

超音波による腎動脈病変の標準的評価法

日本超音波医学会用語・診断基準委員会

委員長 廣岡 芳樹

腎動脈超音波診断ガイドライン小委員会

委員長 松尾 汎¹

副委員長 阿部 倫明²

委員 岩嶋 義雄³, 小田代敬太⁴, 佐藤 洋⁵, 高瀬 圭⁶, 平井都始子⁷, 松村 誠⁸,
三木 俊⁹

1. 目的

高齢化や生活習慣病（糖尿病，脂質異常症，高血圧症，喫煙，肥満など）の増加に伴い，今後の増加が予測され，動脈硬化疾患と深く関連する「腎動脈病変」の超音波検査による標準的な評価方法を提示する。

2. 適 応

対象疾患としては，腎動脈狭窄（renal artery stenosis: RAS），腎動脈瘤（aneurysm of renal artery），腎動脈解離（dissection of renal artery）などがある。腎動脈狭窄の原因疾患（動脈硬化性 = atherosclerotic: ARAS，線維筋性異形成 = fibromuscular dysplasia: FMD，高安病，大動脈周囲炎など）や慢性腎臓病（chronic kidney disease: CKD），移植腎の機能評価などにも応用される。

2.1 腎動脈狭窄の評価

1) 発生頻度

RASは，CKDでは65歳以上で6.8%，冠動脈造影実施者で20%，末梢動脈疾患例では35-52%との報告がある。透析を開始した45歳以上の患者の50%以上のARAS有病率は41%で，16%は両側RASであった。また，腎血管性高血圧は，高血圧全体の1-4%程度とされている。

2) 腎動脈狭窄を疑う指標（病態・臨床所見）

～高血圧治療ガイドライン2014（JSH 2014）を

一部改変して引用

腎血管性高血圧の診断の手がかり；

- 30歳以下または50歳以上で発症の重症高血圧
- 増悪する高血圧，利尿剤を含む3剤以上を投与しても抵抗性の高血圧，悪性高血圧
- ACE阻害薬またはARB開始後の腎機能の増悪
- 原因のつかない腎萎縮または腎サイズの左右差（1.5 cm以上）
- 突然の説明のつかない肺水腫
- 腎代替療法患者を含む説明のつかない腎機能障害
- 腹部の血管雑音
- 末梢動脈疾患など他の血管疾患
- 低カリウム血症

3) 腎動脈狭窄の診断法

腎動脈狭窄の診断法として，超音波検査はclass Iに推奨されている（Table 1）。

4) 原因疾患の概略

近年は人口の高齢化に伴うARASが増加しているが，FMDや高安動脈炎などの病態にも注意する。年齢，部位，病変形態，基礎疾患などに注意して鑑別する（Table 2）。FMDは，原因不明の疾患である。主に若い女性から中年の女性にみられる血管症で，腎動脈に60-75%，頭蓋外脳血管に25-30%，内臓の動脈が9%，四肢の動脈が5%程度の関与がある。動脈壁における肥厚部位の違いによる分類では中膜型（90%），内膜型（～10%），外膜型（～1%）に分類される。腎動脈では遠位2/3が好発部位で，

¹松尾クリニック，²東北大学病院総合地域医療教育支援部，腎高血圧内分泌科，³国立循環器病研究センター高血圧・腎臓科，⁴九州大学第一内科，⁵関西電力病院臨床検査部，⁶東北大学病院放射線診断科，⁷奈良県立医科大学中央内視鏡・超音波部，⁸埼玉医大国際医療センター心臓内科，⁹東北大学生理検査センター生理検査部門

Table 1 腎動脈狭窄の診断方法

Class I	
1.	超音波 (Duplex 法)
2.	CT アンジオグラフィ
3.	MR アンジオグラフィ
4.	カテーテル血管造影
Class III	
1.	カプトリル負荷シンチグラフィ
2.	選択的腎静脈レニン活性
3.	血漿レニン活性
4.	カプトリル試験

ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the Management of Patients With Peripheral Arterial Disease (Lower Extremity, Renal, Mesenteric, and Abdominal Aortic) *Circulation*. 2006;113:e463-e654

Table 2 腎動脈狭窄関連疾患の概略 (傾向)

特徴	粥状硬化	FMD	高安動脈炎
年齢	高齢	若年～中年	若年
性別	男性	女性	女性
好発部位	中枢側	中部～末梢側	起始部
患側	両側	片側	両側
その他の特徴	動脈硬化性 高頻度	数珠状病変 頻度約 10%	炎症所見

* 高安動脈炎は大動脈狭窄・縮窄の可能性を留意

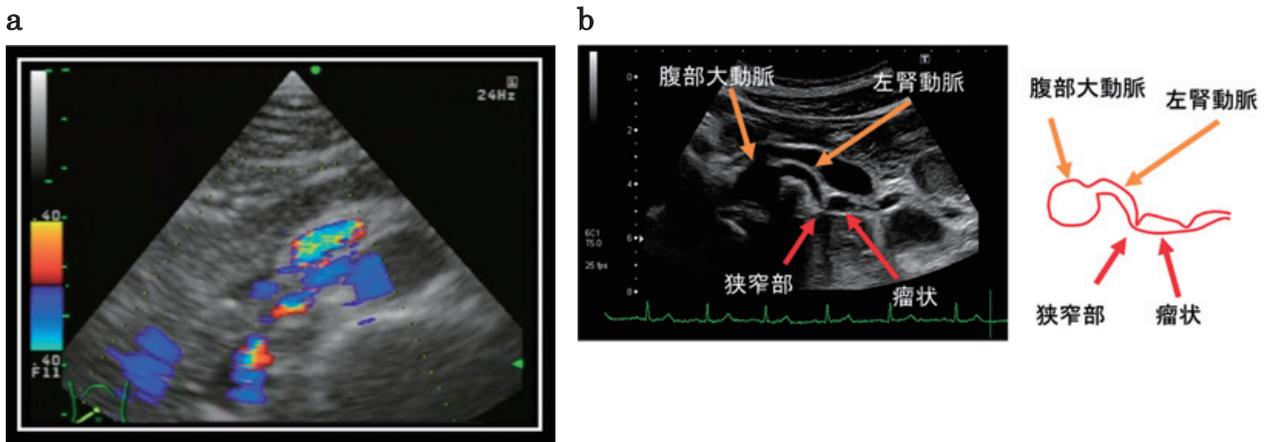


Fig. 1 線維筋性異形成 (FMD) の超音波所見. 心窩部正中腹部横断像 (腎動脈レベル). **a** 右腎動脈病変例, **b** 左腎動脈病変例

特徴的所見として数珠状病変 (string of beads) がみられる (Fig. 1).

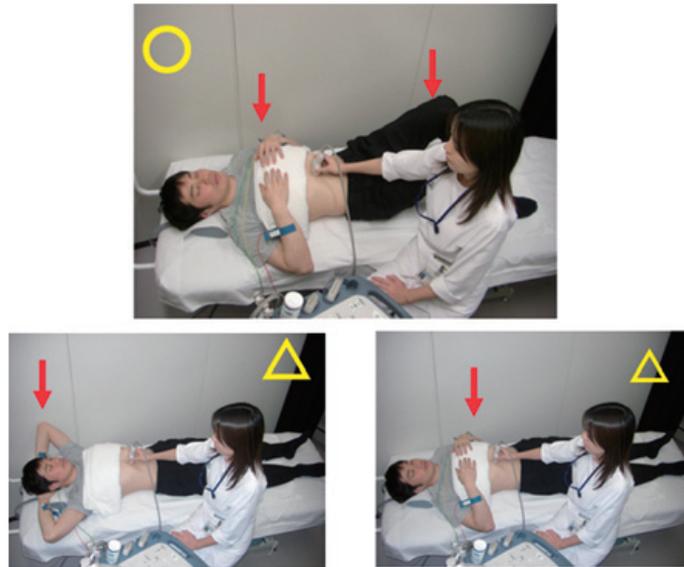
2.2 その他の腎動脈関連病変の評価

超音波は腎梗塞 (renal infarction), 腎動脈瘤, 解離, 動静脈瘻の評価, さらに腎内の動脈 (葉間動脈, 描出困難例では区域動脈) の血流の評価から CKD や移植腎での機能評価にも応用される。

3. 検 査

3.1 被検者の体位とアプローチ法

基本的には仰臥位 (心窩部アプローチが基本で, 手を胸に置き, 軽く膝を立てる) で行う (Fig. 2). また, 遠位部病変, 腎サイズ, 腎内の動脈の評価時は側臥位, 半座位でも可で, 腹臥位での背面アプローチも有用である (Fig. 3). 可能なら絶食 (6時間以上の絶食が望ましい) で実施する. 腸管ガスによる



深く圧迫するには…
 腕を頭側に上げると腹部が張って深く圧迫できない場合があるため、
 腕は足側または胸の上に置くとよい。
 さらに膝を軽く曲げることでより腹部の緊張が取れる場合がある。

Fig. 2 検査時の体位

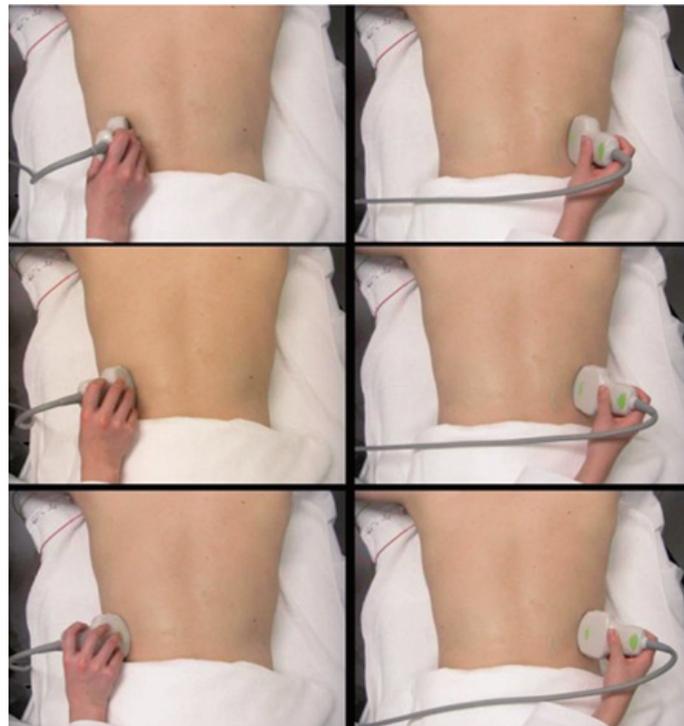


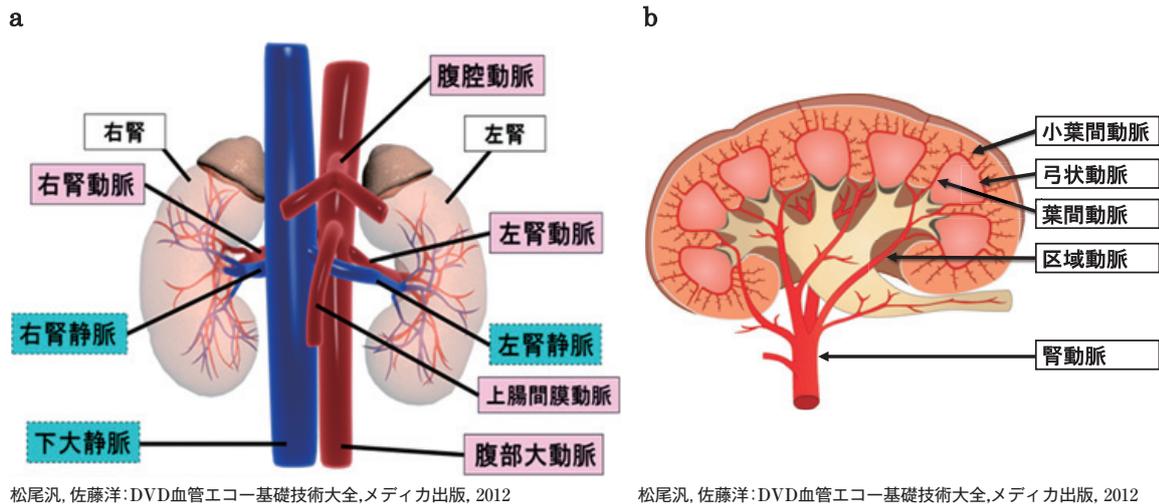
Fig. 3 背面アプローチ

描出不良時には斜位または側臥位にてガスを移動させることで描出できる場合もある。

3.2 探触子の選択と機器の設定

腎動脈超音波検査では、コンベックス型（中心周波数 3.5 - 5 MHz）探触子を使用し、必要に応じて

セクタ型（2.5 - 3.5 MHz）探触子を用いる。機器の初期設定は、ダイナミックレンジは 55、フレームレート（FR）は 20 程度、カラードプラ使用時はカラーエリアを最小限にして FR 10 以上を保つようにする。流速レンジ 30 - 50 cm/s（モザイク血流の



松尾汎, 佐藤洋: DVD血管エコー基礎技術大全, メディカ出版, 2012

松尾汎, 佐藤洋: DVD血管エコー基礎技術大全, メディカ出版, 2012

Fig. 4 a 大動脈・腎動脈の解剖, b 腎動脈の分枝形態

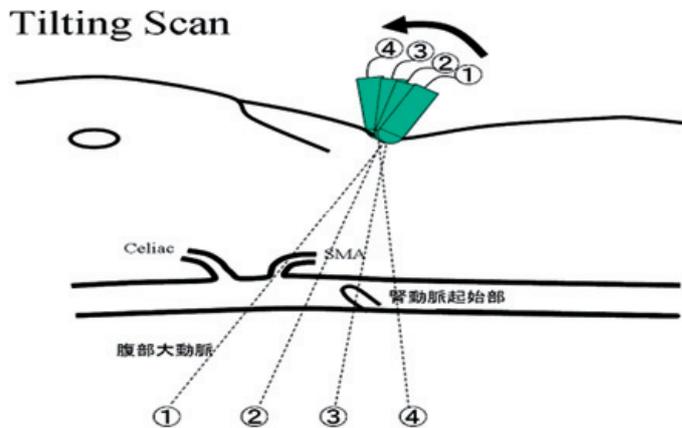


Fig. 5 心窩部からの観察

検出時は適宜設定)を参考にする。腎内血流観察時はカラードプラ流速レンジを 10-20 cm/s に設定する。

3.3 観察領域

大動脈横断像で、腎動脈の起始部を中心に観察する (Fig. 4)。その際、tilting scan 走査が有用である (Fig. 5)。また、側方から腎門部より末梢で腎洞部の区域動脈も含めた腎内血流が観察できる。

3.4 画像の表示方法

画像の表示は、断層法、パルスおよび連続波ドプラ法、カラードプラ法を用いる。

1) 超音波断層像

動脈、腎臓の描出は、被検者の足側から俯瞰し、左側から俯瞰した像 (左が頭側) で表示する (Fig. 6)。腎動脈は左右共、複数本の存在に注意して検索する (Table 3)。大動脈下部から起始する腎動脈にも注意する。

2) カラードプラ法

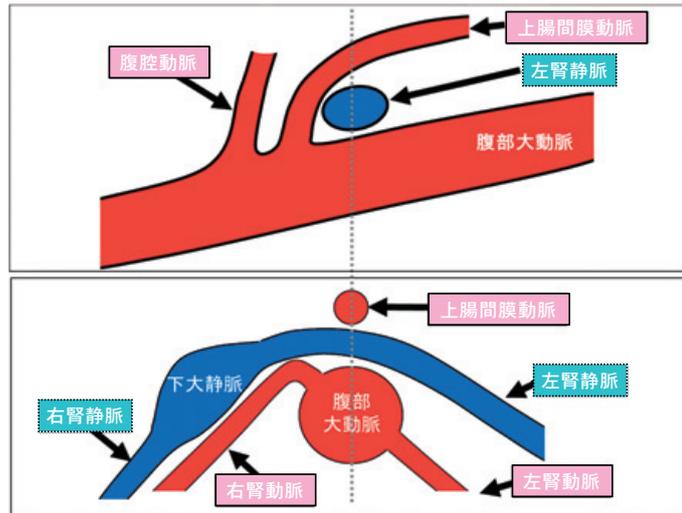
カラードプラ法の表示色相は、原則的に探触子に向かう血流を赤色 (暖色系)、遠ざかる血流を青色 (寒色系) とする (Fig. 7)。ただし、画面にカラーバーを表示すればその限りではない。

腎動脈の検出時に有用である。とくに、乱流シグナルで狭窄、血流シグナルの途絶で閉塞を示唆することから、有用である。

3) パルスドプラ法

ドプラ血流波形の基線に対する血流方向の表示は、探触子に向かう血流を基線より上方 (正の方向)、遠ざかる血流を基線より下方 (負の方向) に表示する (Fig. 7)。ただし、血流方向を記載すればその限りではない。

また、動脈と静脈との鑑別や、血流波形の評価を必要とする場合は、心電図の同時記録が有用である。



松尾汎, 佐藤洋 編集: 超音波エキスパート9 末梢動脈疾患と超音波検査の進め方・評価, 医歯薬出版, 2009

Fig. 6 断層法の表示 (上段: 長軸, 下段: 短軸)

Table 3 左右の腎動脈の本数とその比率 (血管造影)

	1本	2本	3本	4本
右	83%	15%	1%	0%
左	86%	12%	1%	0.2%

腎摘出例 (右 7 例, 左 6 例) を除く (n = 855)

Uğur Özkan, Levent Oğuzkurt, Fahri Tercan, Osman Kızılkılıç, Zafer Koç, Nihal Koca: Renal artery origins and variations: angiographic evaluation of 855 consecutive patients, Diagn Interv Radiol 2006; 12:183-186

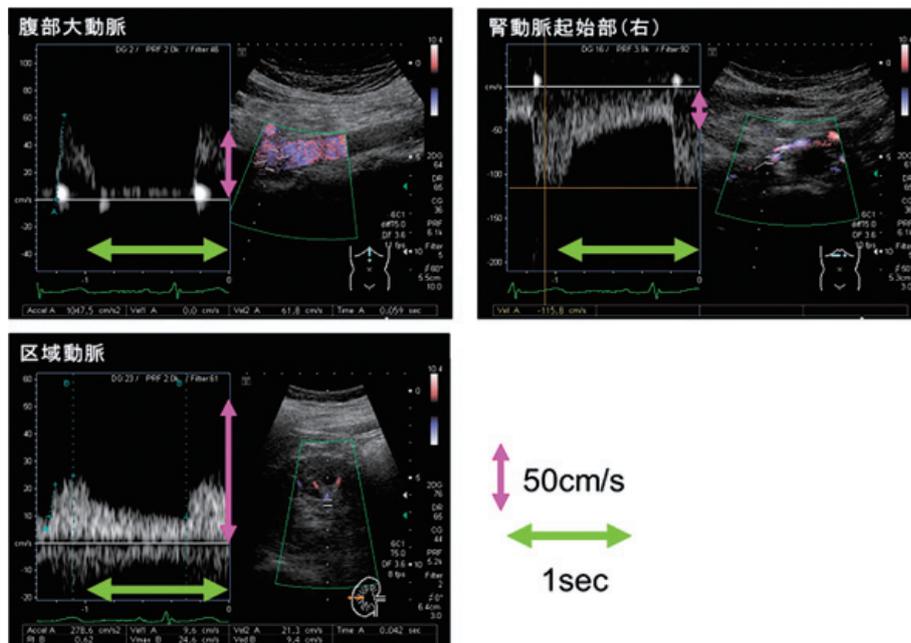
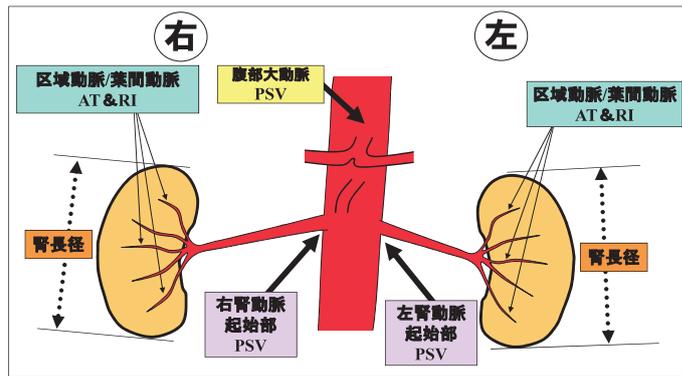
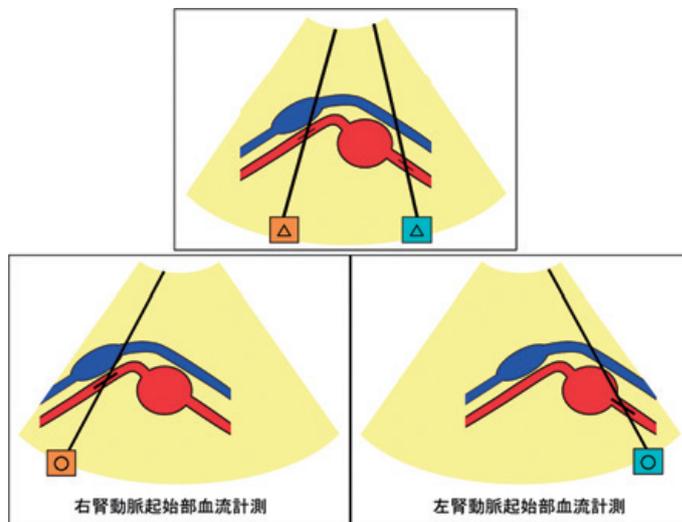


Fig. 7 カラー Doppler 法・パルス Doppler 法による表示方法



AT; acceleration time, PSV; peak systolic velocity, RI; resistance index

Fig. 8 標準的観察部位. (松尾汎, 佐藤洋 編集: 超音波エキスパート9 末梢動脈疾患と超音波検査の進め方・評価, 医歯薬出版, 2009: 一部改変)



松尾汎, 佐藤洋 編集: 超音波エキスパート9 末梢動脈疾患と超音波検査の進め方・評価, 医歯薬出版, 2009

Fig. 9 入射角の設定における工夫

3.5 評価項目の計測と記録

1) 計測項目

必須観察項目は、腎動脈と腎内動脈（腎門部より末梢で腎洞部の区域動脈および葉間動脈も含む）の血流波形、瘤の有無、腎長径サイズとする（Fig. 8）。

2) 計測法

大動脈（Ao）、腎動脈（RA）、腎内の動脈（区域動脈、葉間動脈）で血流速度を計測する。腎動脈狭窄の判定には腎動脈と区域動脈で計測し、機能評価には葉間動脈（あるいは区域動脈）で計測する（Fig. 8）。血流のサンプルポイントは、狭窄部位では当該部位に設定する。サンプルサイズは、通常は血管径でのサイズとし、血管中央部に設定するが、狭窄部位では狭窄径を考慮しやや広いサイズに設定

する。ドプラ入射角は、計測誤差を考慮して60°以内での記録を条件とするが、可能な限り入射角を小さくするように工夫する（Fig. 9, 10）。AoはRA近傍で、RAは起始部で計測するが、FMDでは中間部や遠位部に病変（Fig. 1）があることにも注意して、流速の速い部位の有無も観察し、記録する。

腎内血流の評価は区域動脈、葉間動脈などの内で明瞭に描出できる部位で評価するが、部位は上、中、下の3カ所での計測が望ましい（Fig. 4 b, 8）。葉間動脈も観察する。腎臓では、嚢胞性血管病変（瘤など）の有無や腎長径を計測する。腎サイズの参考値は、右側10 cm、左側10.5 cm（平均値）だが、左右差にも注意する。

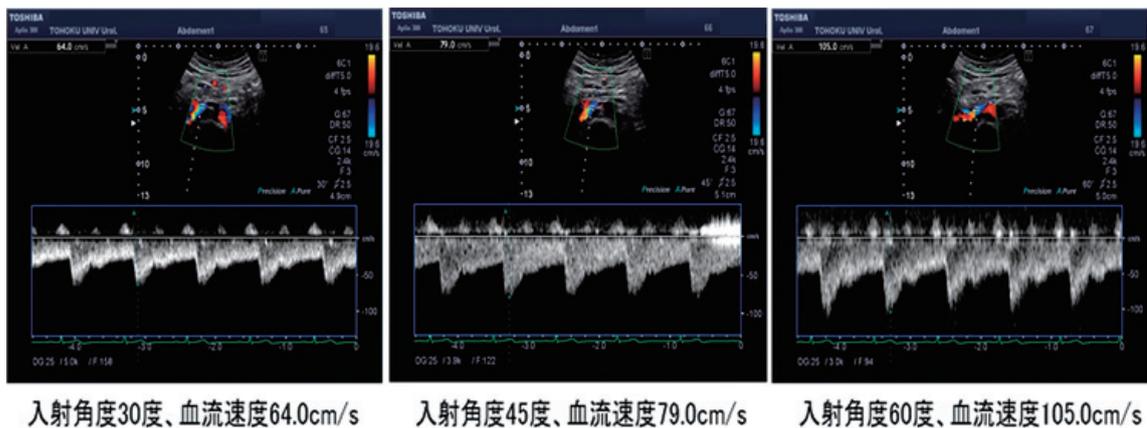


Fig. 10 ドプラ血流波形評価時の入射角による変化（腹部横断像）

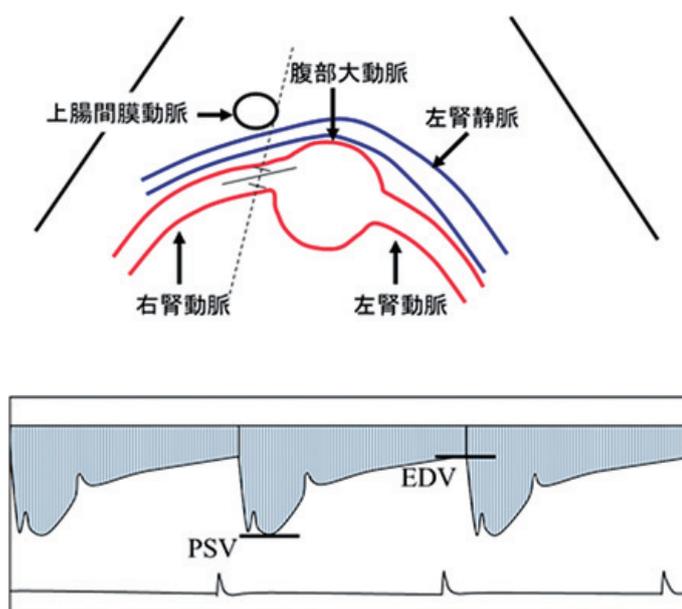


Fig. 11 PSV, EDV の評価

3) 計測指標

- ①収縮期最高血流速度（peak systolic velocity: PSV）・拡張末期血流速度（end-diastolic velocity: EDV）

計測指標は、PSVとEDVで、明瞭な波形で、3心拍以上での評価が望ましい（Fig. 11）。心房細動では、数心拍での平均値を参考に評価する（Fig. 12）。

- ②renal aortic ratio (RAR)

AoとRAでのPSV比（ $RAR = RA/Ao$ ）を求める（Fig. 7, 13）。ただし、大動脈の流速波形に注意し、流速の測定は入射角60度未満とし、実施角度は記載する。

- ③腎内の血流評価

PSV, 加速時間（acceleration time: AT）, 腎長径, RI, 狭窄部位末梢側での乱流の有無なども観察し、計測する。年齢や息止めに伴って、血流の変化があることに注意する。腎内の流速波形では、early systolic peak (ESP) を認めるかの確認をしながら、ATを計測する（Fig. 14）。

- ④ pulsatility index (PI) ・ resistance index (RI)

PIは、 $(\text{収縮期最高血流速度} - \text{拡張末期血流速度}) \div \text{平均血流速度}$ （Fig. 15）で求められ、移植腎での指標に用いられることがある。RIは、 $(\text{収縮期最高血流速度} - \text{拡張末期血流速度}) \div \text{収縮期最高血流速度}$ で求められる（Fig. 15）。

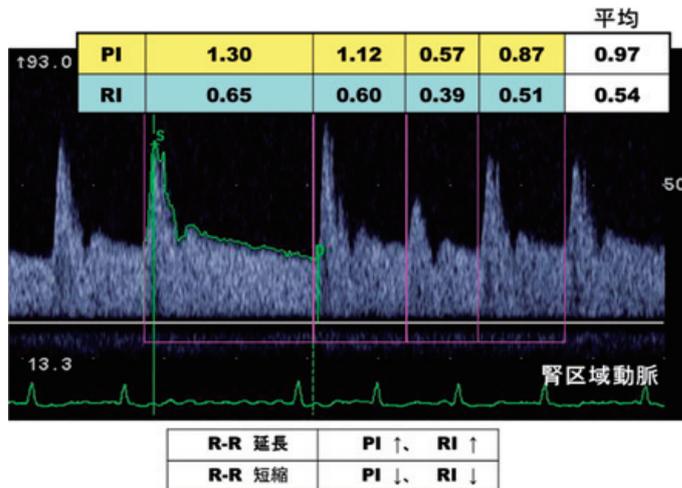


Fig. 12 心房細動時計測の注意点

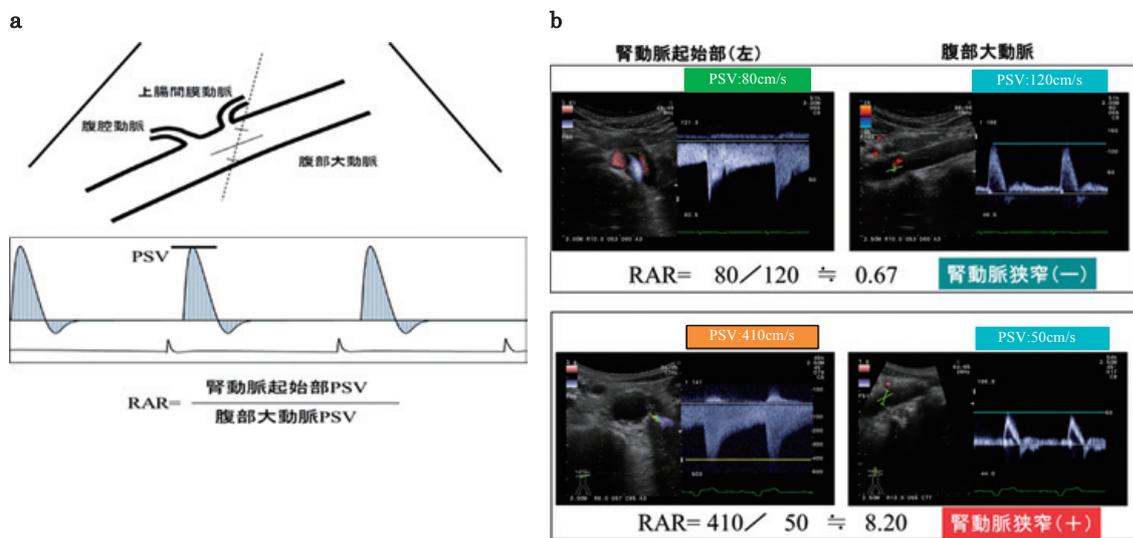


Fig. 13 a RARの算出, b RAR算出例

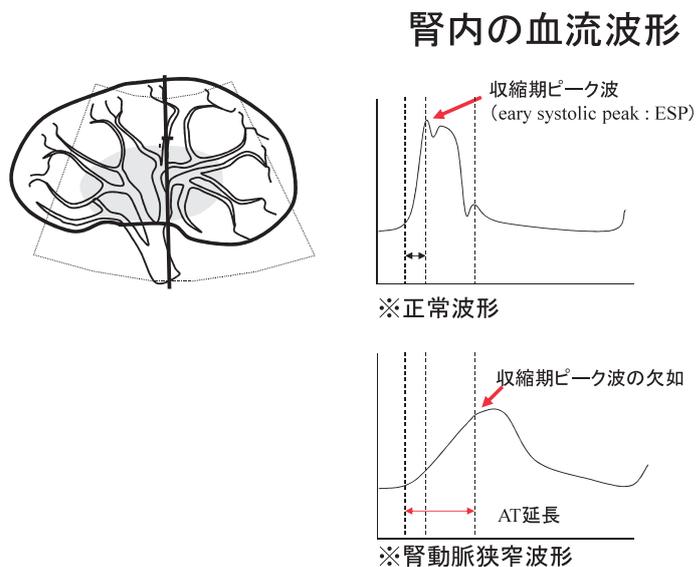


Fig. 14 early systolic peak (ESP)

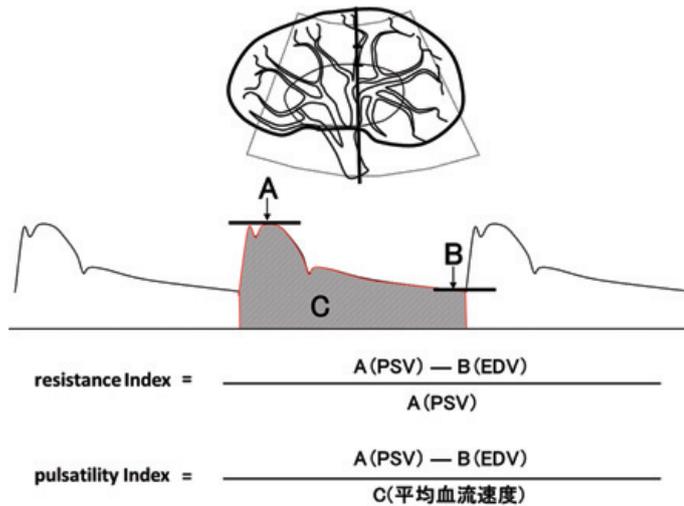


Fig. 15 PI・RI の測定

Table 4 腎動脈狭窄の超音波所見

<直接所見> Peak systolic velocity > 180 cm/s RAR (腎動脈 PSV / 大動脈 PSV) > 3.5 狭窄後乱流	
<間接所見> 腎内の動脈血流 収縮早期ピーク波 (ESP) の欠如 AT (収縮期加速時間) > 0.07 sec 平坦な血流波形 RI の左右差 0.15 <	

Guidelines for the Reporting of Renal Artery Revascularization in Clinical Trials Circulation. 2002;106:1572-1585 より引用

Table 5 経皮的腎動脈形成術 (PTRA) を考慮してよい適応 (JSH2014 より引用)

- ①血行動態的に有為な腎動脈狭窄症を有し,
 - a. 利尿剤を含む3種類以上の降圧薬を使用しても目標の降圧を得られない治療抵抗性高血圧
 - b. 増悪する高血圧
 - c. 悪性高血圧
 - d. 原因不明の片側萎縮腎を伴う高血圧
 - e. 突然発症した原因不明の肺水腫
 - f. 繰り返す心不全
 - g. 不安定狭心症
 - h. 線維筋性異形成 (FMD)
- ②両側 RAS
- ③機能している単腎の RAS を伴う進行性慢性腎疾患

4. 腎動脈病変の評価

4.1 腎動脈狭窄

1) ドプラ法による狭窄率の推定

腎動脈狭窄ではパルスおよび連続波ドプラ法で狭窄部および狭窄後の血流を記録し, AT, PSV や

EDVなどを参考に, 狭窄率を推定することができる (Table 4). RASの血行再建術の適応は, 未だ議論がある (Table 5).

- ①AT: 腎内の血流波形での AT は, 通常は 70 msec 未満で, 100 msec (120 msec) 以上は異常で, 観察部位の中枢側の狭窄病変を疑う

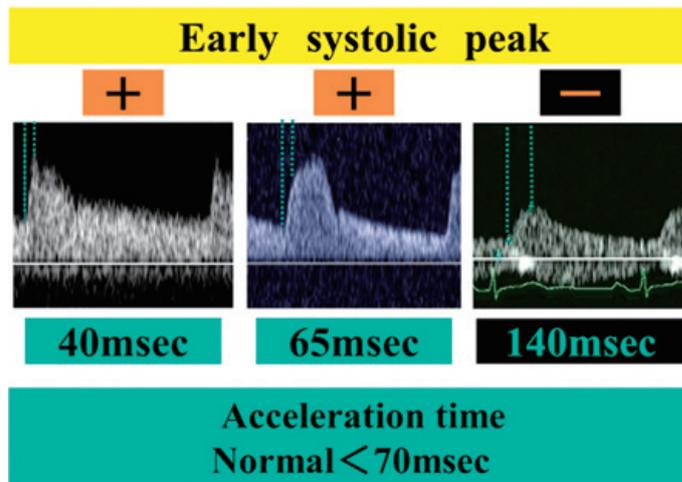


Fig. 16 流速波形による評価 (AT)

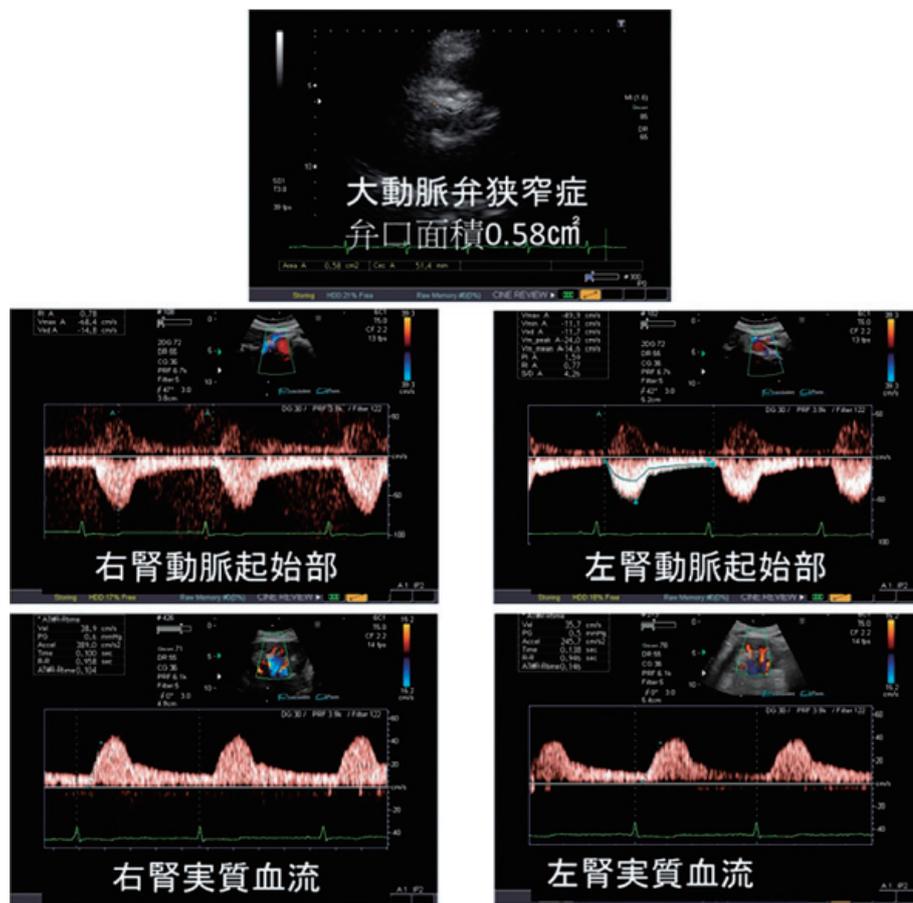


Fig. 17 大動脈弁狭窄症例での血流波形

(Fig. 16). なお、高度の大動脈弁狭窄症や大動脈縮窄症では末梢全ての血流波形の AT が延長する (Fig. 17).

- ②PSV：腎動脈は、通常 100 cm/s 前後であり、狭窄部位では高流速を示し、PSV > 180 cm/s または EDV > 90 cm/s で有意狭窄と判定する。

狭窄率は、50%以上狭窄で 180 cm/s、60%以上では 3 m/s 以上とされている。また、超音波は無侵襲であるため繰り返し検査が可能で、ステント留置後の観察にも有用である。再狭窄判定基準は、PSV > 220 cm/s が参考にされている。腎内の血流では、PSV 25 cm/s 程度を参考にする。

	腎機能正常	腎動脈狭窄	腎機能低下
ESP	有り	無し	有り
RI	0.58	0.61	0.85
AT	50msec	140msec	55msec

松尾汎, 佐藤洋 編集: 超音波エキスパート9 末梢動脈疾患と超音波検査の進め方・評価, 医歯薬出版, 2009

Fig. 18 RIによる評価

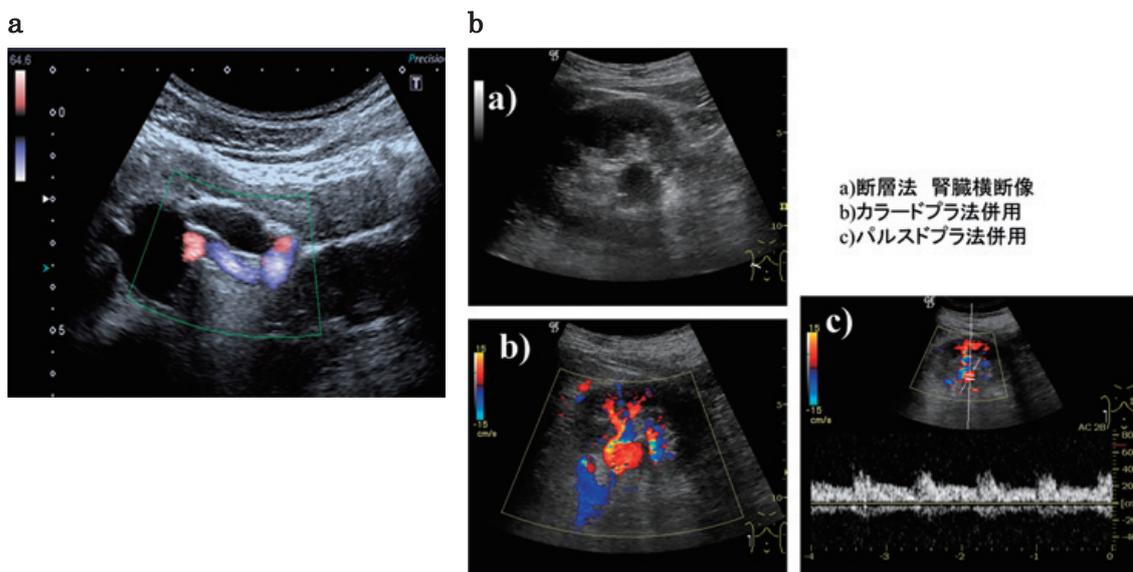


Fig. 19 a 腎動脈瘤 (左) の超音波所見 (腹部横断像), b 腎動脈瘤の超音波所見

③RAR (renal aortic ratio : Fig. 13) : RAR は, 3.5 以上 (大動脈での血流は上腸間膜動脈の末梢部位とする) などの指標を基に総合的に判断する。
④RI (resistance index) : RI は腎機能の増悪とともに高値になり, また頸動脈内膜中膜複合体の肥厚, 心臓肥大, 腎機能障害との関連や, 高血圧患者の予後と関連することが報告されている。血行再建の予測因子として応用されており, RI > 0.8 の場合は, 血行再建術の効果が低い (ただし, 高度狭窄時の RI は低値となることがある) とされている (Fig. 18) が, 年齢, 息止めなどの因子も関連する。また, RI は大動脈弁逆流

症で増加する場合があるため留意する。また, 通常, RI 左右差は 0.15 未満である。

⑤PI (pulsatility index) : PI は, 移植腎での指標に用いられることがある。

2) 腎動脈瘤 (aneurysm of renal artery) (Fig. 19) 動脈硬化による真性瘤, 外傷や生検後にみられる仮性瘤がある。真性瘤では, 腎動脈に連続する囊胞性病変全体 (壁在血栓により一部欠損する場合もある) にカラー表示が観察される。動静脈シャントを伴う場合には, 拍動性の乏しい波形を示すことで鑑別できる。瘤最大径を外膜間距離で計測する。腎動脈瘤は無症候に偶然発見されることが多く, 稀だが

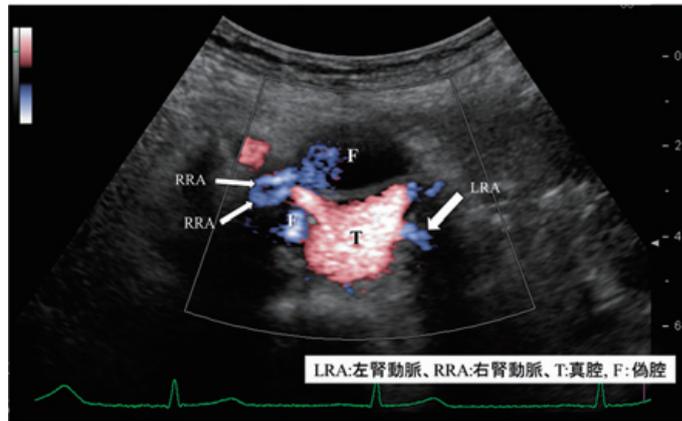
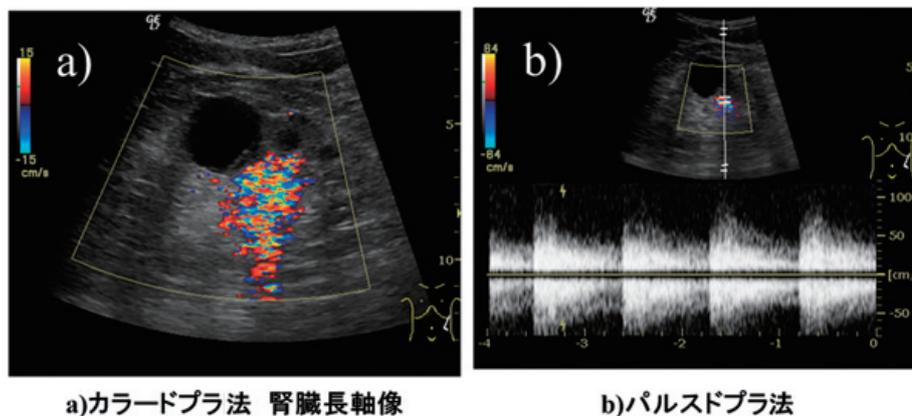


Fig. 20 大動脈解離の腎動脈への波及（腹部横断像）



a)カラードプラ法 腎臓長軸像

b)パルスドプラ法

Fig. 21 腎生検後の動静脈シャント（後天性）

腹痛などで診断されることもある（破裂率0.1%前後）。超音波検査では、拡張性病変として評価できる。形態は嚢状が紡錘状より多く、瘤径（1.5 cm 以上で破裂リスクが指摘されており、2-2.5 cm 以上で適応）を計測して、石灰化の有無、拡大傾向の評価、腎血管性高血圧の可能性や、妊娠・出産の計画の有無などを考慮し、治療法を決定する。

3) 腎動脈解離（dissection of renal artery）

腎動脈解離は、大動脈解離に合併して発症すること（大動脈解離の波及：Fig. 20）が殆どであるが、時にカテーテル検査時など医原性にもみられる。腎動脈内腔が、中膜レベルで解離した「フラップ」(内膜と、中膜の一部からなる)によって二腔となっていること、すなわち中膜レベルに生じた新たな腔（偽腔）の存在が解離診断の根拠となる。

4) 動静脈瘻（arterio-venous fistula）

先天性の動静脈奇形と後天性の外傷性や医原性（生検時など）の動静脈シャントがある。Bモードのみでは診断できず、カラードプラ法でモザイク状

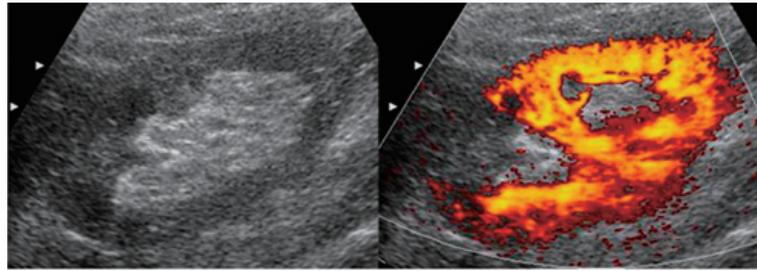
のカラーアーチファクトを呈する（Fig. 21）。病変部血流速度は高速乱流となり、拡張末期血流が上昇してPI, RIは低下する。動静脈奇形は、aneurysmal type と cirroid type に分類される。Aneurysmal type では瘤状部分がBモードで描出可能だが、ともにカラードプラ法での観察が必須である。

5) 腎梗塞（renal infarction）

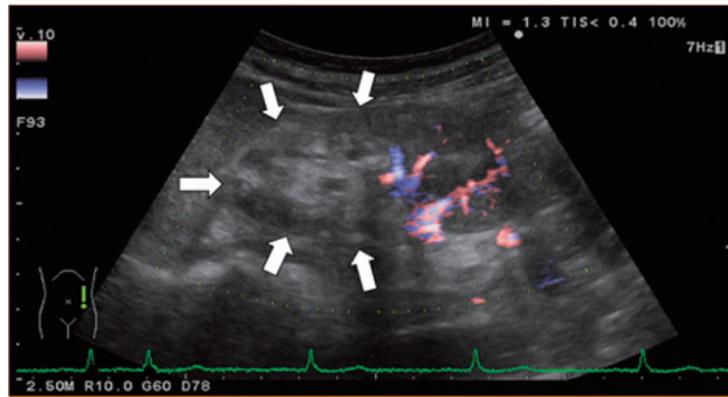
心房細動などでの塞栓子、手術やカテーテル手技などに起因して発症する。急性期はBモードのみでは診断できず、カラードプラ法でのカラー表示の欠損として描出される（Fig. 22）。パワードプラ法が有用で流速レンジを下げ、カラーゲインを上げて、多方向から角度を変えて観察する。

6) 腎移植後の評価

腎移植後の評価にも、エコーの応用が可能である（Fig. 23）。カラードプラ法の意義は血管性病変（梗塞、吻合部狭窄：Fig. 24、生検後の動静脈シャントなど）の除外と拒絶反応の評価が中心となる。検査のポイントは、カラー（パワー）ドプラ法で、腎



パワードプラ法



カラードプラ法

Fig. 22 腎梗塞急性期の超音波像（腎臓長軸像）

移植腎

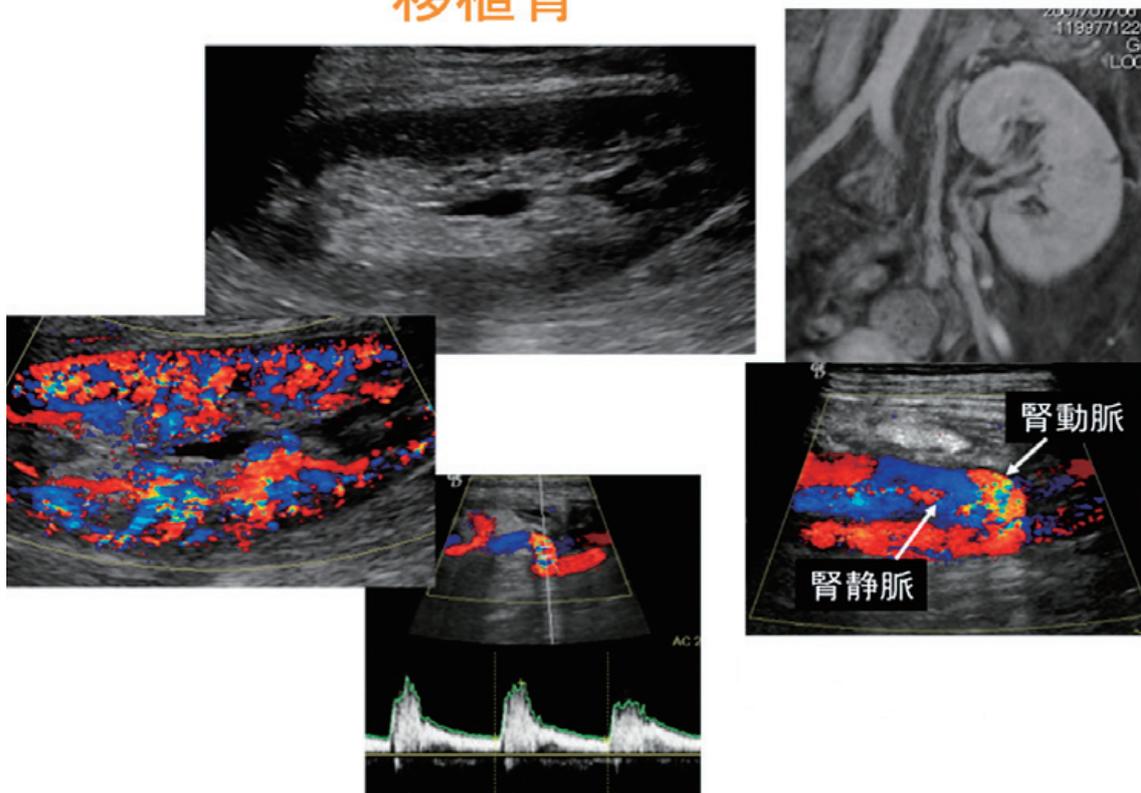


Fig. 23 移植腎への超音波検査（右上段は造影MRI）

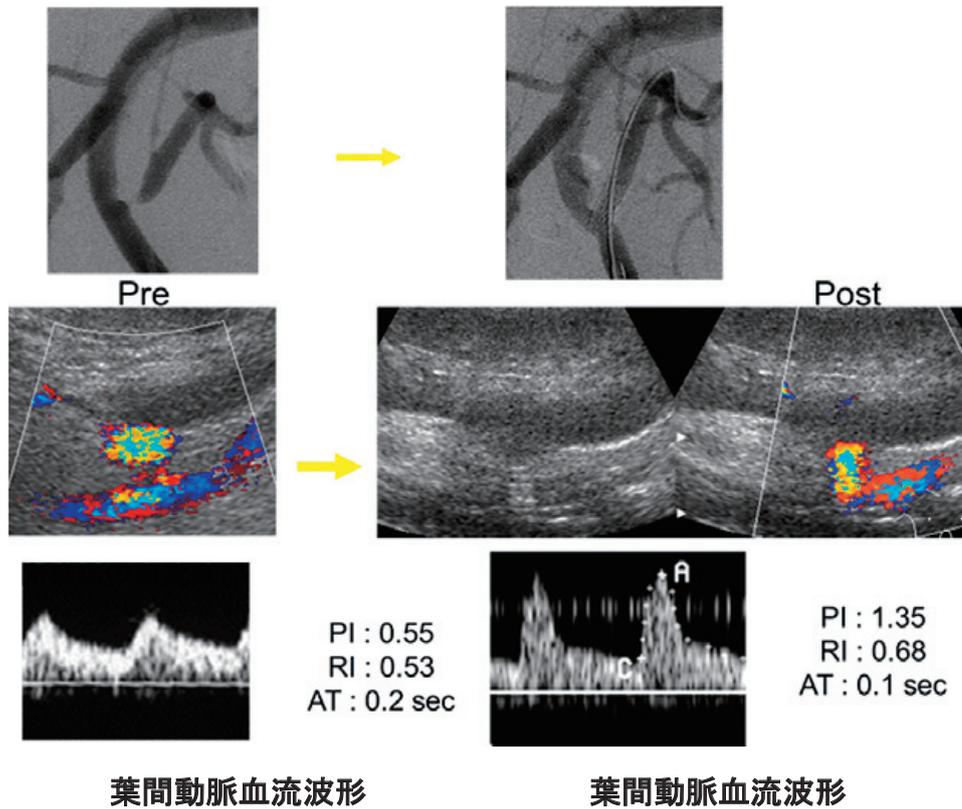


Fig. 24 吻合部狭窄の治療前後

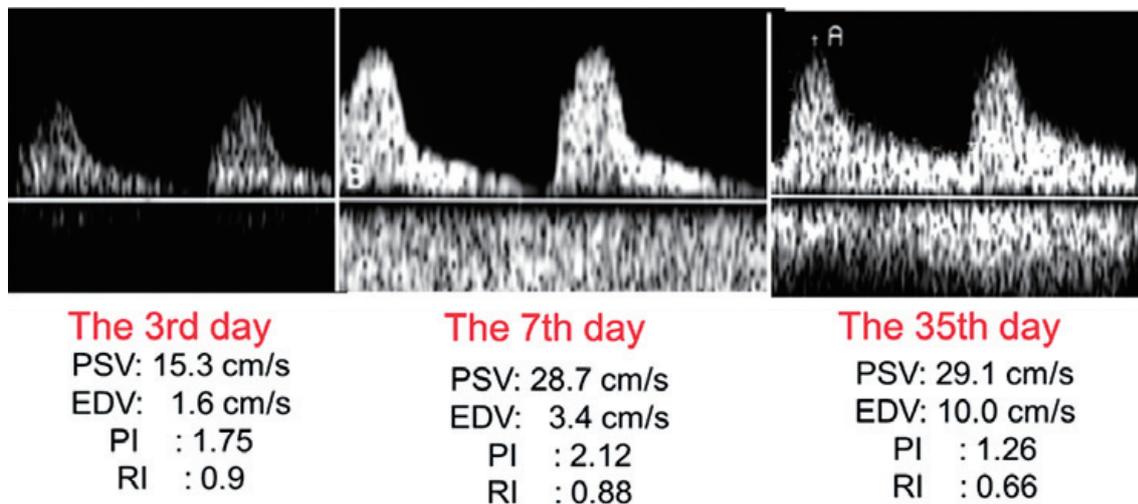


Fig. 25 移植腎の経過観察（腎実質内動脈血流波形）

臓全体のカラー表示を確認すること、葉間動脈の血流波形を数カ所計測すること、さらに腎動脈吻合部のカラー表示と血流波形を計測することである。

① 血管性病変

梗塞 (Fig. 22) や生検後の動静脈シャント (Fig. 21) における超音波所見は前述したが、Bモードのみでは異常を指摘できない。動静脈シャントではカラードプラ法で、シャント部周囲に組織の

振動によるモザイク状のカラーアーチファクトがみられる。病変部の血流波形は血流速度の速い乱流となり、動静脈シャントの存在を反映して、拡張末期血流が上昇し、PI、RIが低下する。吻合部狭窄に関しては、1-5%に発症し、腸骨動脈の動脈硬化による狭窄、吻合部または腎動脈本幹の術後合併症である。狭窄部のPSVが2 m/s以上または腎動脈のPSV/腸骨動脈の

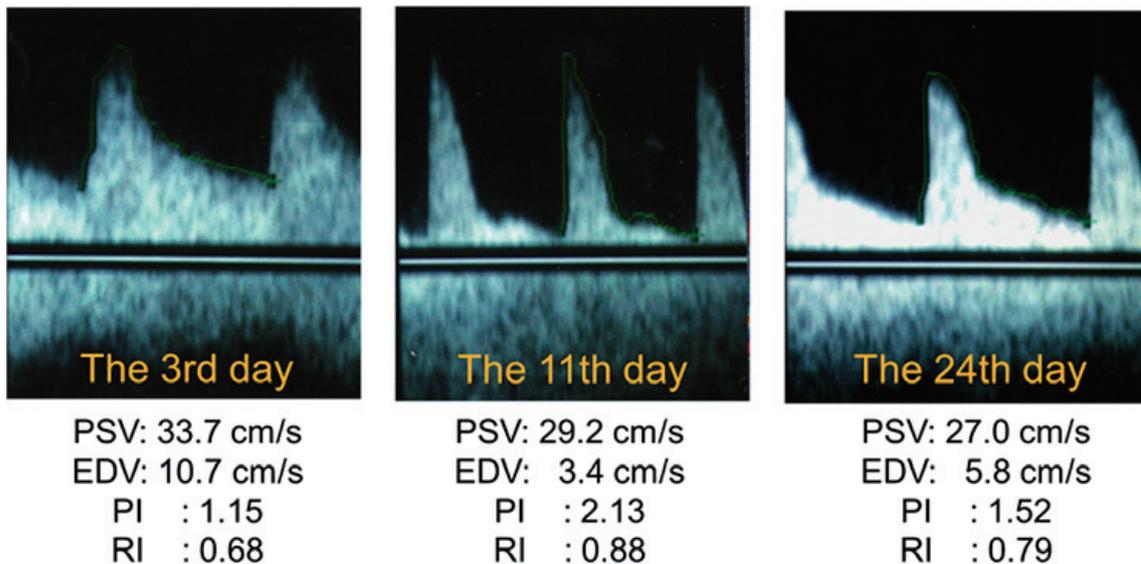


Fig. 26 移植腎での拒絶反応の評価（腎実質内動脈血流波形）

PSV 3.5 以上を有意狭窄とする。

② 拒絶反応の評価

急性拒絶反応の診断や死体腎移植直後の急性尿細管壊死（acute tubular necrosis: ATN）から離脱までの評価は、刻々と変化する病態に対応するため、侵襲無く繰り返し施行できる超音波検査が適している（Fig. 25）。拒絶反応や ATN では葉間動脈の拡張期血流速度が低下する。重症の拒絶反応と静脈血栓症では、拡張期早期に逆流を認める。静脈が開存しているかどうかの確認が重要である。移植腎の急性拒絶反応時は、収縮期のピーク形成には変化を認めないが、末梢血管抵抗の上昇を反映し、拡張期の血流が著明に低下し、PI, RI の上昇を認める（Fig. 26）。

付記

今回の標準的評価法作成に当たり、2014 年現在の報告や施行状況から指標や実施法を作成したが、今後の研究や報告により改訂が必要となる内容もあることを付記する。

参考：腎動脈エコー検査の評価結果の報告

超音波による動脈の評価結果を報告する際には、正確に分かりやすく指示医・主治医に伝えるため、病変の有無や性状を図示し、計測値も併せて提示することを推奨する。

文 献

（案作成に当たって参考とした文献。順不同）

- 1) Textor SC. Progressive hypertension in a patient with “incidental” renal artery stenosis. *Hypertension*. 2002; 40(5):595–600.
- 2) Rihal CS, Textor SC, Breen JF, et al. Incidental renal artery stenosis among a prospective cohort of hypertensive patients undergoing coronary angiography. *Mayo Clin Proc*. 2002;77(4):309–16.
- 3) Hansen KJ, Edwards MS, Craven TE, et al. Prevalence of renovascular disease in the elderly: a population-based study. *J Vasc Surg*. 2002;36(3):443–51.
- 4) Rundback JH, Murphy TP, Cooper C, et al. Chronic renal ischemia: pathophysiologic mechanisms of cardiovascular and renal disease. *J Vasc Interv Radiol*. 2002; 13(11):1085–92. Review.
- 5) Vachharajani TJ, Dacie JE, Yaqoob MM, et al. Detection of occult renovascular disease in unexplained chronic kidney disease. *Int Urol Nephrol*. 2005;37(4):793–6.
- 6) Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzner NR, et al. ACC/AHA 2005 Practice Guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic). *Circulation*. 2006;113(11): e463–654.
- 7) Anderson JL, Halperin JL, Albert NM, et al. Management of patients with peripheral artery disease (compilation of 2005 and 2011 ACCF/AHA guideline recommendations): a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2013;127(13):1425–43.
- 8) Shimamoto K, Ando K, Fujita T, et al. The Japanese Society of Hypertension Guidelines for the Management of Hypertension (JSH 2014). *Hypertens Res*. 2014;37(4):253–387.
- 9) Krumme B. Renal Doppler sonography—update in clinical nephrology. *Nephron Clin Pract* 2006;103:c24–8.
- 10) Tublin ME, Bude RO, Platt JF. Review. The resistive index in renal Doppler sonography: where do we

- stand? *AJR Am J Roentgenol* 2003;180:885–92.
- 11) Doi Y, Iwashima Y, Yoshihara F, et al. Association of Renal Resistive Index with Target Organ Damage in Essential Hypertension. *Am J Hypertens.* 2012;25(12):1292–8.
 - 12) Doi Y, Iwashima Y, Yoshihara F, et al. Renal resistive index and cardiovascular and renal outcomes in essential hypertension. *Hypertension.* 2012;60(3):770–7.
 - 13) Gao J, Ng A, Shih G, et al. Intrarenal Color Duplex Ultrasonography A window to Vascular Complications of Renal Transplants. *J Ultrasound Med* 2007; 26: 1403–18.
 - 14) Yamashita T, Ito F, Iwakiri N, et al. Prevalence and predictors of renal artery stenosis in patients undergoing cardiac catheterization. *Hypertens Res* 2002;25: 553–7.
 - 15) Harding MB, Smith LR, Himmelstein SI, et al. Renal artery stenosis: prevalence and associated risk factors in patients undergoing routine cardiac catheterization. *J Am Soc Nephrol* 1992;2:1608–16.
 - 16) Hansen KJ, Edwards MS, Craven TE, et al. Prevalence of renovascular disease in the elderly: A population-based study. *J Vasc Surg* 2002;36:443–51.
 - 17) Webster J, Marshall F, Abdalla M, et al. Randomised comparison of percutaneous angioplasty vs continued medical therapy for hypertensive patients with atheromatous renal artery stenosis. *J Hum Hypertens* 1998; 12:329–35.
 - 18) Plouin PF, Chatellier G, Darne B, et al. Blood pressure outcome of angioplasty in atherosclerotic renal artery stenosis - A randomized trial. *Hypertension* 1998;31: 823–9.
 - 19) van Jaarsveld BC, Krijnen P, Pieterman H, et al. The effect of balloon angioplasty on hypertension in atherosclerotic renal-artery stenosis. *N Engl J Med* 2000;342: 1007–14.
 - 20) Balk E, Raman G, Chung M, et al. Comparative effectiveness of management strategies for renal artery stenosis: A systematic review. *Ann Intern Med* 2006;145: 901–12.
 - 21) Leertouwer TC, Gussenhoven EJ, Bosch JL, et al. Stent placement for renal arterial stenosis: Where do we stand? A meta-analysis. *Radiology* 2000;216:78–85.
 - 22) Murphy TP, Cooper CJ, Dworkin LD, et al. The Cardiovascular Outcomes with Renal Atherosclerotic Lesions (CORAL) Study: Rationale and methods. *J Vasc Interv Radiol* 2005;16:1295–300.
 - 23) Watson PS, Hadjipetrou P, Cox SV, et al. Effect of renal artery stenting on renal function and size in patients with atherosclerotic renovascular disease. *Circulation* 2000;102:1671–7.
 - 24) Rocha-Singh KJ, Ahuja RK, Sung CH, et al. Long-term renal function preservation after renal artery stenting in patients with progressive ischemic nephropathy. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;57:135–41.
 - 25) Muray S, Martin M, Amoedo ML, et al. Rapid decline in renal function reflects reversibility and predicts the outcome after angioplasty in renal artery stenosis. *Am J Kidney Dis* 2002;39:60–6.
 - 26) Beutler JJ, Van Ampting JMA, Van de Ven PJG, et al. Long-term effects of arterial stenting on kidney function for patients with ostial atherosclerotic renal artery stenosis and renal insufficiency. *J Am Soc Nephrol* 2001;12:1475–81.
 - 27) Campo A, Boero R, Stratta P, et al. Selective stenting and the course of atherosclerotic renovascular nephropathy. *Journal of Nephrology* 2002;15:525–9.
 - 28) Radermacher J, Chavan A, Bleck J, et al. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal artery stenosis. *N Engl J Med* 2001; 344:410–7.
 - 29) Zeller T, Frank U, Muller C, et al. Stent-supported angioplasty of severe atherosclerotic renal artery stenosis preserves renal function and improves blood pressure control: Long-term results from a prospective registry of 456 lesions. *Journal of Endovascular Therapy* 2004; 11:95–106.
 - 30) Dorros G, Jaff M, Mathiak L, et al. Multicenter Palmaz stent renal artery stenosis revascularization registry report: Four-year follow-up of 1,058 successful patients. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;55:182–8.
 - 31) Cardaioli P, Rigatelli G, Giordan M, et al. Effective prevention of massive periprocedural embolism during renal artery stenting. *Cardiovasc Revasc Med* 2006;7(4):246–9.
 - 32) Holden A, Hill A, Jaff MR, et al. Renal artery stent revascularization with embolic protection in patients with ischemic nephropathy. *Kidney Int.* 2006;70(5): 948–55.
 - 33) Freedman BI, Hsu FC, Langefeld CD, et al. Renal artery calcified plaque associations with subclinical renal and cardiovascular disease. *Kidney Int.* 2004;65(6): 2262–7.
 - 34) Krumme B, Hollenbeck M. Doppler sonography in renal artery stenosis—does the Resistive Index predict the success of intervention? *Nephrol Dial Transplant.* 2007; 22(3):692–6.
 - 35) Williams GJ, Macaskill P, Chan SF, et al. Comparative accuracy of renal duplex sonographic parameters in the diagnosis of renal artery stenosis: paired and unpaired analysis. *AJR Am J Roentgenol.* 2007;188(3):798–811.
 - 36) Prevalence of atherosclerotic renal artery stenosis in patients starting dialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2003;18:1147–51.
 - 37) Guidelines for Noninvasive Vascular Laboratory Testing: A Report from the American Society of Echocardiography and the Society of Vascular Medicine and Biology. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2006