

## III

## 機能評価と形態評価

## 1. シェント機能評価

## 機能評価の基本

機能とはその物が本来備えている働きのことであり、vascular access (VA) の機能とは血液透析を施行するための潜在的な能力と考えることができる。超音波によって VA の機能は、主に VA に流れる血流量の測定やシェント静脈への流入のしにくさ（抵抗）により評価しており、血流状態を知るうえで最も重要な評価項目である。特に、血流量は血流低下症例だけでなく、過剰血流シェントの評価にも有用であり、その臨床的意義は大きい。超音波検査における機能評価は数値による客観的評価が可能である反面、正確な評価を行わなければ不必要な治療介入や治療の遅れにもつながり、患者に対して不利益を生じる可能性がある。したがって、検査には可能なかぎり正確な測定が求められる。

## ① 機能評価の実際

超音波における VA 機能の評価項目は、血流量、血管抵抗指数（resistance index：RI）、収縮期最高血流速度、拡張末期血流速度、収縮期加速時間（acceleration time：AT）などが報告されているが、自己血管内シェント（AVF）は血流量と

RI、人工血管内シェント（AVG）は血流量による評価が一般的である。

## ② 計測部位

## 1) AVF

AVF における機能評価は上腕動脈にて行う。血流量は“血管断面が正円である”との仮定のもとに算出している。したがって、短軸断面が正円になりにくいシェント静脈における血流量測定は信頼性に欠ける。また、シェント静脈は乱流も多く、正確な血流量測定は困難である。

## 2) AVG

AVG における血流量は、人工血管または上腕動脈にて測定する。測定部位によりそれぞれメリットとデメリットがあるため（表1）、どちらかに統一することは現状では困難であるが、施設内での統一は必要である。それぞれの特徴を把握したうえで運用することが必要である。筆者の検討では、上腕動脈に吻合した AVG 症例の多くは人工血管内血流量より上腕動脈血流量の方が平均で約 100mL/min 程度多くなった<sup>1)</sup>。この理由と

表1 AVGの測定部位におけるメリット、デメリット

	メリット	デメリット
人工血管内	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アクセスの実血流量が測定可能</li> <li>・劣化のない部位は血管の描出が容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内膜肥厚、石灰化、瘤化など劣化した場合は測定困難</li> <li>・術後早期のポリウレタングラフトは測定困難</li> </ul>
上腕動脈	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人工血管の材質を問わず測定可能</li> <li>・血流量の検者間差が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アクセス血流量ではない</li> <li>・上腕動脈高位分岐症例は測定不可</li> <li>・腋窩動脈や鎖骨下動脈に吻合している場合は測定不可</li> <li>・高度石灰化による超音波ビームの不通過</li> </ul>

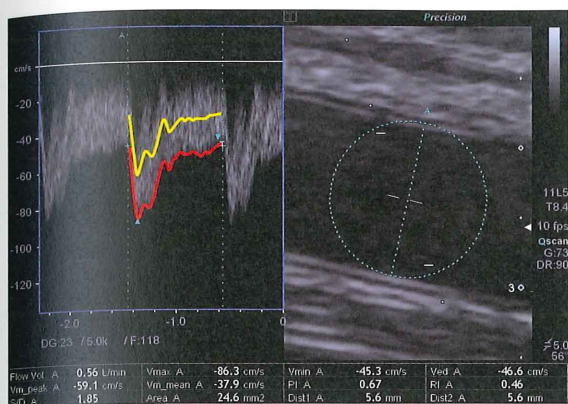


図1 血流量測定

血流量測定には、時間平均最高血流速度（赤線）ではなく、時間平均血流速度（黄線）を用いて算出する。

して、上腕動脈血流量は人工血管内血流量と末梢循環を担う血流量の和であるためと考えられる。しかし、約10%の症例で上腕動脈血流量より人工血管内血流量の方が多くなる症例が存在する。その原因は、測定部より中枢から分岐する上腕深動脈などの側副動脈由来の血流が吻合部末梢の動脈を逆行性に流れ人工血管内に流入する、いわゆるスチール現象がみられるためであると考えられる<sup>1)</sup>。同じAVG症例であっても、末梢の橈骨動脈や尺骨動脈に人工血管を吻合した場合は、スチール現象がみられたとしても人工血管内血流量が上腕動脈血流量より多くなることは基本的には認められない。

### 3 各評価項目の算出

#### 1) 血流量

血流量は、パルスドプラ法から算出される平均血流速度と、血管径から算出される断面積との積により求められる。

$$\text{血流量 (mL/min)} = \text{平均血流速度 (cm/sec)} \times \text{血管断面積 (cm}^2\text{)} \times 60 (\text{sec})$$

血流量算出の際の平均血流速度は、時間平均最高血流速度（time average maximum velocity : TAMV）ではなく、時間平均血流速度（time average velocity : TAV）を用いて算出するように装置設定が必要である（図1）。

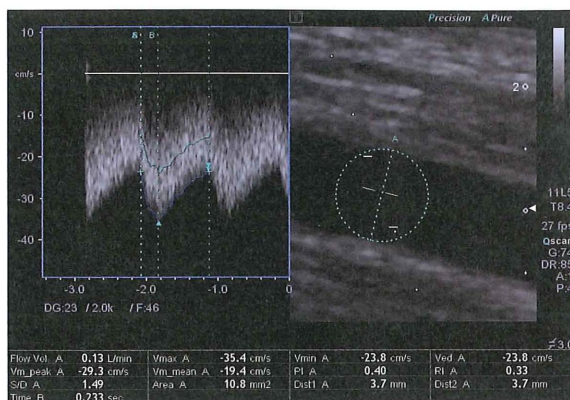


図2 ATの延長

ATは233msecと著明な延長を認め、測定部より中枢の動脈病変を疑う。

#### 2) 血管抵抗指数 (RI)

RIは収縮期最高血流速度と拡張末期血流速度から算出され、測定部より末梢の血流の流れにくさ（抵抗）を反映する指標である。

$$RI = (\text{収縮期最高血流速度} - \text{拡張末期血流速度}) / \text{収縮期最高血流速度}$$

RIは血流量に比べ誤差が少ないとされている。

#### 3) 収縮期加速時間 (AT)

ATは拡張末期から収縮期最高血流速度までに要する時間であり、測定部位よりも上流に狭窄や閉塞病変が存在すると延長する。内シャント作製前の上腕動脈におけるATの正常値は100～120msec未満である。VA作製によるATの変化は検討されていないが、明らかに延長を認める場合は中枢の動脈病変を疑う。図2は鎖骨下動脈が閉塞している症例であり、ATは233msecと明らかな延長を認めた。

#### 4 血流量測定における誤差要因

血流量測定時の検者間誤差は避けることはできないが、測定時に発生する誤差要因を理解し、トレーニングすることで临床上問題がない程度の誤差にとどめることが可能である。血流量測定の際に誤差要因となりうる事項を以下に列挙する。



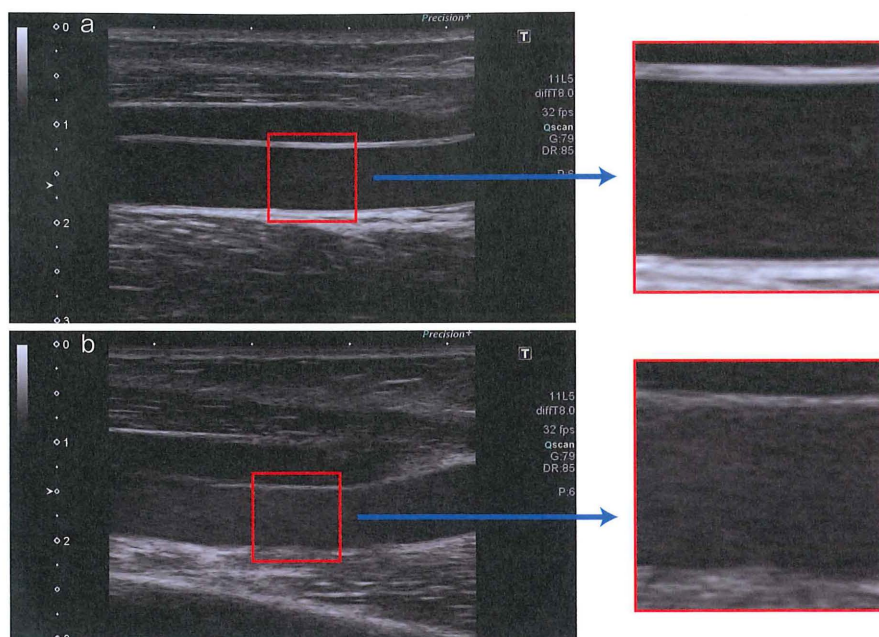


図3 血管壁の描出

- a: 血管の前壁，後壁ともに明瞭に描出できている。  
b: 血管の前壁，後壁ともに不明瞭であり，血管径の正確な計測は困難である。

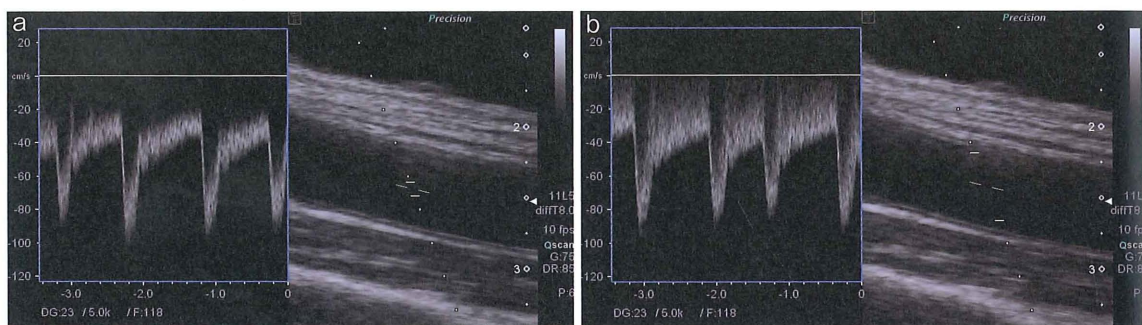


図4 パルスドプラのサンプルサイズ

- a: サンプルサイズが小さいため，血管壁付近の低流速成分はサンプリングできていない。  
b: 最大血流速度から血管壁付近の低流速成分までサンプリングできており，適正な設定である。

①測定部の血管断面が正円であること  
血流量は，“血管断面が正円”と仮定して算出する。したがって，短軸断面で観察し，明らかに楕円形であれば他の部位を選択する。

②血管壁の描出が明瞭であること  
血管を長軸断面で描出した際に，血管の前壁と後壁がともに明瞭に描出されているかを確認する（図3a）。血管壁が不明瞭であれば正中断面で描出できておらず，血管径を過小評価することになる（図3b）。また，前壁と後壁のどちらかしか

明瞭に描出できない場合は，血管断面が正円ではない可能性がある。

③パルスドプラのサンプルサイズ  
血管内の血流速度は血管の中心部が最も速く，血管壁に近づくほど遅くなる。血流量測定では，最高血流速度から低流速成分までまんべんなく平均する必要があるため，パルスドプラのサンプルサイズは血管壁からはみ出さない程度で最大径まで広げるように設定する（図4）。

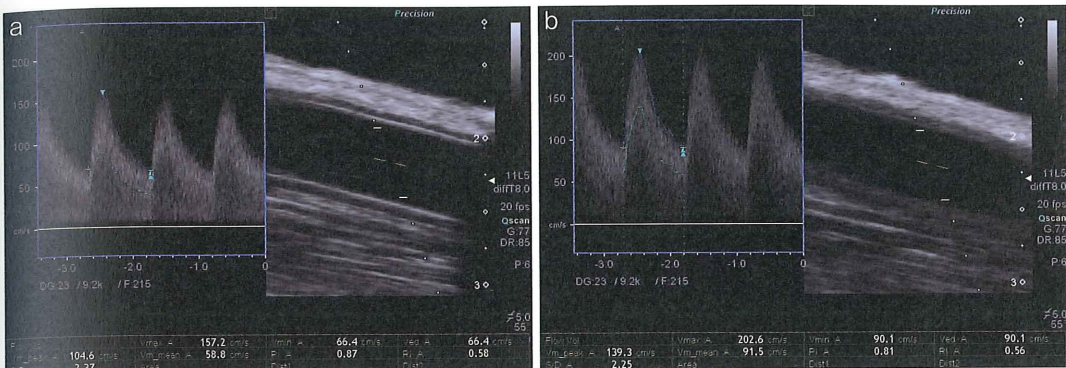


図5 血管内血流速度分布の偏り

- a: 血管長軸断面は正中で描出できているが、最大血流速度をサンプリングできていない。  
 b: 血管長軸断面を正中からややスライドさせると血流速度が増加する。血管の中心部が最大血流速度ではないため、この部位では血流量の測定を避けるべきである。

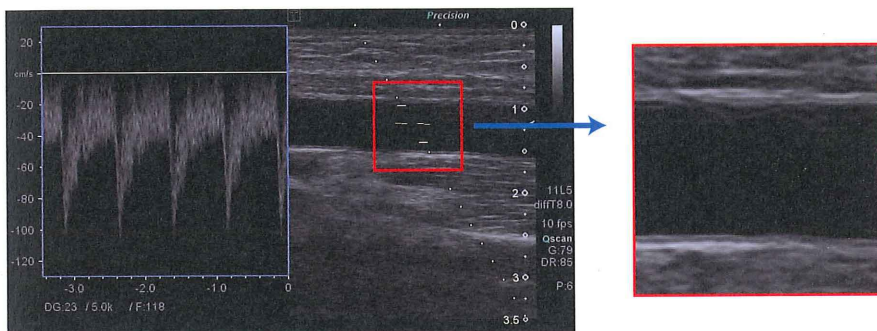


図6 血流量測定

パルスドプラの入射角度  $30^\circ$ 、補正角度  $60^\circ$  であれば、血管に角度をつけることなく血流量測定が可能である。また、血管壁に対して超音波断層ビームが垂直に当たっているため、血管壁の描出も明瞭である。

#### ④パルスドプラの角度補正

ドプラは入射角度によりドプラシフトが異なるため、角度補正が必要となる。補正角度が小さいほど誤差が小さくなる。特に、補正角度が  $60^\circ$  をこえると誤差が大きくなるため、最低でも  $60^\circ$  以内の補正にとどめる必要がある<sup>2)</sup>。

#### ⑤測定部の血流が安定していること

血管内の血流速度分布は、蛇行や石灰化などの血管の状態により偏りが生じ、血管の中心部が最高流速にならない場合がある（図5）。そのような部位は血流量測定には適さないため、測定部位の変更が必要である。



#### ワンポイントアドバイス

##### 血流量測定のコツ

血管とパルスドプラの入射角度は  $60^\circ$  以内に設定すべきだが、プローブの種類によってはパルスドプラの入射角度を  $30^\circ$  に設定できるものもある。入射角度を  $30^\circ$ 、角度補正を  $60^\circ$  に設定すると、血管の長軸断面を描出する際に角度をつけることなく測定が可能である（図6）。血管に角度をつけずに長軸断面を描出すれば、血管に対し超音波断層ビームが垂直に当たるため、血管壁が明瞭に描出できるというメリットがある。

一方で、パルスドプラの入射角度が  $30^\circ$  ではドプラ感度が低いため、条件によっては血流速度波形が不明瞭になることがある（図7a）。その場合は、



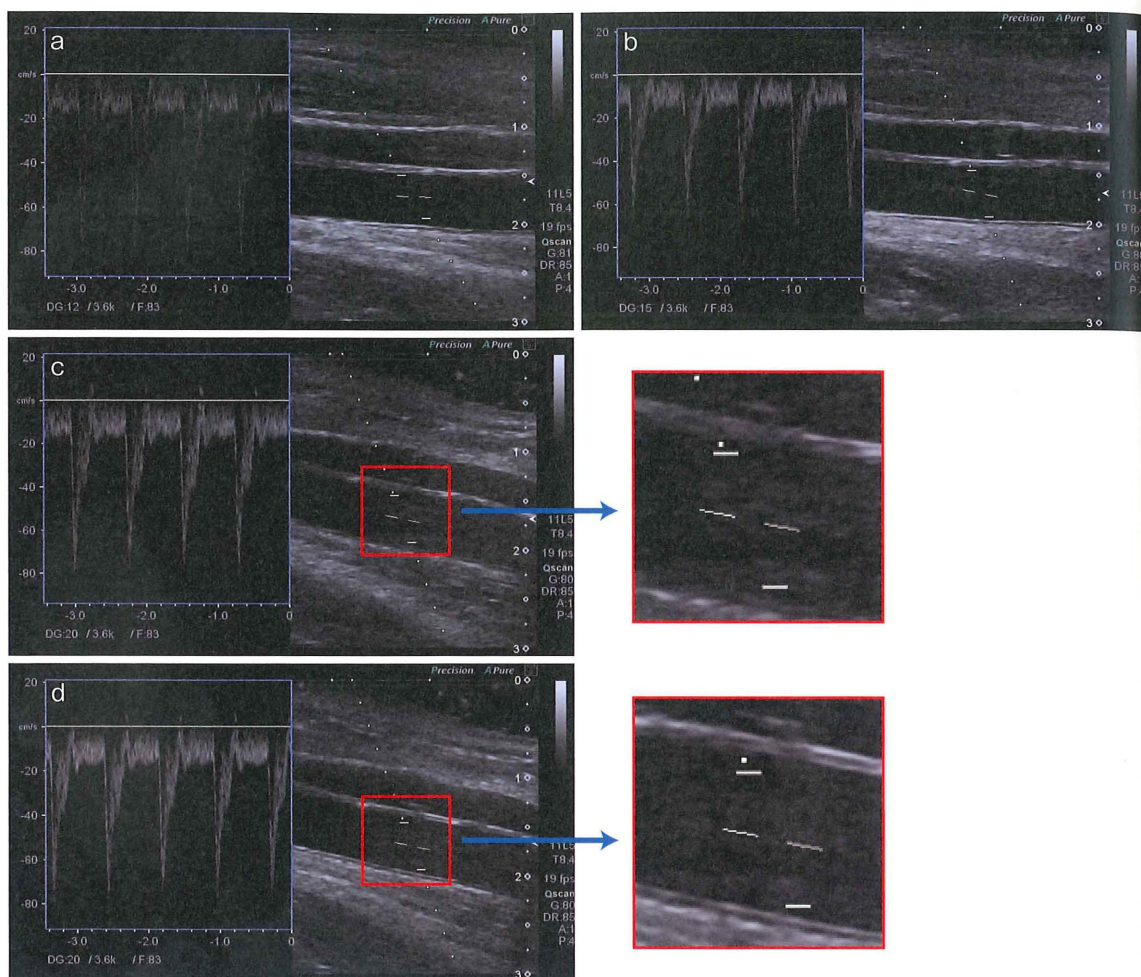


図7 血流量測定のコツ

- a: パルスドプラの入射角度  $30^\circ$ 、補正角度  $60^\circ$  で血管壁は明瞭に描出できているが、血流速波形が不明瞭である。
- b: パルスドプラの入射角度を  $20^\circ$  に変更するとドプラ感が向上し、血流速波形が明瞭になる。しかし、血管に角度をつけなければ角度補正は  $70^\circ$  が必要となるため、測定条件としては適当でない。
- c: bの条件下で血管を  $10^\circ$  傾けて描出すると角度補正は  $60^\circ$  で血流速波形も明瞭である。しかし、血管に対して超音波断層ビームが垂直に当たっていないため、血管壁の描出が不明瞭である。
- d: cの条件下で超音波断層ビームを血管に対して垂直に当たるように斜めから送信すると、血管壁の描出が明瞭になり、最適な条件下での血流量測定が可能になる。

パルスドプラの入射角度を垂直に近づけると感度がよくなる（図7b）。しかし、角度補正を  $60^\circ$  以内にするためには血管を傾けて描出する必要がある（図7c）。血管を傾けて描出すると血管壁の描出が不明瞭になるため、超音波断層ビームを血管壁に対して垂直に当たるように斜めから送信すると、血管壁が明瞭に描出される（図7d）。

## 5 上腕動脈高位分岐症例における機能評価

### 1) 頻度

上腕動脈は、肘窩で橈骨動脈と尺骨動脈に分岐するが、その分岐が中枢に位置する上腕動脈高位分岐症例が存在する。その頻度は剖検例で  $14.27\%$ 、血管造影で  $9.75\%$ <sup>3)</sup>、筆者らの超音波検査による検討では  $7.7\%$ <sup>4)</sup> など報告によりバラ

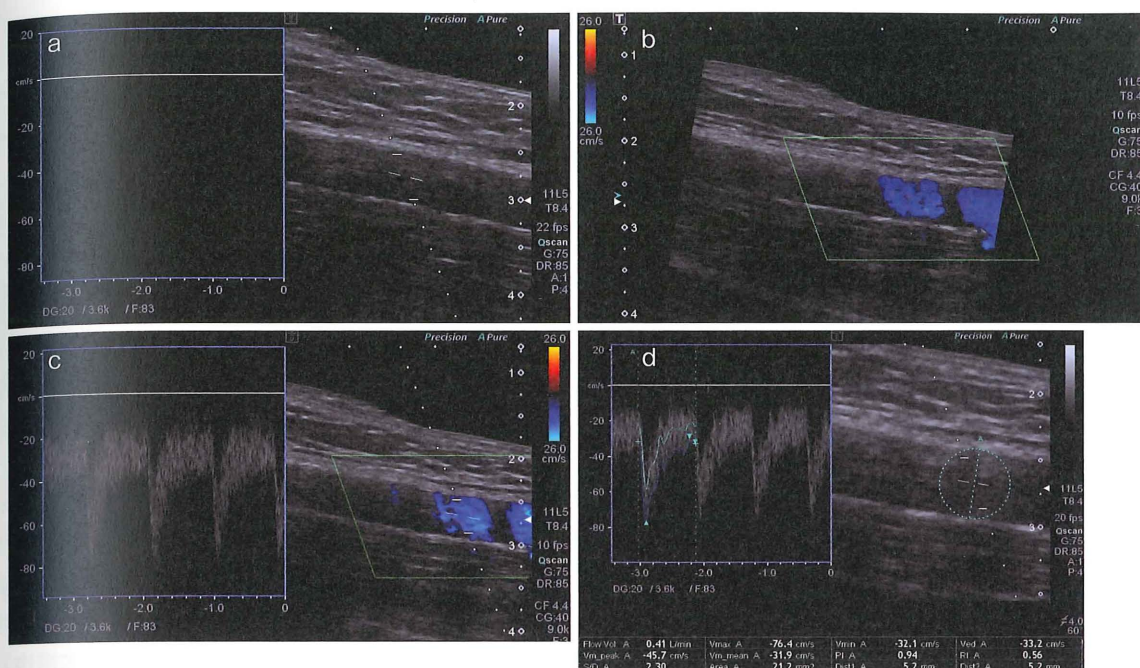


図8 超音波通過不良例における血流量測定のコツ

- a: 上腕動脈の高度石灰化のため血管内に超音波ビームが通過せず、血流速波形が描出できていない。  
 b: カラー Doppler を併用して血管内に超音波が通過する部位を検索する。  
 c: カラー表示された部位にパルス Doppler のサンプルポイントを重ね合わせると、血流速波形の描出が可能となる。  
 d: 計測の際はカラー表示を消し、血管の描出は断層像のみとする。

つきはあるものの、約 10% 程度と認識すれば大きな間違いはないと思われる。

## 2) 確認法

超音波検査による上腕動脈高位分岐の確認は、上腕部にて血管を短軸断面で描出した際に動脈が 2 本観察されればほぼ確定的である。また、上腕動脈が肘窩部で分岐しているかどうかを確認することも重要である。分岐が確認されなければ、上腕動脈の高位分岐を疑う。ただし、上腕動脈高位分岐症例であっても、肘窩で動脈の分岐が確認されることもあるため、完全に否定することはできない。

## 3) 機能評価法

動脈の分岐位置は腋窩部付近に存在することが多く、上腕動脈での機能評価は困難である。筆者らの検討では、分岐後の橈骨動脈と尺骨動脈の血流量の和が上腕動脈血流量と近似するため、両者

の和をもって上腕動脈血流量の代替として評価することが可能であると考えられる<sup>4)</sup>。上腕動脈高位分岐症例においては RI による評価はできない。



### ワンポイントアドバイス

#### 高度石灰化またはポリウレタン製人工血管における測定のコツ

上腕動脈が高度に石灰化している場合や、移植間もないポリウレタン製の人工血管にて機能評価を行う場合は、超音波の通過性が不良であり血流速波形の描出が困難な場合がある (図 8a)。そのような症例では、カラー Doppler により超音波が通過可能な部位を検索し (図 8b)、その部位にパルス Doppler のサンプルポイントを合わせると血流速波形の描出が可能である (図 8c)。計測の際は、カラー Doppler を併用すると血管径の計測が困難なため、血管の描出は断層像のみにする (図 8d)。



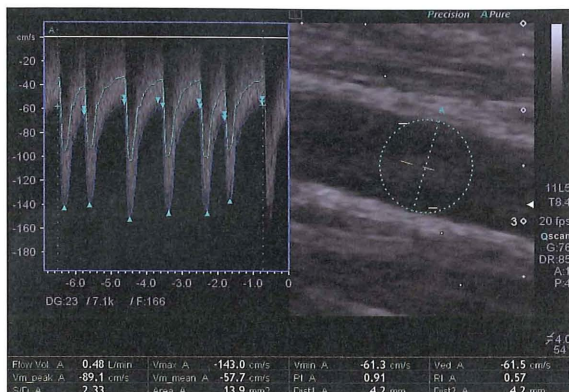


図9 不整脈を有する症例

スイープスピードを遅く設定し、平均血流速度は血流速波形をなるべく多くトレースする。

## 6 不整脈を有する症例における機能評価

不整脈を有する場合は、パルスドプラのスイー

プスピードを変更し、なるべく多くの血流速波形を描出する。そして、平均血流速度を求める際に複数拍トレースすることにより、測定バラつきをおさえることができる(図9)。

### 参考文献

- 1) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, 日野紘子, 角城靖子: 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. 腎と透析, 77 (アクセス 2013): 165 ~ 167, 2013.
- 2) 遠田栄一, 佐藤 洋編集: 超音波エキスパート1 頸動脈・下肢動静脈超音波検査の進め方と評価法, 28, 医歯薬出版, 2004.
- 3) Pelin, C., Zagyapan, R., Mas, N., Karabay, G. : An unusual course of the radial artery. *Folia, Morphol. (Warsz)*, 65 (4): 410 ~ 413, 2006.
- 4) 山本裕也, 中村順一, 中山祐治, 日野紘子, 角城靖子: 上腕動脈の高位分岐症例に対する基礎的検討. 腎と透析, 77 (アクセス 2014): 120 ~ 122, 2014.

(山本裕也)