

III

機能評価と形態評価

3. 機能評価・形態評価をどのように治療に活かすか

バスキュラーアクセス（VA）超音波検査は、日常的に安全に、機能情報と形態情報の両方を客観的に数値化して評価可能な点で優れた検査法である。しかし一方で、聴診器替わりといわれる超音波検査ではあるが、視診・触診・聴診のように穿刺ごとに行なうことは困難であり、VA合併症の診断は理学所見同様に技術と知識（経験を含む）が必要で、誰もが同じ答えを導き出せるわけではない。

通常、VA超音波検査は、穿刺時の理学所見で何らかの異常が発見された場合に原因の検出と血流状態の把握のため実施され、スクリーニング検査はほとんど実施されていない。しかし、スクリーニング検査を、VAの現状を把握する検査ではなく、機能不全発症とその原因となりうる狭窄の発生を予測する検査と仮定すれば、突然の脱血不良や穿刺困難、静脈圧上昇などを回避でき、VAの長期管理にとってさらに有効な手段となりうる。そこで本項では、これらの評価時における注意点と評価方法について実例を供覧し解説する。

1 形態評価の有用性を理解する

超音波検査が有用な場合について表1に示した。VA検査の対象となるのは表在血管であり、骨、ガスなどの超音波を遮断するものが周囲にないため、高周波プローブを使用することで血管が鮮明に描出可能で、超音波検査のよい適応と考えられる。

III

機能評価と形態評価

表1 VA超音波検査が有用な場合

断層像が有用な場合

血管の走行と血管の太さ・深さ、側副血行路の部位
狭窄（部位、狭窄径、内膜肥厚を伴う場合はその程度も）
血栓性閉塞（部位と血栓の状態）
非血栓性閉塞（部位）
血流を妨げる異常靜脈弁（部位、石灰化・ジェット流の有無）
穿刺部の血管異常（血栓・仮性瘤・血管壁菲薄化）

血流表示が有用な場合

血流の方向と血管内腔の描出
血流の低下の描出
過剰血流の描出
ジェット流の描出
perivascular artifactの描出

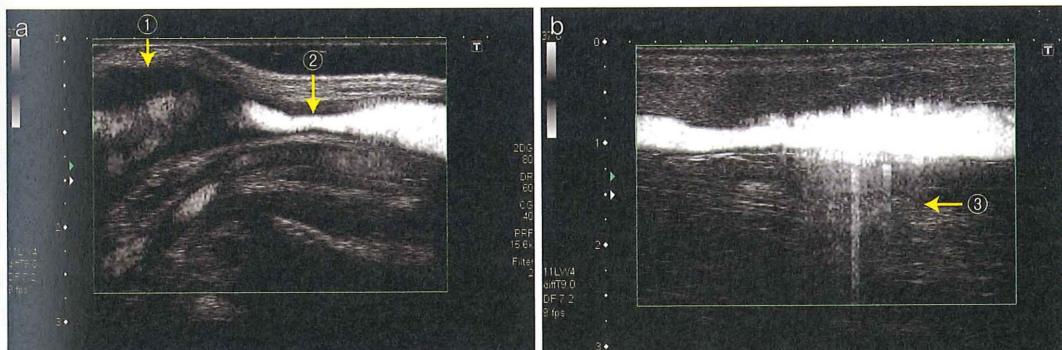


図1 ジェット流(a)とperivascular artifact(b)

bloomingの少ないAdvanced Dynamic Image (ADI)による血流表示では、血流速度が速いほど白色が強調される。①では、比較的遅い血流のため白色が薄く、血流表示されない部位はMTIフィルターによる低速血流がカットされているためである。②は、狭窄部を通過する非常に速い血流（ジェット流）のため白色が強く表示されている。③は、狭窄部の中樞側（下流側）に発生した強い乱流が血管壁を微振動させることによって生じる飽和した信号（perivascular artifact）が表示されている。

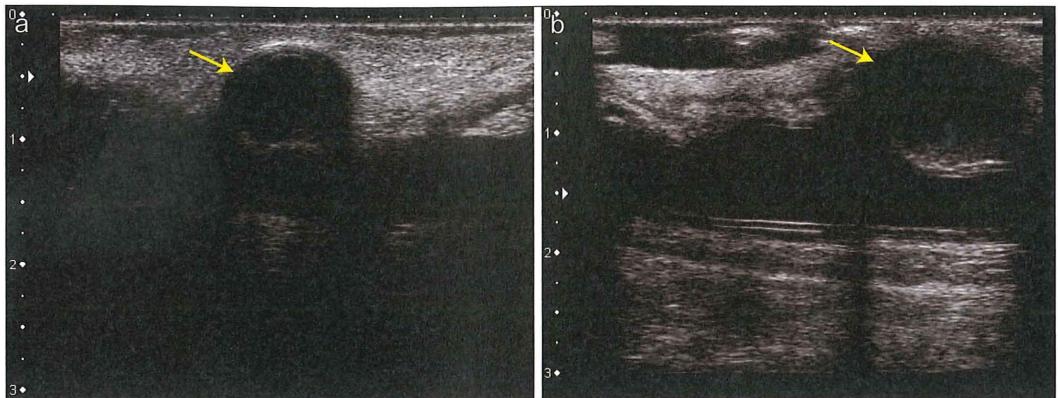


図2 人工血管にできた仮性瘤

a : 仮性瘤指摘時, b : 1年後の検査時.

瘤の大きさが増大し, 表面から凸状に少し突出(矢印, 仮性瘤)している様子が観察可能である.

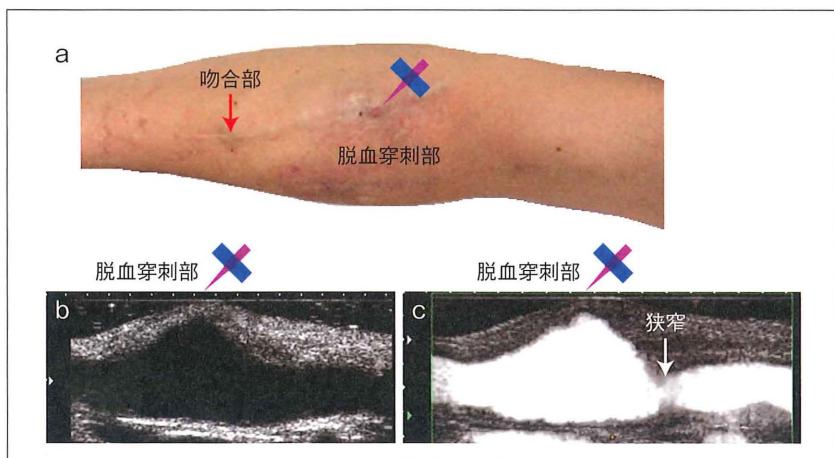


図3 止血時間延長例

a : 外観上はわずかな突出のみである.

b : 超音波検査(断層像)では瘤が形成されていること, その形状は穿刺部が先端のピラミッド型で皮膚表面側が菲薄化していることがわかる.

c : さらにカラードプラを追加することで, 瘤の中軸側に狭窄があることが一目瞭然で, 止血困難の原因が詳細に理解できる.

る。

特に, 理学所見で判定できない血管壁の限局性肥厚, 血栓の形成, 石灰化や肥厚した異常な静脈弁などの局在診断や, 人工血管穿刺部に発生した仮性瘤などの病変に対し, プローブをおくだけで誰でも簡便に評価可能である点が優れている。

カラードプラ法を追加すると, 断層法では不鮮明な血管内腔が明瞭に描出可能となる。さらに, 狹窄が原因で発生するジェット流や超音波のノイズ (perivascular artifact) を表示させることで,

視覚的に狭窄部位の局在診断が行えるようになる(図1)。

症例1：人工血管仮性瘤(図2)

外観上は病変が表面に突出していないため指摘困難であった。超音波検査では断面像から容易に仮性瘤を確認できる。検査後穿刺部位を変更したが1年後の超音波検査では仮性瘤は増大し, 表面側に約5mm突出している様子が描出された。このように, 外観上気づかない変化であっても, 超音波検査ではmm単位の変化として経時的に評

表2 VA血流の過大評価と過小評価の原因

过大評価の原因
①乱流の激しい部位での測定
②過度の補正 (60°以上の補正)
③血流波形の時間平均最高流速での測定
④血管径の过大評価
過小評価の原因
①上腕動脈高位分岐の一方の血管のみを測定
②プローブによる血管の圧迫
③止血バンドによる血管の圧迫 (特に吻合部近傍)
④角度補正が未実行
⑤血管径の過小評価

価可能である。

症例2：脱血穿刺部の止血時間延長（図3）

写真では、外観上は穿刺部の血管が少し盛り上がったように見えるのみで明らかな異常はない。このような場合、瘤の形成が最も疑われるが、それ以外にも、止血困難という症状から穿刺部位の血管壁の菲薄化や穿刺部中枢側の狭窄を疑う必要がある。超音波検査による断層像では、血管に限局性の瘤が形成し、瘤の頂点が菲薄化している所見が得られた（図3b）。カラードプラ法では、瘤のすぐ中枢側に狭窄が描出されたことから（図3c）、止血時間延長には瘤の形状と狭窄が関与していることが考えられる。

このような断層法とカラードプラ法による血流表示法は、異常の部位にプローブをおくだけで、視診や触診では検出されない血管の異常が描出できる。手技による誤差が少なく、術者の技量に左右されずに同じ結果が得られやすいという特徴がある。

2 機能評価を行ううえでの注意点

1) 過大評価と過小評価

最近の超音波診断装置は血流波形をオートで測定することができる。そのため、客観的な数値を得られ信頼性が高いように誤解される。しかし実際は、検査者の手技に大きく依存し、データのバラつきが大きいため、过大評価と過小評価の可能性がある。血流測定値が过大評価される場合を表2に示した。これらは主に手技上の問題で、繰り

返し練習することでデータの誤差は減少し、信頼性の向上も可能である。

2) オートトレースと計測ソフト

現在では、血流波形をオートトレースして平均流速の平均値を求める方法が主流で、VA血流に関する文献の数値はそれに基づいて算出されたものである。これに対し古い超音波診断装置（ほぼ2000年以前の装置）には、オートトレース機能をもつ計測ソフトがほとんど装備されておらず、測定は手動でピーク流速をトレースし平均値を求めているものと推定される。当施設で求めたデータでは、時間平均最高速度（time average maximum velocity : TAMV）の平均値から求めた血流量は時間平均血流速度（time average velocity : TAV）の平均から求めた血流量のおおよそ35%高値であり、乱流成分が多い場合にはさらに高値となり、反対に層流に近くになると低値になる（図4）。そのため、特に過去の文献の測定値を参考にする場合については、現在の測定方法と比較して高い数値を示している可能性が高い点に注意が必要である。

3 無症候性機能不全の発症と対策

1) 無症候性機能不全とは

通常、VAは穿刺時、スタッフによる視診・聴診・触診の理学所見の確認が行われ、それらに異常のない患者であっても、突然に脱血困難（脱血不良）、閉塞のトラブルが発生することを経験する。この原因は、急激な血圧低下、脱水による血液の濃縮などによる突発性のものもあるが、高度な狭窄による血流量の低下が発生していたことに気がついていない“無症候性機能不全”が発生していたと考えられる場合がほとんどである。

我々がいう無症候性機能不全の定義は、原因是狭窄で脱血不良、穿刺困難、止血時間延長、静脈圧上昇などの理学所見が確認できないにもかかわらず血流の著明な低下を伴う場合とした。この原因として考えられる項目を表3に示した。実際は、これらが複雑に混在していることもあり、超音波検査での判定は検査者の知識と経験が大きく影響

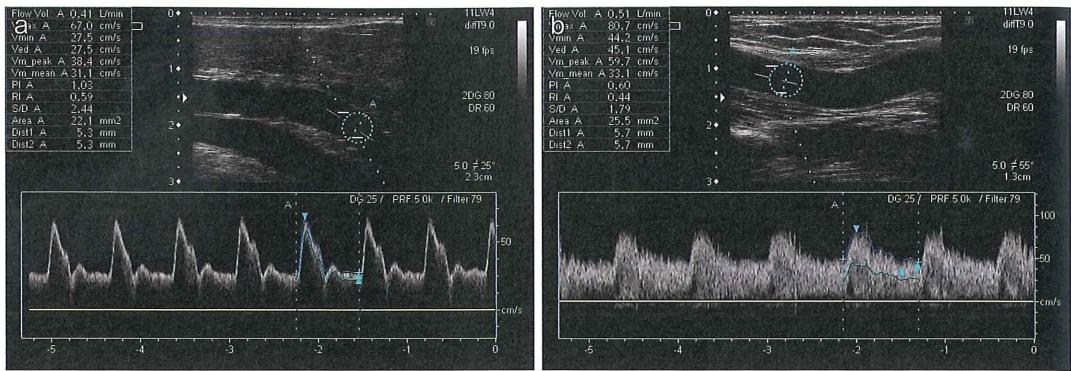


図4 TAMVとTAVでの算出血流量の違い

a：層流の波形の場合：TAMVで求めた血流量0.51L/分はTAVで求めた血流量0.41L/分より24%高値であった。
b：乱流波形の場合：TAMVで求めた血流量0.91L/分はTAVで求めた血流量0.51L/分より78%高値であった。
このように、層流に比較し乱流成分が多い波形では、TAMVから求めた血流量はTAVから求めた血流量よりも過大評価となることがわかる。

表3 無症候性機能不全が起こる原因

- ①吻合部から遠位部での狭窄の発生
- ②狭窄音がきこえにくい
- ③スリルがわかりにくい
- ④脱血量がもともと少ない
- ⑤著しい内膜肥厚を伴う狭窄（外観上凹型にみえない）
- ⑥肥厚・石灰化した弁による狭窄（外観上凹型にならない）
- ⑦穿刺部位が変更される（穿刺者が異なる）
- ⑧穿刺針が狭窄部をこえて留置されている（脱血側、返血側）
- ⑨再循環が発生している
- ⑩実血流が低下している

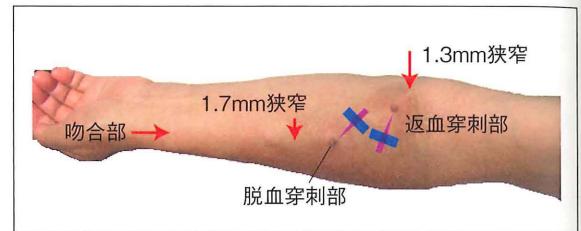


図5 無症候性機能不全の症例

する。

2) 症例

症例3：無症候性機能不全症例（図5）

症例は、①理学所見に異常はない。②脱血は200mL/分で可能。③超音波検査では脱血穿刺部末梢に直径1.7mm、返血穿刺部中枢に直径1.3mmの狭窄を認めた。上腕動脈の血流量は390mL/分、RIは0.60であった。この症例の血管走行と穿刺部、穿刺方向、狭窄部のシェーマを図6に示した。パターン1は、血流量低下と高度の狭窄があるにもかかわらず脱血が200mL/分で可能であったこと、静脈圧が上昇していないことから再循環が凝われた。これに対しパターン2は、穿刺針が狭窄部をこえているため、脱血、静脈圧ともに正常である。したがって、この症例で

は、どちらのパターンであるにしてもPTAの適応と考えられた。

症例4：再循環症例（図7）

症例は、①前腕リスト部に吻合部がある。②視診、触診では異常は認めない。③脱血は200mL/分で可能で、静脈圧上昇や止血時間延長もない。④超音波検査では吻合部すぐ中枢側の血管に直径1.9mmと直径1.2mmの高度の狭窄を認めた。⑤上腕動脈血流量は270mL/分と著明に低下していた。この症例の血管走行と穿刺部、穿刺方向、狭窄部の位置関係を図8に示した。図8を参考に、このシェーマに描かれた狭窄位置と脱血部位、返血部位、穿刺方向ならびに上腕動脈血流量270mL/分という結果から以下のことが考えられた。①上腕動脈に高位分岐があったのに一方の血管しか測定していなかった。②吻合部中枢側の狭窄部をプローブの物理的な圧排で狭窄径を評価した。③脱血穿刺の方向が中枢側向きであり、脱血

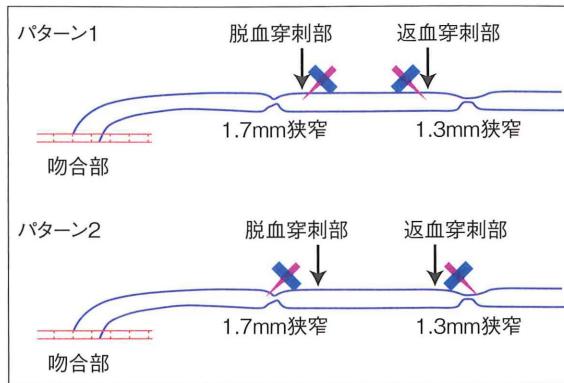


図6 無症候性機能不全の症例

パターン1：穿刺針が狭窄の手前に留置。
パターン2：穿刺針が狭窄をこえて留置。

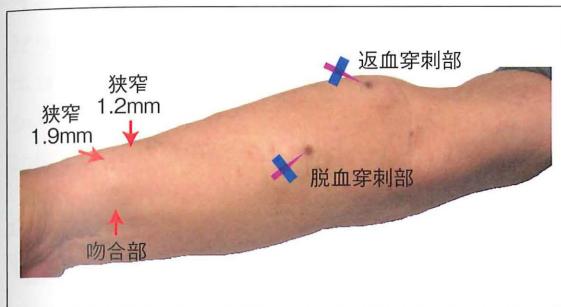


図7 再循環症例

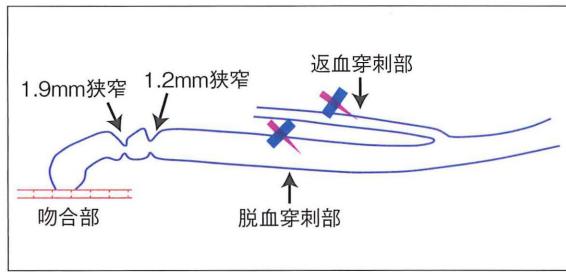


図8 再循環症例の血管走行、穿刺と方向、狭窄の位置関係

量が200mL/分で透析が可能であったとしても実血流量はかなり低下している可能性が考えられる。④脱血穿刺部位と返血穿刺部位は別の血管であるが、肘部で合流していることから再循環が起こっている。このケースの場合、再循環率を測定した結果18%と高値を示したことから、高度狭窄による血流低下と診断してPTAを施行した。

このように、超音波検査による異常所見だけでなく、局在部位、血管走行、穿刺方向、穿刺部位（異常所見があった部位）などの情報も加味して診断する必要がある。

3) VA管理のフローチャート

無症候性機能不全を含むVA管理のフローチャートを図9に示した。無症候性機能不全を含むVAの異常をみつけるためには、①新規導入や他院からの転院患者を含む施設患者全員のスクリーニング超音波検査を実施し、異常がない場合は理学所見でフォローする。②無症候性機能不全の原因となる異常が検出された場合、機能不全がすでに発症している例ではただちにPTAや外科的再建術を考える。③機能不全がまだ発症していない症例では、超音波検査での定期的なフォローと、異常部位と発症する可能性のある理学的異常所見の情報を穿刺スタッフに伝え、異常所見があればすぐに超音波検査を行う。

リーニング超音波検査を実施し、異常がない場合は理学所見でフォローする。②無症候性機能不全の原因となる異常が検出された場合、機能不全がすでに発症している例ではただちにPTAや外科的再建術を考える。③機能不全がまだ発症していない症例では、超音波検査での定期的なフォローと、異常部位と発症する可能性のある理学的異常所見の情報を穿刺スタッフに伝え、異常所見があればすぐに超音波検査を行う。

このような体制を院内に構築することで、突発的なVAの脱血不良や閉塞を予防できる。そのため、超音波検査所見には狭窄の部位と程度および血流の評価だけでなく、穿刺部位と穿刺方向を記載し、他にも機能不全の原因以外の狭窄、閉塞（非血栓性を含む）の部位と範囲、瘤とその下流側の狭窄、血管の分岐・走行、穿刺部位の血管壁異常の有無の確認、異常静脈弁、ジェット流、perivascular artifactなどを記入した報告書を作成する。

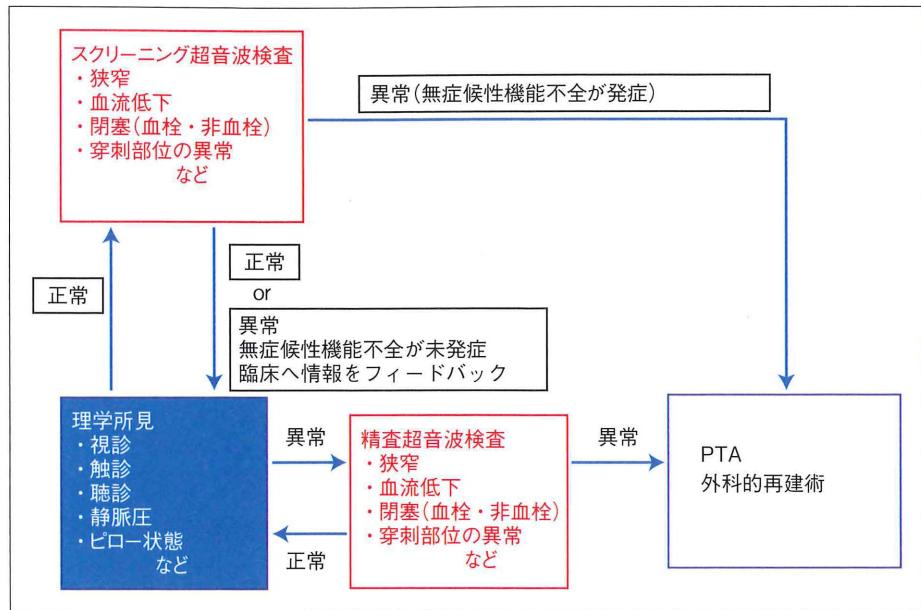


図9 超音波検査を用いたVA管理フローチャート

成することが重要である。

参考文献

- 1) 尾上篤志：バスキュラーアクセス機能モニタリングとしての超音波パルスドプラ法の有用性。医工学治療, **19** (4) : 256 ~ 262, 2007.
- 2) 尾上篤志:超音波検査によるブレッドアクセスの検討。阪透析会誌, **19** : 47 ~ 50, 2001.
- 3) 尾上篤志：超音波検査における前腕内シャント機能不

全の予測。阪透析会誌, **20** : 65 ~ 68, 2001.

- 4) 尾上篤志：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, **36** (6) : 587 ~ 592, 2012.
- 5) 尾上篤志：日常管理における超音波検査 総論。バスキュラーアクセス超音波テキスト. 97 ~ 102, 医歯薬出版, 2011.

(尾上篤志)