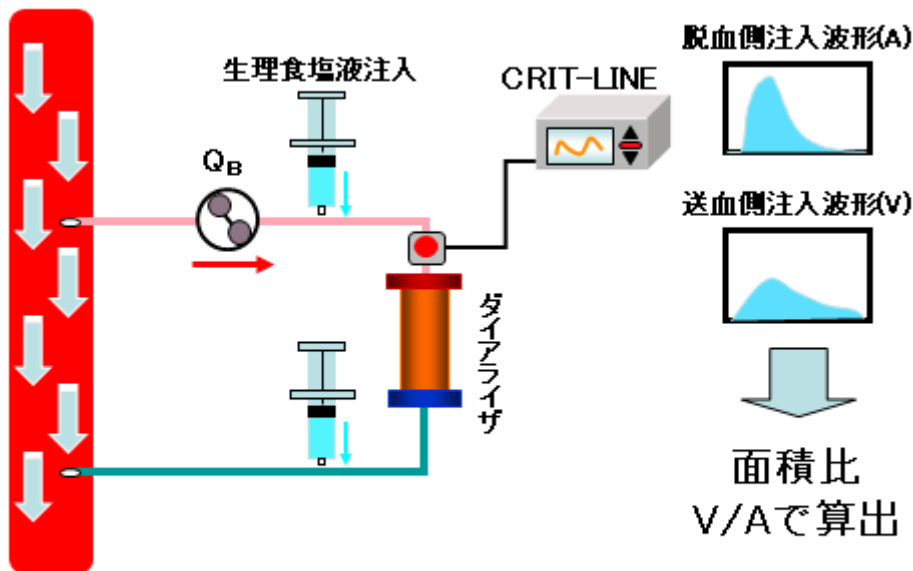


図3. CRIT-LINEによるRR測定法

HD02 では超音波指示薬希釈方式により RR を測定し、付属の PC モニタ内にデジタル表示される。再循環が発生していると、静脈チャンバから注入された指示薬 (生理食塩液) がただちに動脈側ラインに戻り、動脈側センサーによって希釈血液が検出される。Flow-QC ソフトは、検出されたデータを希釈曲線に変換する。最初の曲線は、血液が静脈側センサーを通過した際の生理食塩液希釈を示し、2 回目の曲線は血液が動脈側センサーを通過した際の生理食塩液希釈を示す。再循環は静脈側曲線下面積に対する動脈側曲線下面積の比率として算出される。HD02 が他の希釈法と異なる点は、生理食塩液による希釈注入後の温度または濃度の変化を測定するのではなく、血液が生理食塩液で希釈された際の超音波信号の速度変化を測定していることである。ちなみに、超音波は生理食塩液中を 1533m/s の速度で進むが、血

液中では 1560～1590m/s の速度で進み、蛋白質濃度が高いほど速く進む。鈴木らは in vitro による基礎評価を行い、非常に良好な測定精度を有しており、かつ再現性が高いことを報告している¹⁴⁾。

日機装社製個人用多用途透析装置 DBG-03 は BV 計（オプション）で動脈側と静脈側の血液の変化を検出することで RR を測定する。この方法は濃縮法であり、医学会ガイドラインには記載されていない。測定原理は BV 計内部の発光部から血液回路に近赤外光を照射し、血液の濃縮・希釈に応じて受光部で受ける反射光強度が変化することを利用している。実際の測定は、モニタ画面内の測定スイッチを押すとダイアライザから約 10mL の除水が自動的に行われる。それにより静脈側 BV 計にて濃縮曲線が検出され、仮に再循環があれば動脈側 BV 計でも濃縮曲線が検出される。これらの面積比より RR を算出し、モニタ画面内にデジタル表示するシステムになっている。これは他の方法とは異なり、生理食塩液の注入や専用部品を接続する必要はなく、ワンタッチで測定が可能となっている。（図 4）宮尾らは臨床評価、鈴木らは in vitro による基礎評価を行い、簡便かつ再現性の高い測定ができると報告している^{15) 16)}。

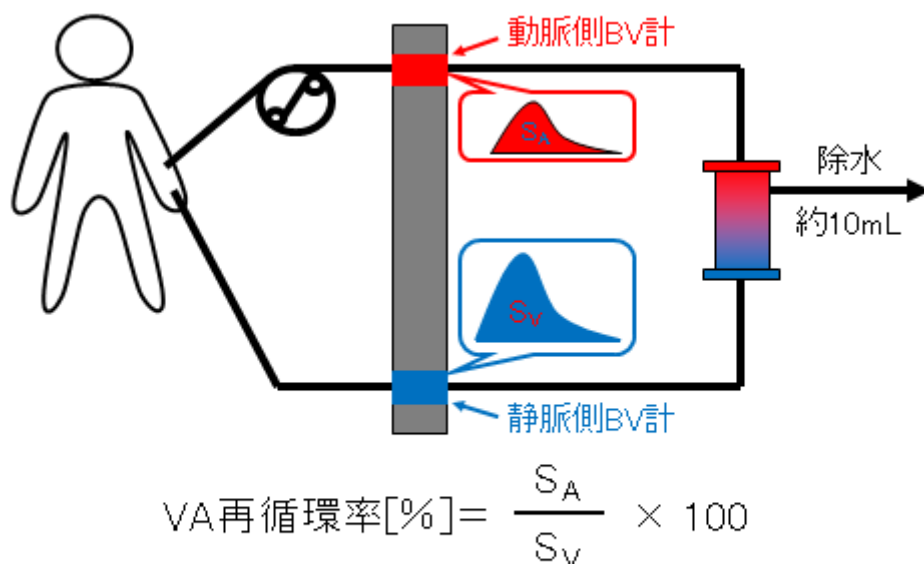
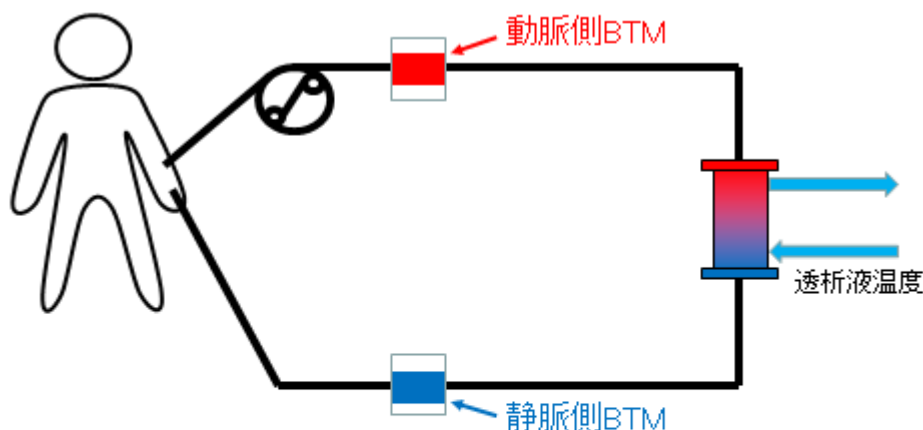


図4. DBG-03によるRR測定法

フレゼニウス社製個人用人工腎臓装置 4008S は BTM（血液温度測定モニタ）により、脱血側と返血側の血液温度の変化を検出して RR を測定する。BTM のセンサー部で測定された血液温度を基準に透析液温度を変化させ、脱血側血液温度にフィードバックできる。これにより、約 2.5 分間に渡り透析液温度を約 2.5℃低下させ、ダイアライザ内を通過する血液に低温パルスを与える。再循環が発生している場合、この低温パルスが逆流し再び脱血側に流入するため、低温パルスによって低下した脱血側血液温度をセンサーで正確に測定し、約 5～6 分後にモニタ内に RR を表示させることが可能となっている（図 5）¹⁷⁾。

尿素希釈法であれば 15%以上、もしくは①～④の方法を用いて再循環率測定を 2 回行い、5%以上の再循環が確認された場合には何らかの対処が必要と思われる。ほとんどの場合は穿刺部位の検討により改善するが、アクセス流量が著しく低下している場合には改善がみられないことも多い。澤口ら、阿部らは再循環に影響を与える因子を検討し、それらを考慮して穿刺部位を選択することにより再循環が生じな

かったと報告している^{18) 19)}。



動脈側および静脈側BTMで測定した温度と透析液温度の3点より再循環率を算出している

図5. 4008SによるRR測定法

4 圧力測定（動的・静的静脈圧）

AVG のモニタリングにおいて流出静脈の吻合部を含めた狭窄が静脈圧に影響を与えるため、体外循環中の静脈圧（動的静脈圧）の変化を基準にして狭窄が評価されている。しかし、これは穿刺針のゲージ、回路の形状および血流量に大きな影響を受けることは当然であるため、医学会ガイドラインでは体外循環を一時的に停止させて測定した静脈圧（静的静脈圧）の測定（表2）を推奨している。静的静脈圧の経時変化は動的静脈圧よりも流出静脈の狭窄の程度を正確に反映すると考えられている。

- ① 体外循環を開始し、回路内が血液に置換された時点（治療開始時）で血液ポンプを停止する。
- ② 静脈側ドリップチャンバとダイアライザの間をクランプする。
- ③ クランプ30秒後に安定した静脈圧を静的静脈圧として記録する。

表2. 静的静脈圧測定法

池田らは客観的評価のためにシャントトラブル・スコアリング (STS) を考案した。この STS は各施設に合わせた改定がなされており、絶対値に多少のバラツキが見られる^{20) 21) 22)}。

動的静脈圧の評価としては、透析用留置針 17G を AVG (返血側) に穿刺し、設定血液流量 200mL/min 時の動的静脈圧が 160mmHg 以上の場合には継続的な観察を必要とし、200mmHg 以上の場合には緊急性が高い。また、静的静脈圧の評価としては、AVG 新規作製時もしくは PTA 直後と比較して 50mmHg 以上の上昇がみられる場合には、その他の機能的評価や形態的評価など、詳細な検査が必要と思われる。

高橋らは AVG の患者を対象に静的静脈圧と動的静脈圧、収縮期血圧などとの関連性を検討している²³⁾。また、新宅らは動・静的静脈圧を測定し、AVG ではアクセス管理に有用であるが、AVF ではアクセスの形態、狭窄部位などの影響を受けやすいと報告している²⁴⁾。AVF のモニタリングでは血管の枝が多数存在するため、静脈圧が狭窄の程度を正確に反映できない。圧力測定は AVF 自体の評価にはなりにくいいため、報告が少なくモニタリング指標に用いられていない。

5 バスキュラーアクセス (VA) 流量

JSDTガイドラインにおいても超音波希釈法、超音波ドプラー法、CRIT-LINE 法、熱希釈法で定期的に VA 流量を測定し、AVF では 500mL/min 未満 (AVG では 650mL/min 未満) またはベースの血流量より 20%以上の減少が認められた場合には狭窄病変が発現している可能性があるとし、機能把握に有用との報告が記述されている。しかし、測定すべき流量は通常穿刺している血管内を流れる流量 (VA 流量) なのか上腕動脈流量なのかは結論が出ていない。測定するうえで、双方に一長一短があることが理由と思われる。

超音波ドプラー法では VA 流量、上腕動脈流量ともに測定することができ、非治療中でも可能であるため、任意の部位・タイミングで測定できる。しかし、測定者間誤差が大きいとされ、かつ測定手技の統一が難しいため、再現性に劣る。一方、その他の測定法は治療中に行うため、脱血部と返血部間の VA 流量測定になり脱血能力を直接的に反映するが、測定条件・環境が決まっているためそれに従う必要がある。つまり、穿刺部によっては測定できないため、血管の走行と穿刺部位の関係が非常に重要となる。

VA によらず、上腕動脈流量・VA 流量のいずれにしても、700~1000mL/min 程度の測定結果が得られれば、脱血不良などの治療に支障をきたすトラブルは起きないものと思われる²⁵⁾。

また、PTA は上腕動脈流量にかかわらず脱血不良 (吻合部方向に穿刺しても RQB で 200mL/min の脱血不可) がある場合と、脱血不良がなくても著明な血流低下がある場合に適応になる。このうち、上腕動脈流量が 350mL/min 以下で、かつ脱血不良がある場合は絶対適応となる。脱血不良があっても 350mL/min 以上の血流があれば、穿刺部変更で対応することも可能であるため、相対適応となる。また、脱血が良好であっても血流量 350mL/min 以下は突然閉塞する危険があるが、嚴重に経過観察することも可能であり、相対適応とする考えもある²⁶⁾。

HD02、超音波エコーによる測定は他項に譲ることとし、CRIT-LINE 法について述べる。

CRIT-LINE 法とは、脱血側と返血側の回路を故意に逆接続し、その状態で静脈チャンバーから生理食塩液を注入することで、まず再循環率を測定する。その値を①式に代入して VA 流量を算出するため、間接的に測定する方法である。しかし、CRIT-LINE III TQA は専用のセンサーを皮膚表面に固定し生理食塩液を注入することで、動静脈逆接続することなく VA 流量を測定できる。測定に使用するセンサーは波長

880nm の近赤外線発光源と光検出器より構成されており、センサー中央と測定する血管が直角になるように皮膚表面上に固定する。その際、センサーと穿刺針先端を 25mm 以上離す必要がある。センサーの固定状態が良好であれば測定可能状態になるため、生理食塩液 20mL を 3~4 秒で注入し約 23 秒後に測定結果が表示される。(図 6) 天野らは *in vitro* 実験を行い、安定した測定精度を有していることを報告している²⁷⁾。また、加藤らは臨床評価を行い、BUN3 点法と極めて高い相関が得られたと報告している²⁸⁾。ひとえに CRIT-LINE 法と言っても、機種により測定方法が異なっている。前者の方法は再循環率から VA 流量を求めているため、前述した他の再循環率測定法 (GL-3) で算出する場合と同様になる。ただし、それぞれの再循環率測定精度が異なるため、注意が必要である。横手らは再循環率から VA 流量を求める種々の方法を比較検討しており、また測定方法や条件が異なることで結果に影響を与えると報告している^{29) 30)}。

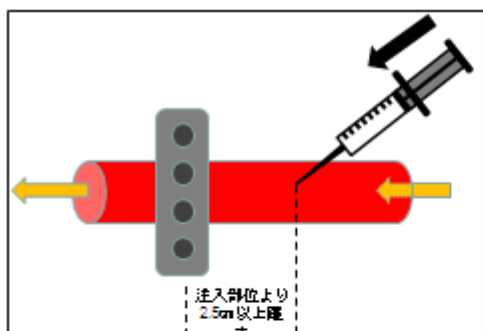


図9-a. 注入部位

- ①センサー中央が測定する血管に対して垂直になるように皮膚表面に固定する(a)
- ②Testキーを押す(b)
- ③3秒後にブザーが鳴る
- ④生理食塩液20mLを3~4秒で注入する(a)
- ⑤約23秒後に測定結果が表示される(c)



図9-b. Testキー

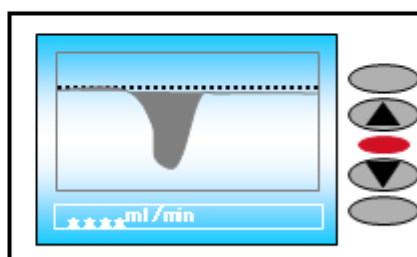


図9-c. 測定結果

図6. CRIT-LINE III TQA によるVA測定法

6 CL-Gap (クリアランスギャップ) 法

標準化透析量の指標に用いられている Kt/V は、慢性維持透析患者の長期予後規定因子であることは知られているが、各パラメータに設定値をそのまま代入しただけでは真の Kt/V を適切に評価することはできない。クリアランス算出に必要な血液流量は、透析装置に表示されている値を用いると、前述したように RQB が下回るにより過大評価する危険がある。また、治療時間や患者体液量に関しても本来であれば実測値を入力しなければならない。K/DOQI ガイドラインでも、ダイアライザのクリアランスから計算された Kt/V 処方値に対して、透析前後の採血から得られる Kt/V 実測値を比較・管理したうえで活用することを推奨しているものの、どの程度の乖離が認められた場合に問題とすべきかは言及されていない。そこで小野らにより CL-Gap 法という概念が提唱された³¹⁾。CL-Gap 法とは、採血結果より得られた Kt/V 実測値をもとに推定される有効クリアランス (eCL) と、ダイアライザ側のクリアランス理論値 (tCL) との較差を算出し、 Kt/V の質的管理を行う手法である。(図 7)

有効クリアランス; $eCL = \frac{V}{t} \times Kt/V$ (Shinzato式値)

K:尿素クリアランス(mL/min)

t:透析時間(min)

V:尿素分布容積(mL)

(体液量:Watson PE式+体重増加量)

クリアランス理論値; $tCL = \frac{1 - \exp[KoA(1/Q_B - 1/Q_D)]}{(1/Q_D) - (1/Q_B) \exp[KoA(1/Q_B - 1/Q_D)]}$

総括物質移動係数を用いて透析施行
条件下でのクリアランス値を推定する

クリアランスギャップ(CL-Gap) = $\frac{tCL - eCL}{tCL}$

図7. CL-Gap法

宮田らは PTA 既往のある患者に対して CL-Gap 法を用いて経時的な観察を行った結果、相対的な上昇が認められた時点で VA 機能のモニタリングや血管造影などの介入検査を行うことで、より早期の段階で VA 狭窄治療の介入が可能となることを報告している³²⁾。また、若山らは CL-Gap 算出に必要なパラメータにおける影響を検討しており、代入するパラメータ 1 つ 1 つを適正に導き出す必要があり、特に血液流量、治療後 BUN 値、治療時間の 3 項目が重要であったと報告している³³⁾。

つまり、いままで紹介してきたサーベイランス・モニタリングを適切に行うことで、より適正な CL-Gap の管理が可能になる。算出精度を高めたうえで、CL-Gap の絶対値 10%以上、もしくは相対的な上昇(安定期の CL-Gap 値の 5%以上)が認められる患者に対して原因検索を行う必要がある。

補遺 参考文献

- 1) 斉尾英俊：透析中のアクセス流量，循環血液量変化率，心拍出量測定システム．腎と透析 57 別冊ハイパフォーマンスメンブレン '04：8-11，2004
- 2) 小田順一：透析モニタ HD02 の測定精度の検討．腎と透析 63 別冊アクセス 2007：202-204，2007
- 3) 野口智永：HD02 の有用性—できること、できないこと．腎と透析 71 別冊アクセス 2011：36-38，2011
- 4) 小川智也：HD02 を用いた VA 管理．編集 大平整爾，バスキュラーアクセスの治療と管理，東京医学社，東京：106-114，2011
- 5) 大澤貞利：血液回路内圧力変化を用いての実血流量測定法．腎と透析 57 別冊ハイパフォーマンスメンブレン '04：165-168，2004
- 6) 山口由美子：TR-3000 に搭載された測定血液流量（実血流量）モニタリングシステムとシャント血流

の関係について. 腎と透析 63 別冊アクセス 2007 : 199-201, 2007

- 7) 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 44 (9) : 855-937, 2011
- 8) 濱田万恭子 : 定期的実血液ポンプ流量測定の有用性. 腎と透析 69 別冊アクセス 2010 : 187-189, 2010
- 9) 松田卓也 : 穿刺針による実血流量と透析効率の検討. 腎と透析 69 別冊アクセス 2010 : 252-253, 2010
- 10) 深澤宏基 : TR-3000MA の血流量測定機能を使用した、穿刺針の脱血能比較試験. 腎と透析 71 別冊アクセス 2011 : 216-218, 2011
- 11) 大澤貞利 : 動・静脈圧の差圧を用いた再循環率測定法. 腎と透析 55 別冊アクセス 2003 : 57-59, 2003
- 12) 大澤貞利 : 動脈圧モニタリングからのシャント再循環率測定の可能性について. 腎と透析 63 別冊アクセス 2007 : 197-198, 2007
- 13) 江口圭 : CRIT-LINE™III を用いたシャント流量測定における測定方法の整備. 腎と透析 55 別冊アクセス 2003 : 52-56, 2003
- 14) 鈴木雄太 : 透析モニタ HD02 を利用した再循環率測定精度の再検討. 腎と透析 65 別冊アクセス 2008 : 178-180, 2008
- 15) 宮尾眞輝 : 個人用多用途透析装置 DBG-03 に搭載されたバスキュラーアクセス再循環率測定機能の臨床評価. 腎と透析 66 別冊アクセス 2009 : 143-145, 2009
- 16) 鈴木雄太 : 日機装社製個人用多用途透析装置 DBG-03 の再循環率測定精度の検討. 腎と透析 66 別冊アクセス 2009 : 146-147, 2009
- 17) フレゼニウスメディカルケアジャパン (株) : 4008S 取扱説明書, 2004
- 18) 澤口博弥 : 内シャントの再循環に関連する因子についての検討. 腎と透析 71 別冊アクセス 2011 : 207-209, 2011
- 19) 阿部貴弥 : 内シャント形態および穿刺部位による再循環率の検討. 透析会誌 33 (7) : 1081-1086, 2000
- 20) 重野さおり : スコアリングによるバスキュラーアクセス管理の地域連携. 腎と透析 69 別冊アクセス 2010 : 23-27, 2010
- 21) 佐藤和美 : シャントトラブルスコアリングの効果. 腎と透析 69 別冊アクセス 2010 : 121-122, 2010
- 22) 土屋孝 : 当院におけるバスキュラーアクセス管理 - スコアリングシート改良を試みて -. 腎と透析 71 別冊アクセス 2011 : 231-232, 2011
- 23) 高橋淳子 : 人工血管内シャント (AVG) のモニタリングにおける静的静脈圧の有用性. 透析会誌 43 (2) : 171-176, 2010
- 24) 新宅美和子 : シャント管理における静脈圧 - 人工血管と自己血管の違い. 腎と透析 69 別冊アクセス 2010 : 180-183, 2010
- 25) 神應裕 : 過剰血流に対する治療と管理. 編集 大平整爾, バスキュラーアクセスの治療と管理, 東京医学社, 東京 : 56-74, 2011
- 26) 春口洋昭 : エコーを用いた VA 管理. 編集 大平整爾, バスキュラーアクセスの治療と管理, 東京医学社, 東京 : 84-89, 2011
- 27) 天野雄介 : CRIT-LINE III TQA によるシャント流量測定 - in vitro 実験による測定精度の検討 - .

腎と透析 57 別冊アクセス 2004 : 128-130, 2004

- 28) 加藤紀子 : CRIT-LINE III TQA を用いたシャント流量測定法 - 臨床経験 - . 腎と透析 57 別冊アクセス 2004 : 131-134, 2004
- 29) 横手卓也 : ブラッドアクセス管理を目的としたブラッドアクセス流量測定の意義とその実際. 腎と透析 61 別冊アクセス 2006 : 89-92, 2006
- 30) 横手卓也 : 各バスキュラーアクセス流量測定法の精度とその実際. 腎と透析 63 別冊アクセス 2007 : 115-119, 2007
- 31) 小野淳一 : クリアランスギャップを用いた VA 管理. 編集 大平整爾, バスキュラーアクセスの治療と管理, 東京医学社, 東京 : 98-105, 2011
- 32) 宮田誠治 : バスキュラーアクセス狭窄治療条件としてのクリアランスギャップ (CL-Gap) の有用性. 腎と透析 65 別冊アクセス 2008 : 168-171, 2008
- 33) 若山功治 : 仮想条件の設定による CL-Gap の変化から考察する CL-Gap への治療条件の影響. 日本血液浄化技術学会会誌 19 (2) : 98-100, 2011