

# 透析スタッフとVA管理、 透析室におけるVAエコーの必要性

従来、バスキュラーアクセス (VA: vascular access) の管理は理学所見の評価が中心であった。しかし近年、透析医療の現場で超音波診断装置 (エコー) をはじめとする様々なモニタリング機器やIT関連機器が急速に普及し、これらを用いた新たなVAの評価法が次々に提案されるなど、VA管理の在り方そのものが変わりつつある状況となっている。

VAの評価における理学所見の重要性は上記のような現状においても色褪せることではなく、VA管理の基本の“キ”であることはいうまでもない。しかし、これを補完する、もしくは精度を飛躍的に向上させVA管理を全体的にレベルアップさせるためには、エコーや種々のモニタリング機器を効果的に用いることが求められる時代になりつつある。また、これを確実に実行することで、自施設のVA管理のレベルが飛躍的に向上したことを感じることになるはずである。

本項では、当院におけるVA管理の現状なども紹介し、各種モニタリング機器やIT関連機器をVA管理に活用することの有用性を理解していくとともに、透析スタッフに求められる今後のVA管理の在り方についても言及する。

## 1 透析スタッフによるVA管理

従来、VAの管理は理学所見の評価が中心であった。今でもその重要性は揺るぎないものではあるが、VA管理にエコーをはじめとする様々なモニタリング機器やIT関連機器を活用することが多くなったことで、VA管理は大きく様変わりし、VAトラブルに対する考え方も“シャント閉塞後の対応（再建）”ではなく“閉塞する前に検出し対応（vascular access interventional therapy: VAIITなど）”に大きく変化している。

このような対応の変化を根底から支えているのが、臨床の現場で以下に示す各種のモニタリング法を効果的に用いてVA管理を行う透析スタッフであることはいうまでもない。

### 1) 理学所見

#### (1) 有用性と限界

毎治療時に行うことが可能な理学所見の評価は、VA管理において最も重要と考えられる。理学所見で評価する際には、常にVA異常が起きている可能性を念頭におく必要がある。理学所見の問題点は、定量的な評価ではなく、スタッフ個々の能力や経験値の差が出やすいことなどであり、これによって異常所見の見落としが起きてしまう場合もある。池田らは、理学所見を中心としたVAの評価にできるだけ客観性、定量性をもたせる方法として、シャントトラブルスコアリングシートの活用を推奨している<sup>1)</sup>。

#### (2) 基本的な評価法とコツ

理学所見の基本は“見て、聞いて、触って”評価することである。この見る（視診）、聞く（聴診）、触る（触診）は、少しの工夫で大きな成果を生み出すことも可能である。例えば、図1に示すような一般的なAVFの患者で、普通にしていると何の変化もないようにみえるシャント血管の走行が、シャント肢を挙上しただけで狭窄部よりも中枢側の隆起していた血管が瞬く間に虚脱してしまうような変化を観察することができる。また、一般に触診を行う時、多くのスタッフは指3本程度を使ってシャントのスリルを確認することが多い。しかし、これだと実際に狭窄部でスリルの変化があったとしても確実に検出することは難しくなる。そこで春口は、指1本での触診を推奨している（図2）<sup>2)</sup>。シャント吻合部から指1本で触診し、狭窄部よりも上流側での血管の硬さ、拍動

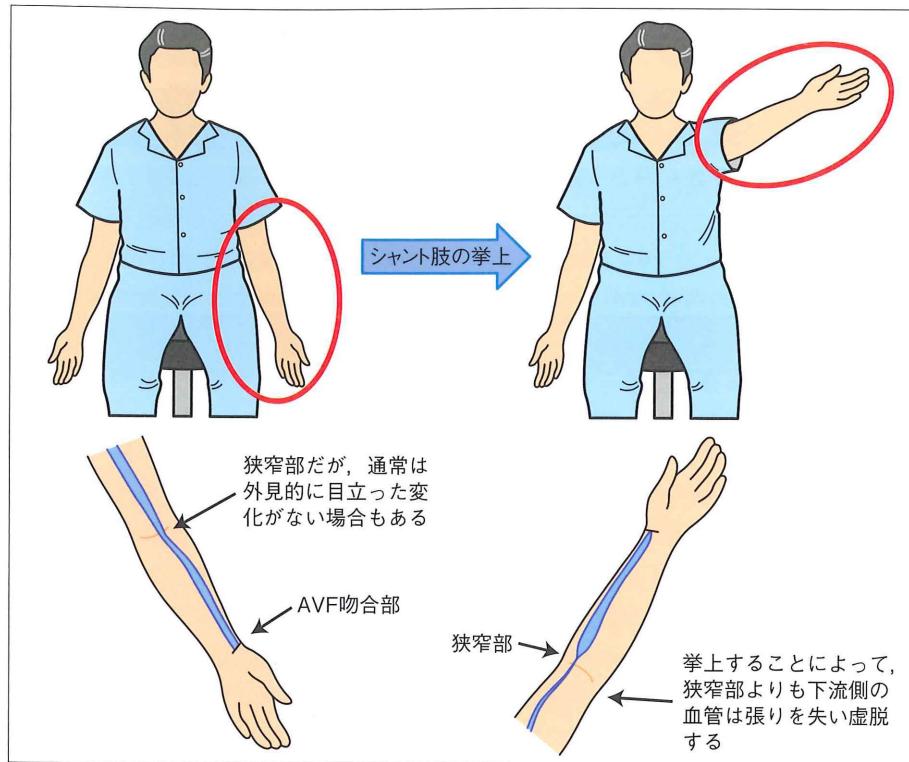


図1 シャント肢を挙上することによって狭窄部を検出する方法

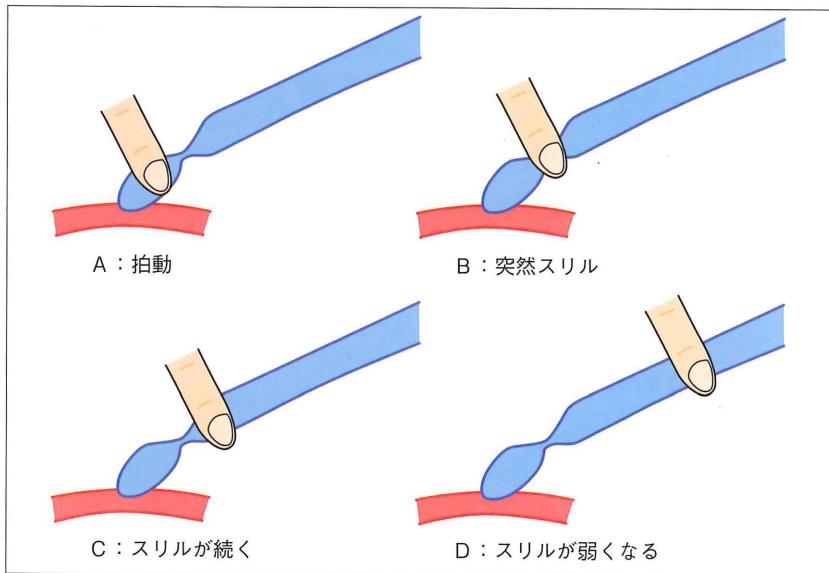


図2 指1本での触診による狭窄部の検出

性の確認、狭窄部直上で突然のスリル発生、狭窄部よりも下流側にいくにしたがいスリルが減弱することを確認する。こうすることで狭窄部の検

出感度を確実にあげることができるようになると報告している。また、聴診においても同様の工夫が可能である。本岡らは、聴診器のチェストピー

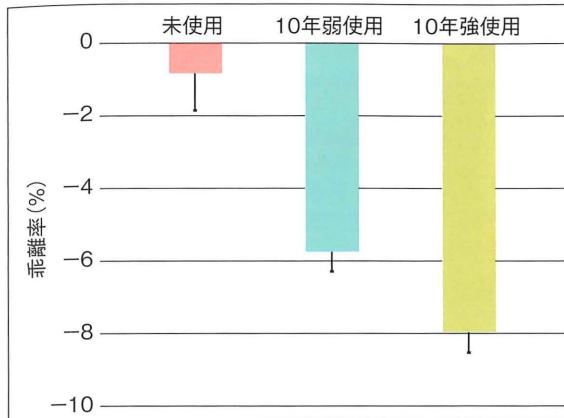


図3 プローブごとのR-QBとの乖離

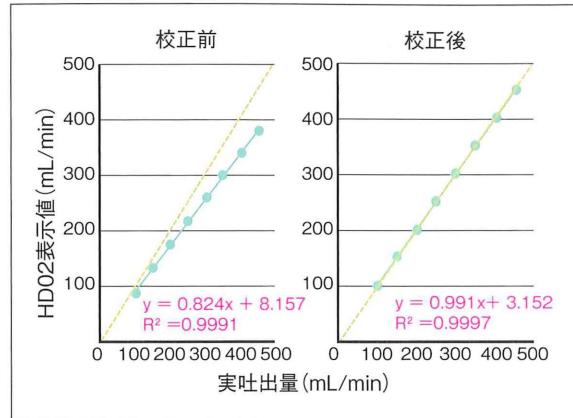


図4 実血流量の測定精度

スを取り去り、チューブの先端を皮膚に垂直に軽く密着させ血管雑音を聴取するチューブ聴診を推奨している。従来の聴診法(チェストピース聴診)では、狭窄部前後の低調性雑音の影響で狭窄部の高調性雑音を聴取しにくい場合があるのに対し、チューブ聴診では確実に高調性雑音を検出できると報告している<sup>3)</sup>。ピンポイントで狭窄部での変化をとらえるという点では、指1本での触診と非常に似た点があり興味深い。

漫然と理学所見を評価するのではなく、ここで示したように様々な工夫を加えることで、VA異常の検出感度は高くなり、その意義は大きく向上する。このことを肝に銘じて日々のVA管理に役立てていただきたい。

## 2) 実血液ポンプ流量の測定

### (1) 超音波トランジットタイム法

血液ポンプの血液吐出量(実血液ポンプ流量、R-QB)を測定(推定)する方法として、血液ピロー法、ダイアライザ入口圧振幅法、脱血圧モニタ法、超音波トランジットタイム法などがある。このなかで、R-QBを測定しているといってよい精度を有しているのは、おそらく超音波トランジットタイム法のみであり、他のモニタリング法は脱血状態の可・不可をモニタリングする方法ととらえた方が適切と筆者は考えている。ただし、超音波トランジットタイム法であっても、長期に使用することで流量表示に誤差を生じることがある。図3

に示すとおり、当院で超音波トランジットタイム法のTransonic社製透析モニタHD02を評価したところ、未使用的プローブと比較し、10年程度使用したプローブの流量表示は明らかに実流量との乖離が大きくなり、校正を行うことで正確な測定が可能になることを確認している(図4)。

### (2) HD02を用いたR-QBの測定

2008年に、当院でHD02を用いて全外来患者のR-QBを測定し、脱血状態を評価したところ、設定流量との乖離率は-7.7%であった。脱血不良の原因と考えられる穿刺針や穿刺位置の変更を行い、再度測定を行ったところ、乖離率は-4.3%まで改善した。これ以降当院では、継続的にHD02を用いたR-QBの確認を行っている。2014年に同条件で測定した乖離率は-2.4%であり、明らかな改善が認められていた。その理由として、このようなモニタリングを継続的に行うことで、穿刺を行うスタッフの意識の向上や、治療中の脱血状態の確認を行うスタッフのスキルアップが寄与していると考えられた。継続して脱血状態のモニタリングを行い、その結果をフィードバックしてきたことで、スタッフの問題意識が高まり、改善できたと考えている。

## 3) VA血流量測定

VA血流量の測定には、大きく分けて次の2種類の方法がある。

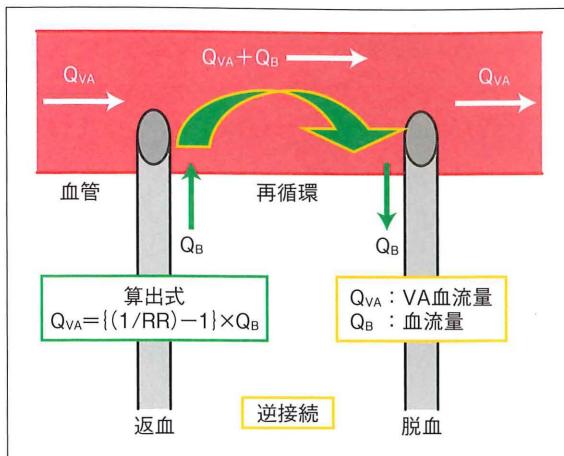


図5 VA再循環を利用したVA血流量測定法の原理

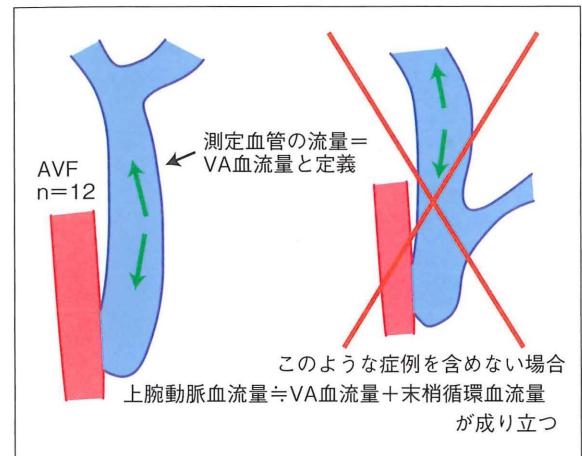


図6 BAFV と AVG や AVF でも分歧より上流で測定した VAFV の関係

(1) エコーを用いたアクセス肢の上腕動脈血流量 (brachial artery flow volume : BAFV) の測定

当院では、VA に問題のない患者で最低年1回、VA プロブレムのある患者では毎月～3カ月に1回程度、あるいは理学所見で異常が認められる場合など、透析治療前に BAFV を測定し、VA カルテの更新を行っている。これらの情報はネットワークサーバに保管され、透析室内のどの PC からでも閲覧可能な環境が整えられている。また、これらの情報はベッドサイドでも閲覧可能なよう、随時更新が行われている。

(2) 脱・返血回路逆接続時のVA再循環率から求める測定血管の流量 (vascular access flow volume : VAFV) の測定

### ① VAFV 算出法

本法による VA 血流量の算出法を図 5 に示す。

(1) で測定された BAFV は、まさにアクセス肢を灌流する血液の流量であり、VAFV とは明らかに異なるものである。しかし、図 6 に示すように、AVG (arteriovenous graft, 人工血管内シャント) や AVF (arteriovenous fistula, 自己血管内シャント) でも分岐のない 1 本道、あるいは分岐よりも吻合部に近い上流側で測定した VAFV との間には、おおむね  $BAFV \approx VAFV + \text{末梢循環血流量}$  の関係が成立する。つまり、エコーをも

たない施設でも、この方法であればVA管理にVA血流量を用いることが可能になるのである。

## ② VAFV と BAFV の比較

VA 再循環率から VAFV を求める方法として、HD02 法、BV 計法（日機装社製の Blood Volume 計を用いた測定法）、CRIT-LINE 法、尿素希釈法などがあるが、CRIT-LINE については製造・販売が中止となったこと、尿素希釈法についてはリアルタイムのデータが得られないこと、測定精度に問題があることなどから当院では実施していないため、ここでは HD02 法と BV 計法の VAFV の測定データと BAFV を比較した結果を示す（図 7）。図 7 をみて明らかなどおり、HD02 法では直線の傾きが 1 に近く、BV 計法よりも測定精度が高いことがわかる。さらに、HD02 法では直線回帰式の y 切片が 101mL/min となっており、アクセス血管以外に流れる末梢循環の流量として非常に適切な値となっているのも特筆できる。

#### 4) 静脈圧の測定

静脈圧の測定は、特別な医療機器を必要としない最も基本的なVAモニタリングの手法である。一般にAVFでは、血管の分岐などの関係から、狭窄などのVAトラブルを必ずしも静脈圧測定で検出できるわけではないが、AVGでは、流出路静脈もしくは中枢側の静脈、人工血管内狭窄がほ

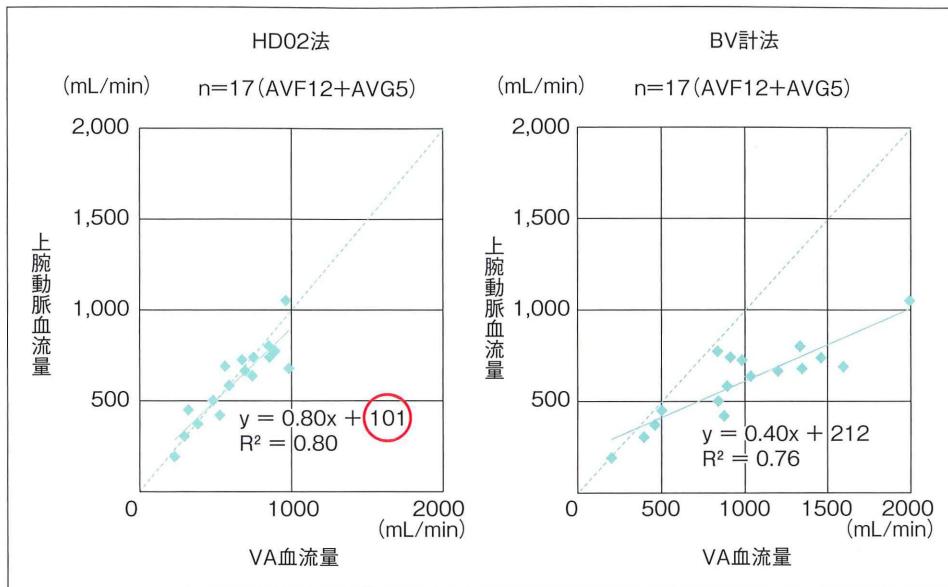


図7 上腕動脈血流量とHD02法およびBV計法によるVA血流量の関係  
測定対象患者：AVF 12例（分岐なし），AVG 5例（ループグラフト）。

とんどであるため、静脈圧変化として狭窄を検出できる場合が多く、AVGは静脈圧測定によるモニタリングの最もよい適応と考えられる。最近では透析支援システムの普及により、毎治療時の静脈圧測定データが自動的に保存される場合も多く、他の圧力データとともに有効活用の方法を積極的に検討すべきモニタリング法でもある。静脈圧には動的静脈圧と静的静脈圧があり、圧力変化の原因、測定結果の解釈などはそれぞれ異なる。

### （1）動的静脈圧

#### 【動的静脈圧の変化を規定する要因】

透析治療中、透析装置でモニタリングされている静脈圧が動的静脈圧である。動的静脈圧の変化を規定する主な要因は4つに大別することができる。

- ①血流量や血液の濃さ（粘度）などによる変化
- ②体外循環回路の凝固などによる変化
- ③狭窄や閉塞、静脈弁の存在などVA血管そのものに起因する変化
- ④穿刺針の太さ・形状や穿刺針の留置部位などに起因する変化

①については、血流量（血液ポンプの吐出量）が多ければ、あるいはヘマトクリットや血漿蛋白

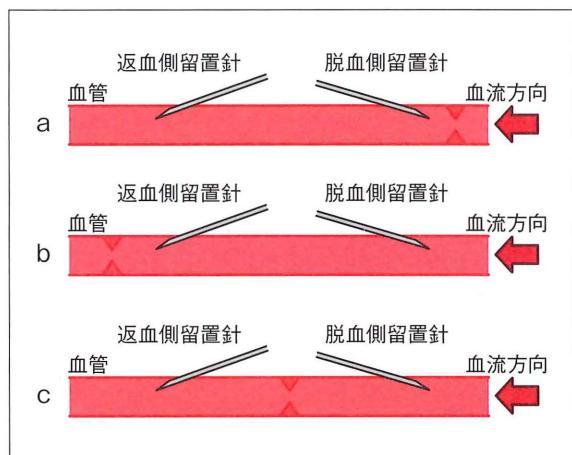


図8 狹窄と穿刺位置による圧変動

濃度が高ければ相対的に動的静脈圧は高くなりやすく、②については、静脈圧の測定ポイントよりも上流側の凝固では動的静脈圧は不变、もしくは低くなり、下流側の凝固では上昇するといったことだが、VA管理の面で問題となるのは③と④の場合が多いので、これについて少し詳しく解説する。

#### 【狭窄、穿刺の位置と動的静脈圧の関係】

図8に、VA血管の狭窄と穿刺針との位置関係

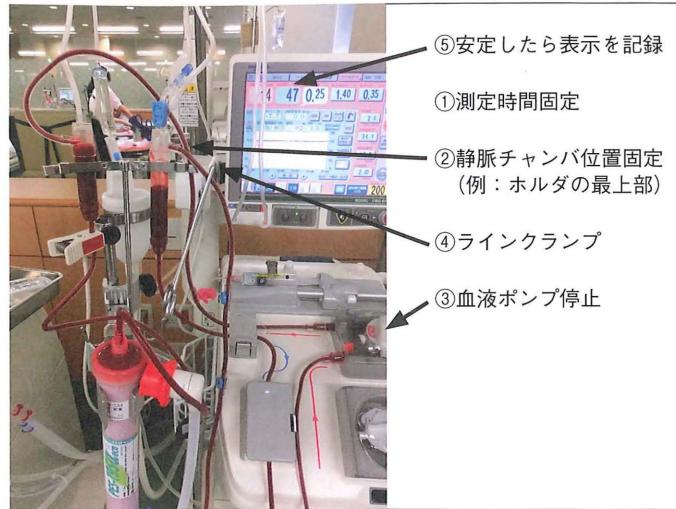


図9 静的静脈圧測定法

を示す。この時、それぞれの動的静脈圧の変動を考えてみると、図8aに示すように、穿刺部より上流側に狭窄がある場合には、穿刺部の血管内圧が減少し、脱血不良や動的静脈圧の低下が発生しやすくなる。図8bに示すように、穿刺部より下流側に狭窄がある場合には、穿刺部の血管内圧が増大することにより、動的静脈圧が上昇する。図8a, bともにVA血流量の低下が高度であれば、再循環が発生する可能性は高まる。図8cのように両穿刺部間に狭窄がある場合には、狭窄よりも上流側の圧力が増大し、下流側の圧力は低下する。したがって、脱血不良や再循環、動的静脈圧の異常などの不具合はまったく起きず、狭窄の存在に気づかない場合が最も多いパターンであり、前回まで何の問題もなく治療が行われていたが突然VA閉塞が起きてしまったような症例のなかには、図8cの状態で日常的に治療が行われていたものが比較的多く含まれるものと考えられる。

## (2) 静的静脈圧

静的静脈圧はおおむね以下の条件を満たし、測定された静脈圧である（図9）。

①治療開始1時間以内など測定時間がある程度固定

②静脈チャンバの位置をホルダの最上部など、常に同じ位置に固定

③血液ポンプ停止

④ダイアライザ出口ラインをクランプ  
⑤クランプ後、装置の静脈圧表示が安定したところを静的静脈圧とする  
本法で測定された静的静脈圧は、血流量、穿刺針、血液回路の形状などの影響を受けないため、Dialysis Outcomes Quality Initiatives (DOQI), Canadian Society of Nephrology (CSN), Vascular Access Society (VAS) のガイドラインでは本法による評価が推奨されている。

## 5) VA再循環率測定

VA再循環率の測定法には、HD02法、BV計法、CRIT-LINE法、尿素希釈法などがあるが、前述した理由により、当院ではHD02法、BV計法を採用している。

実際の運用は、日機装社製透析支援システムの設定により、透析装置付属のBV計を使用し、全患者、毎回の治療開始10分後にVA再循環率(VA-RR)を自動でスクリーニング測定している。このVA-RR測定値が5%以上であった場合には、スタッフ付き添いのものと患者の体動などを制御し、手動で再検査する。再検査でも5%以上であった場合には、HD02法により確定診断を行う。なお、HD02法を確定診断に用いる理由は、BV計法では様々な理由により再循環偽陽性が発生すること<sup>4)</sup>と、前述したとおり、HD02法についても

有効クリアランス値 (eCL)	$K = \text{クリアランス}$
$K = V/t \times (Kt/V)$	$t = \text{透析時間}$
(Shinzato 式)	$V = \text{体液量 (Watson 式)}$
クリアランス理論値 (tCL)	
$tCL = \frac{1 - \exp [KoA (1/QB - 1/QD)]}{(1/QD - 1/QB) \exp [KoA (1/QB - 1/QD)]}$	
尿素の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	
$\text{クリアランスギャップ (CL-Gap)} = \frac{tCL - eCL}{tCL} \times 100 \%$	

図 10 CL-Gap の算出式

基礎的実験においても臨床データでも高い測定精度を有していることが確認されているからである。確定診断でVA再循環が認められた場合には、エコーなどを用いてVA再循環発生の原因追及と対処法の検討を行っている。

これまで発見されたVA再循環の原因は、VA血流量の低下、返血側静脈の中枢側狭窄など、VAそのものに問題があったもの他に、ループグラフトの逆接続や穿刺位置・方向の間違いなどの単純ミスといった穿刺者や介助者に原因があったものなど様々であった。

このシステムにより、VA再循環の自動測定を開始して4年ほどが経過するが、その間に多くのVAトラブルを検出し、そのたび最善と考えられる対処を行ってきた。結果として、当院のVA管理は飛躍的に向上したと実感している。

## 6) クリアランスギャップ

クリアランスギャップ (CL-Gap) とは、定期採血時の血中尿素窒素 (BUN) のデータをもとに算出される透析量の質的管理法である<sup>5)</sup>。図10に示すとおり、クリアランス理論値 (tCL) は総括物質移動係数を用いて、その患者の治療条件下における尿素 CL を算出し、有効クリアランス値 (eCL) は Kt/V から求める。治療条件が変わらなければ、tCL は不変の要素となり、CL-Gap は eCL によって変化することとなる。例えば、脱血不良や VA 再循環が起り、eCL が低下した

場合は CL-Gap が上昇する。また、尿素の体内不均一除去などがあると 1-compartment model (コンパートメントモデル) の挙動から大きく外れ Kt/V が過大評価されることになるため、eCL が見かけ上上昇し、CL-Gap は低下する。

脱血不良は臨床で比較的検出しやすいエラーだが、VA 再循環はこれに特化した検査 (測定) を行わないかぎり、その検出は非常に困難である。CL-Gap を提案した小野らは、VA 再循環のスクリーニングに CL-Gap を用いた場合、cut off point 10% にて、感度 42.9%，特異度 94.9%，正確度 93.3% ときわめて高い特異度を有していると報告している。

## 7) 超音波診断装置 (エコー)

VA の評価にエコーを用いる目的は、大きく形態学的評価と機能的・動態的評価の2つに分類できる。一般に形態学的評価には B モード断層像、機能的・動態的評価にはパルスドプラ法、血流イメージング法などが用いられる。

評価項目は上腕動脈血流量、RI (resistance index, 抵抗指数)、PI (pulsatility index, 拍動係数) などであり、山本らの報告では、上腕動脈血流量の cut off point 350mL/min で感度 87.7%，特異度 91.4% で脱血不良群を判別可能<sup>6)</sup>、村上らの報告では、RI の cut off point 0.6 で感度 100%，特異度 69.4% で AVF 不全群を検出可能としている<sup>7)</sup>。

当院では、すでに紹介した VA 血流量測定や穿刺針の位置確認などの他にエコーチャンネル下穿刺や VA マップ (カルテ) の作製を行っているが、エコーを用いた VA 管理の詳細については他の章に譲ることとする。

## 2 透析室における超音波診断装置の必要性

### 1) 臨床工学技士会のアンケートから

(公社) 日本臨床工学技士会の統計調査委員会では「臨床工学技士に関する実態調査施設アンケート」を実施している。2013年の調査結果から、

問5. バスキュラーアクセスの穿刺、もしくは管理に超音波診断装置を利用していますか？

No.	カテゴリー名	n	%
1	はい	914	49.2%
2	いいえ	944	50.8%
	合計	1,858	100.0%

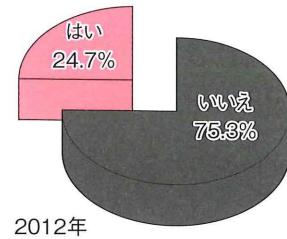
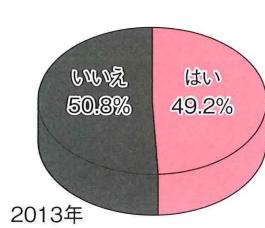


図11 VA 管理にエコーを用いている施設の割合 文献9) より

エコーに関するアンケートの抜粋を図11に示す<sup>8)</sup>。

VA管理にエコーを用いている施設の割合は2012年24.7%であり、2013年は49.2%となっている。わずか1年程度の間に、VA管理にエコーを用いている施設は倍増していることがわかる。また、調査対象の母集団が異なるので厳密な比較はできないが、2010年の同様の調査ではエコーの普及率はわずか13.2%にとどまっていたことを考慮すると、まさに爆発的な普及速度であることが伺える。このことから、透析医療を提供する治療の現場において、エコーは必須の医療機器になりつつあると断言できる。

## 2) 透析室におけるエコー普及の理由

なぜ、ここまで急速にエコーが普及したのか？その謎を解くキーワードは以下の2点と考えている。

①VAトラブル予防：以前はシャント閉塞から再建がスタンダードだったVAトラブルへの対応が、現在ではシャント狭窄など閉塞の原因となりそうなトラブルを事前に検出し、VAIVTなど比較的侵襲の低い方法でVA寿命を延長させるという考え方が浸透してきたことで、閉塞に至る前のVAトラブルを事前に検出するためには、理

学所見のみでの管理には限界があり、エコーを用いたVAの機能評価、形態評価が非常に有効であるという認識が高まった。

②穿刺困難症例に対するエコーガイド下穿刺：穿刺困難な患者に対して、エコーガイド下穿刺が非常に有用であるという認識が高まっている。穿刺困難は患者にとって非常につらいことであり、透析治療を前向きに受け止め、積極的な透析ライフを送るための大きな妨げになっていることはいうまでもない。そして、対応するスタッフにとても大きなストレスとなるのは見逃すことのできない事実である。しかし、エコーガイド下穿刺の普及は、この状況を大きく一変させる可能性があり、トレーニングを十分に積んだスタッフが揃っている施設においては、穿刺困難患者はほぼ存在しなくなると考えてよく、穿刺困難患者にとって、そして対応する医療スタッフにとって、まさに“Happy”以外の言葉が思い浮かばない。それほど画期的な技術であり、逆説的には、エコーガイド下穿刺の環境が整備できない施設の患者やスタッフは“Unhappy”と考えざるをえないものである。

エコーによるVA評価や実血液ポンプ流量測定、VA再循環率測定などのモニタリング機器を

用いたVA管理を実際に行ってみると、その絶大な効果に驚き、自施設のVA管理が数段階レベルアップしたことを実感することになる。エコーなどのモニタリング機器をフル活用することで、より安心で安全、適切な透析医療の提供が可能になると理解できるはずであり、何の進歩なく、従来どおりのVA管理を行ってその有用性に気づけないことは、その施設の医療スタッフと治療を受けている患者にとって非常に“Unhappy”なことだといわざるをえない。

(公社)日本臨床工学技士会のアンケート調査では、すでに約5割の施設でエコーが活用されており、今後はさらに加速的に普及することが予測できる現状において、透析治療の現場にいる医療スタッフが、エコーなどのモニタリング機器の操作を確実にマスターして、必要な時に役立てる環境を作ることが最も重要であり、それこそが、本当に質の高い医療を提供することにつながるものと考えている。

#### 参考文献

- 1) 池田 潔：インターベンション治療—適応範囲と新しい器材・技術の発展—. 臨牀透析, **21** : 1607 ~ 1611, 2005.
- 2) 春口洋昭：VA トラブルにおけるエコーの活用. バ

スキュラーアクセス管理研修会テキスト, 58 ~ 72, 2016.

- 3) 本岡 精, 上原和彦, 河崎正直, 他：バスキュラーアクセス聴診法の工夫 チューブ聴診. 透析会誌, **40** (10) : 841 ~ 849, 2007.
- 4) 村上 淳, 鈴木雄太, 若山功治, 他：日機装社製透析装置DBG-03に搭載された循環血流量(BV)モニターを用いた、バスキュラーアクセス再循環スクリーニングの有用性と問題点. 日本血液浄化技術学会会誌, **22** (3) : 203 ~ 213, 2014.
- 5) 小野淳一, 宮田誠治, 斎木豊徳：クリアランスから計算された標準化透析量 異論・争論 実測値をもとに得られる推定値と理論値の較差の検討. *Clinical Engineering*, **18** (2) : 154 ~ 160, 2007.
- 6) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, 他：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, **45** (11) : 1021 ~ 1026, 2012.
- 7) 村上康一, 猪又扶美, 奈良起代子, 他：シャント管理における超音波パルスドッpler法の有用性について. 腎と透析, **55** (別冊 アクセス 2003) : 39 ~ 43, 2003.
- 8) 公益社団法人日本臨床工学技士会統計調査委員会：臨床工学技士に関する実態調査施設アンケート. 日臨工会誌, **52** : 9 ~ 41, 2014.
- 9) 公益社団法人日本臨床工学技士会バスキュラーアクセス管理委員会：臨床工学技士のためのバスキュラーアクセス日常管理指針. 2016.

(村上 淳)