

体液管理におけるHD02の有用性

ニプロ株式会社 医療器械開発営業部
斎尾 英俊

キーワード：透析モニター HD02, 実血液流量, 再循環率, アクセス流量,
心拍出量, バスキュラーアクセス

連絡先 斎尾 英俊
〒531-0072 大阪市北区豊崎3-3-13
TEL:06-6373-0519 FAX:06-6373-1581

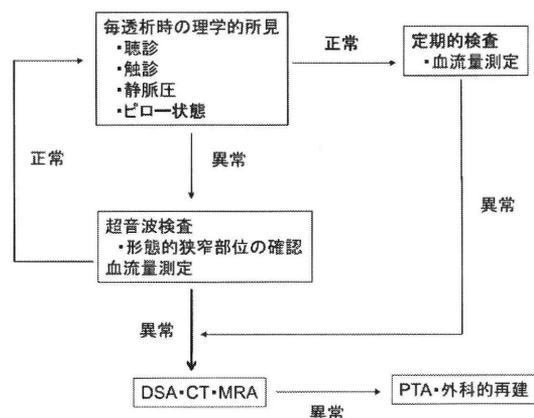
1. はじめに

vascular access (VA) に関連する合併症としては、血流量不足や狭窄、血栓形成、穿刺部の感染症、瘤形成、静脈高血圧、スチール症候群、血流量過剰、血液再循環、穿刺困難および穿刺部限局など様々なものが挙げられる。従来はVA機能不全に陥った場合に外科的な処置が施行されており、患者の負担を考慮してギリギリまで外科的な修復を待つ傾向があった¹⁾。しかしインターベンション治療の発展に伴って早期に軽微な負担でVA機能を改善する事が出来るようになってきた。そのためには定期的なVA機能のモニタリングとサーベイランスを行うことが重要であるといえる。

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²⁾ではVAの日常管理として、(1)穿刺法、(2)感染予防、(3)VA機能のサーベイランス、(4)心機能とアクセス、(5)カテーテルの管理、(6)患者教育の6つ項目について記載されている。この中でも(3) VA機能のサーベイランスに注目すると「VA機能をモニターする確かなプログラムを確立することを推奨する。」としており、穿刺や止血の状況によって日々機能が変化するVA機能を継続して評価することの重要性について記載されている。具体

的なモニタリング方法としてはシャントスリルなどの聴診、シャント肢の触診、静脈圧の測定、止血時間の延長などの理学的所見が挙げられている。また、これらのモニタリングに加え超音波検査による形態的狭窄部位の確認や血流量測定などのサーベイランスを行うことも一つの方法であるとされている(図1)。サーベイランスとしてarteriovenous fistula(AVF)およびarteriovenous graft(AVG)の血流量測定も推奨されており、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%以上の減少は狭窄病変が発現している可能性があると考え

図1 VA機能モニタリング・サーベイランスのフロー図



ている。しかし、測定によるバラツキと経時的な変化が重要であると考えられることから、本ガイドラインではVAの血流量とその変化率を用いてVA機能を評価することが推奨されている。

前述の(4)心機能とアクセスでは、「動静脈を短絡するVA (AVF, AVG) は心機能に影響を及ぼす。VAの動静脈短絡量が心機能(心予備能)に比べて過剰である場合、心不全症状が出現する事を認識するべきである。」、「AVF, AVGを有する透析患者では、血液透析のたびまたは、心不全の可能性を疑わせる自覚症状のある場合は、患者の心機能に比べてVAの血流が相対的に過剰でないと確認することを推奨する。」と記載されている。現在VAとして最も多用されるAVF、次いで多いAVGはいずれも動脈と静脈を短絡して作製するため、非生理的なVAの作製が心機能に影響を与える事が知られている。アクセス血流が心拍出量に対して大きい場合、心機能がアクセス流量の増加に耐えきれず、全身循環が阻害される心不全が発症する可能性もある。これは、2010年度の透析患者の死亡原因として心不全が高い割合を占める³⁾ことから、アクセス流量が心機能に対して何らかの影響を及ぼしていることが推測される。これらのことをふまえ、VA機能の評価を行う際には心拍出量も併せて評価する必要がある。

2. 透析モニター HD02の測定可能項目

当社で取り扱っている透析モニター HD02では、(1)実血液流量、(2)アクセス再循環率、(3)アクセス流量、(4)心拍出量どの項目を透析中に測定する事が可能であり、透析効率、VA機能の評価、循環動態などを評価する際の指標になる。

(1) 実血液流量

血液ポンプの設定流量に対して必ずしもその通りに血液が流れていないことはよく知られており、一般的に透析治療中の脱血状況はピローの張り具合や血液回路のしゃくり具合などによって確認されている。透析モニター HD02では血液回路内を流れる実血液流

量を測定する事で、脱血不良を客観的に評価することが可能である。脱血不良が起こる要因として、設定血流量に対して穿刺針のサイズが細い場合やVAを流れるアクセス流量の減少、血管壁への穿刺針の接触、血液回路の折れや詰まりなどが考えられ、脱血不良が起こると透析効率が低下し目標とする治療結果が十分に得られない可能性がある。脱血不良による設定血流量との乖離が軽微であれば臨床的な影響は小さいかもしれないが、日々透析治療を続けなければならない状況を鑑みれば積極的に脱血不良は改善していくべきである。

(2) アクセス再循環率

通常、ダイアライザ等によって透析された血液は返血され身体の中枢側へ流れていくが、返血側での狭窄や閉塞などにより返血された血液が中枢側へ流れていく前にもう一度脱血部より脱血されていくことがある。この現象をアクセス再循環と言いい、その再度脱血される血流量の割合をアクセス再循環率と言う。アクセス再循環が起こる原因としてはVA狭窄や閉塞、穿刺部位が不適切、血液回路の誤接続などが挙げられる。アクセス再循環が起こると透析効率が低下するだけでなく、ダイアライザとVAで透析された血液の一部が循環することによって老廃物の体内不均一除去が起こり、治療結果を過大評価してしまうといった危険性がある。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²⁾では、「(中略) 2回以上の再循環率の測定で、尿素希釈法を用いた場合は15%以上、尿素法以外の希釈法を用いた場合は5%以上であればその原因を検索する必要がある。」と記載されており、原則としてアクセス再循環は起こらないようにすべきとされている。

(3) アクセス流量

透析モニター HD02により測定可能なアクセス流量とは、脱血側穿刺部へ流入する血流量を指す。VAに狭窄や閉塞が存在する場合アクセス流量は減少し、VAが発達するとアクセス流量は増加する。アクセス流量が減少すると脱血不良が起こる可能性が高くなるだ

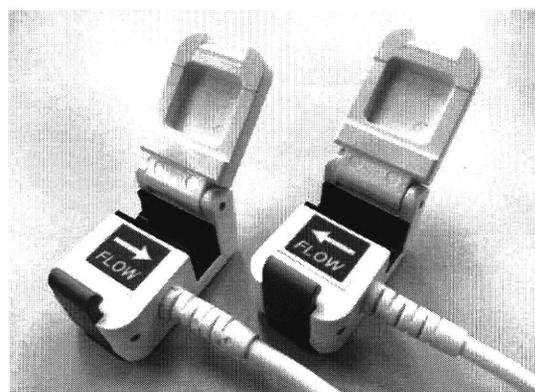
けでなく、いずれは閉塞してしまうといった可能性がある。また、アクセス流量が増加し続けると心臓への負担が増加するだけでなく、末梢循環動態の悪化などの可能性がある。慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン²⁾では、後述する透析モニター HD02の測定原理でもある超音波希釈法などによるアクセス流量の測定は、侵襲が少なくVA機能把握に有用であるとされている。

(4) 心拍出量

心臓が1分間に拍出する血液量を心拍出量と言い、心拍出量が増加するとともに心臓の負担が増加し、逆に減少するとともに心機能自体の低下が疑われる。心拍出量は前述のアクセス流量と密接な関係にあることが知られている²⁾。心拍出量はVAに流れるアクセス流量とアクセス以外に流れる血流量（組織血流量）に分ける事ができる。心拍出量はアクセス流量の増加に伴って増加し続けるが、予備能と呼ばれる心拍出量の限界に達したあとは一定のレベルに留まるか、アクセス流量の増加に対応出来ずに低下する（うっ血性心不全）。また、アクセス流量が増加することで組織血流量は減少し、慢性の血圧低下や全身倦怠感、息切れなど、低心拍出量の症状を示すことになる⁴⁾。従来、心拍出量の測定にはスワングアンツカテーテルやインドシアンイングリーンの血中濃度を測定して求める方法な

図2 超音波センサ

クリップ構造により血液回路へ容易に装着が可能。装着時にはFlowの矢印方向と血流方向を合わせる。



どがあるが、透析モニター HD02では生理食塩液を血液回路内に注入して測定することが可能であり侵襲性を軽減させていることが大きな利点である。

3. 測定原理

透析モニター HD02では動脈側超音波センサを脱血直後の血液回路に装着し、静脈側超音波センサを返血直前の血液回路に装着することで測定を行う。超音波センサはクリップ式の構造を有しているため血液回路へ容易に装着することが可能である（図2）。この超音波センサは当社製血液回路において正確な測定が可能であり、当社製以外の血液回路で測定する場合には専用の中継チューブを使用する必要がある。

(1) 超音波トランジットタイム方式

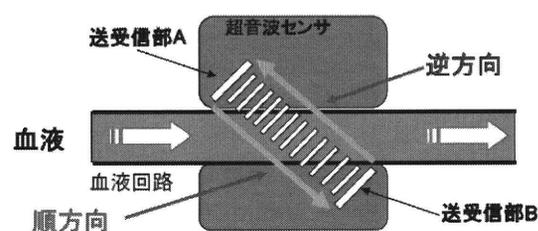
超音波センサから血流を横切って上流から下流（順方向）、下流から上流（逆方向）に向けて超音波が発信されると、順方向では超音波伝搬時間は早くなり、逆方向では遅くなる（図3）。つまり順方向と逆方向では超音波伝搬時間に差が生じることになり、この超音波伝搬時間の差を超音波センサで検出することで血液回路内に流れている実血液流量が測定される。例えば、血液の流れが存在しない場合、順方向も逆方向も超音波伝搬時間は等しくなり、超音波伝搬時間の差は生じない。

(2) 超音波希釈法

血液内での超音波伝搬速度は、主に血中蛋白質濃度によって決まる。血液内に生理食塩液を注入することで血液を希釈すると、血中

図3 超音波トランジットタイム方式

順方向では血流が速いと超音波伝搬時間が早くなる。一方、逆方向では遅くなる。これらの超音波伝搬時間の差から実血液流量を算出する。



蛋白質濃度が低下し超音波伝搬速度は減速される。この減速の割合から血液の希釈度を表す希釈曲線が検出され（図4）、動脈側および静脈側それぞれの超音波センサで検出される希釈曲線をもとにアクセス再循環率、アクセス流量、心拍出量が算出される。

4. 測定方法

(1) 実血液流量の測定

動脈側超音波センサを脱血直後の血液回路に装着し、また静脈側超音波センサを返血直前の血液回路に装着すると、本体ディスプレイに実血液流量が経時的に表示される（図5）。

(2) アクセス再循環率

透析モニター HD02測定用ソフトウェアを起動し測定する患者を決定する。その後アクセス再循環率の測定を選択し、生理食塩液をシリンジに10mL充填させたものを用意する。測定開始時に自動キャリブレーションが始まるので、キャリブレーション終了後、静脈側エアートラップチャンバから用意していた生理食塩液を5～6秒以内に注入する。アクセス再循環が存在しない場合、静脈側超音波センサでのみ希釈曲線が検出されるが、アクセ

図4 超音波希釈法

2つの超音波センサが生理食塩液を検知し希釈曲線として表示される。希釈度が高いほど希釈曲線が大きくなる。

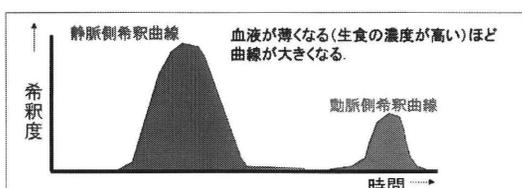
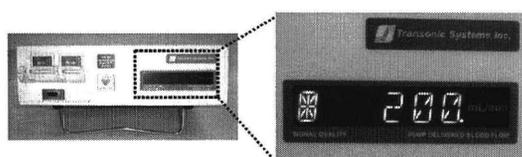


図5 実血液流量の測定

透析モニター HD02本体ディスプレイに実血液流量が表示される。



ス再循環が存在する場合、動脈側超音波センサからも希釈曲線が検出される（図6）。このときの両超音波センサで検出された希釈曲線を比較することでアクセス再循環率が算出される（図7）。

(3) アクセス流量

透析モニター HD02測定用ソフトウェアを起動し測定する患者を決定する。その後アクセス流量の測定を選択し、生理食塩液をシリンジに10mL充填させたものを用意する。血液ポンプを停止させ、穿刺針を留置したまま血液回路の動脈側と静脈側を離脱し、逆接続することで意図的にアクセス再循環が起こるようにする（図8）。測定開始時に自動キャリブレーションが始まるので、キャリブレーション終了後、静脈側エアートラップチャン

図6 アクセス再循環率の測定

アクセス再循環が起きている場合、動脈側および静脈側の両センサで生理食塩液が検出される。

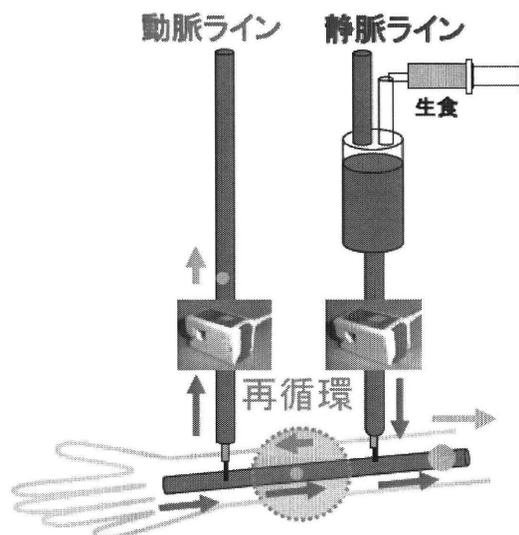
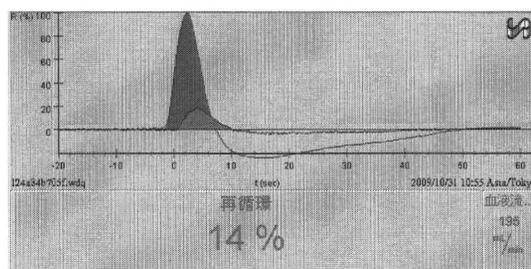


図7 アクセス再循環率の測定結果



バから用意していた生理食塩液を5～6秒以内に注入する。両超音波センサで希釈曲線が検出され、これらの希釈曲線を比較することでアクセス流量が算出される(図9)。

(4) 心拍出量

透析モニターHD02測定用ソフトウェアを起動し測定する患者を決定する。その後心拍出量の測定を選択し、測定患者の体重が70kg未満は20mL、70kg以上は30mLの生理食塩液をシリンジに充填させ、33～38℃に加温したものを準備する。患者の身長、体重、脈拍、最高血圧および最低血圧を入力し、測定開始時に自動キャリブレーションが始まるので、キャリブレーション終了後、専用のY字

図8 アクセス流量の測定

血液回路の動脈ラインと静脈ラインを逆接続し意図的にアクセス再循環を生じさせる。アクセス流量が高いほど、動脈側超音波センサで検出される生理食塩液は少なくなる。

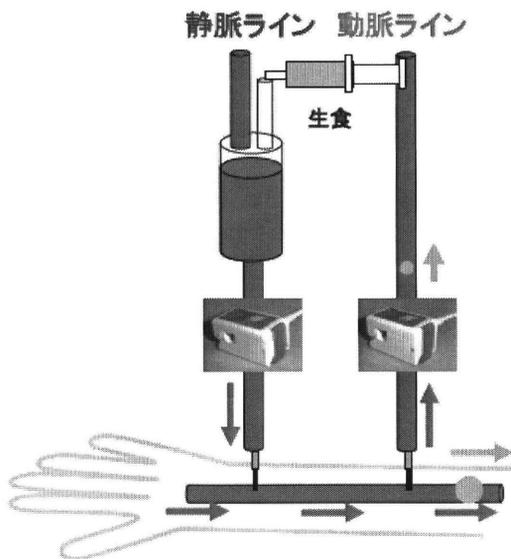
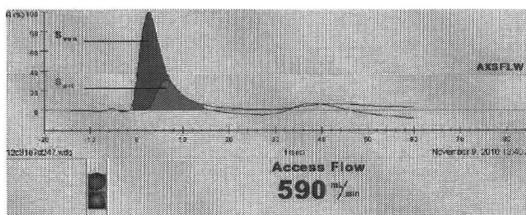


図9 アクセス流量の測定結果



管から準備した生理食塩液を6～7秒以内に注入する。静脈側超音波センサで希釈曲線が検出され、注入した生理食塩液が心肺再循環を経て再びVAに供給され動脈側超音波センサで希釈曲線が検出される(図10)。両希釈曲線を比較することで心拍出量が算出される(図11)。

5. クリアランスギャップとの応用

採血結果により得られたKt/V実測値をもとに推定される有効クリアランス(effective CL: eCL)と、ダイアライザ側のクリアランス理論値(theoretical CL: tCL)との格差

図10 心拍出量の測定

注入された生理食塩液は心肺再循環を経て再びVAへ供給される。心拍出量が多いほど動脈側超音波センサで検出される生理食塩液は少なくなる。

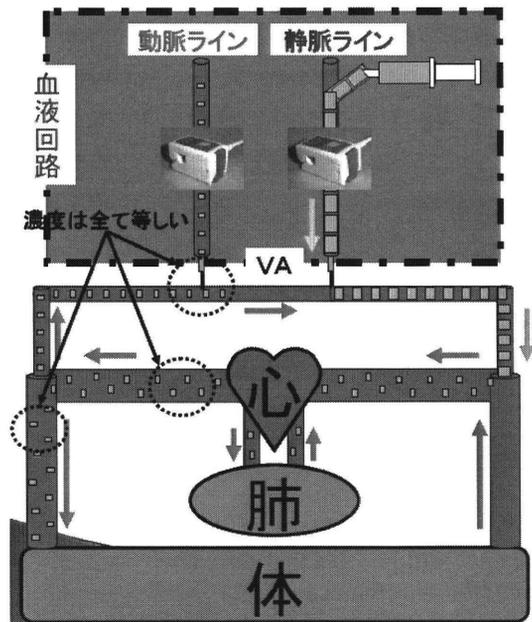
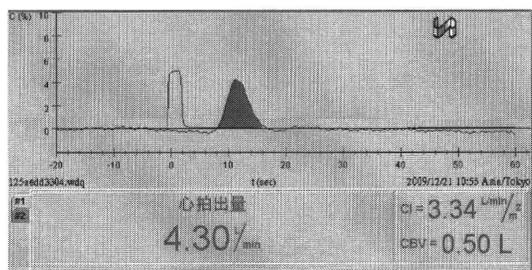


図11 心拍出量の測定結果



を算出し、Kt/Vの質的管理を行う手法（クリアランスギャップ：CL-Gap法）が小野らから提唱されている⁵⁾。VA機能不全を検出することを目的とした場合、血中BUN濃度やKt/Vよりもクリアランスギャップを指標とした方が鋭敏であることが報告されている⁶⁾。クリアランスギャップは採血結果から容易に求めることが可能であることから、クリアランスギャップにより異常を検知した患者に対し透析モニターHD02による測定を行う事で効率的なVA管理が可能であると考えられる。

6. 結語

透析モニターHD02は透析中に1台でリアルタイムに実血液流量、アクセス再循環率、アクセス流量、心拍出量の測定が可能な装置である。しかし、VA管理を行うにあたって上記の測定項目だけでは不十分で、理学的所見を十分に把握したうえで評価を行うことが重要である。定期的なモニタリングおよびサーベイランスによりVA管理を行う事で透析効率の維持だけでなく、VAトラブルを早期に発見し適切な処置が可能となる。VAをより良い状態で長く維持していくことは患者の負担を軽減するだけでなく、生命予後の改善やQOL向上にも繋がっていくと考える。透析モニターHD02がVA管理の一助として透析医療に貢献出来れば幸いである。

- 1) 武本佳昭：日常管理の必要性。バスキュラーアクセスの治療と管理-未来に向けて-：75-83,2011
- 2) 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)：855-937,2011
- 3) 日本透析医学会統計調査委員会：図説わが国の慢性透析療法の現況（2010年12月31日現在）、日本透析医学会、東京、2011
- 4) 西 隆博, 崔 啓子, 三村維真理, ほか：バスキュラーアクセスと心機能。臨床透析Vol.22 No.4：85-92,2006
- 5) 小野淳一：クリアランスギャップを用い

たVA管理。バスキュラーアクセスの治療と管理-未来に向けて-：98-105,2011

- 6) 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 18：154-160,2007

【はじめに】

弊社が販売しております透析モニターHD02（以下、HD02）は、医療機器の一般的な名称では超音波血流計ですが、専用のソフトウェアをインストールしたパソコンを接続することで、慢性血液透析治療に不可欠なバスキュラーアクセスの状態管理に有用な情報を迅速かつ簡便に得ることが出来ます。

【測定項目と測定原理】

HD02で測定出来るデータは次の通りで、いずれも血液透析治療中に測定出来ます。

- ① 実血液流量（Delivered Blood Flow）
- ② アクセス再循環率
（Access Recirculation）
- ③ アクセス流量（Vascular Access Flow）
- ④ 心拍出量（Cardiac Output）

また、④の心拍出量から、心係数（Cardiac Index）、中心血液量（Central Blood Volume）、さらに血圧測定値との組み合わせで末梢血管抵抗（Peripheral Resistance）も算出できます。

測定原理は次の通りです。

- I. 超音波トランジットタイム方式
- II. 超音波希釈法

心拍出量、心係数、中心血液量および末梢血管抵抗を管理する事で、心臓の状態を効果的に把握することが可能となり、その測定結果および傾向から除水の体液除去に対する心臓の反応、さらに心胸郭比（CTR）と組み合わせることで、体液の蓄積状態の把握にも有用であると考えます。

【まとめ】

HD02は1台でバスキュラーアクセスの状態を把握するうえでのデータと、心機能を把握するうえでのデータを簡便に測定出来ます。また血液透析治療では日常的に行ってい

る血圧測定やCTR測定の結果と組み合わせ
て得られたデータを多角的に解析すること
で、より綿密に患者の状態把握が行うことが
でき、その結果としてアクセスおよび心臓状
態悪化の早期発見、早期治療が可能になると
考えます。