新たな内シャント血流の評価方法の考案とその臨床的意義

脇坂 佳成¹ 三浦 徳宣²¹放射線第一病院循環器科²愛媛大学医学部附属病院泌尿器科

キーワード：内シャント血流量，再狭窄，上腕動脈血流，経皮経管的血管形成術，血液透析血流量

〈要旨〉

上腕動脈の超音波検査による抵抗係数（RI）と上腕動脈血流量（FV）と体血圧から導いた内シャント推定血流量（eSF）を考案し，その指標を内シャント血流係数（SFI）とする．過去3年間に2回以上経皮経管的血管形成術（VAIVT）を受けた79症例で評価した．特異度90%の条件でVAIVT前後のSFIの血流低下に対する感度は，RIやFVよりも勝っていた．その症例の中で脱血穿刺部位の解剖学的状況から脱血流量（Qb）とシャント血流量が近似すると考える47回のVAIVT直前状態においてSFIと近日の体血圧から算出したeSFの誤差は，Qbの $15 \pm 22\%$ であった．VAIVT間のSFIの経時的変化からVAIVTの介入時期を予測可能か検討した．SFIの減少速度は約7割の症例で経過中に変動し，種々の減少パターンを認めた．SFIとeSFは，内シャント血流量の評価に適するが，VAIVT介入時期の予測に適しない．

A new method for estimating blood flow through arteriovenous fistulas and grafts in patients undergoing hemodialysis

Yoshinari Wakisaka¹, Yoshinori Miura²¹Department of Cardiology, Hoshasen-daichi Hospital²Department of Urology, Ehime University Graduate School of Medicine

Keywords: blood flow through arteriovenous fistula, restenosis, brachial artery blood flow, vascular access interventional therapy, quantity of hemodialysis blood flow

〈Abstract〉

The shunt blood flow rate (eSF) of arteriovenous fistulas (AVF) and grafts was estimated using a new method based on the flow volume (FV), the resistance index (RI), and systemic blood pressure. The shunt flow index (SFI), which was created by removing systemic blood pressure parameters from the eSF formula, was compared with the FV and the RI in 79 chronic renal failure patients who underwent more than two rounds of vascular access intervention therapy (VAIVT) to allow hemodialysis (HD) to continue within three years. The sensitivity of the SFI for detecting critical blood flow reductions in AVF was evaluated just before VAIVT. The SFI was more sensitive than the FV and RI at a specificity of 90%, which was measured soon after VAIVT. The eSF was compared with the maximum quantity of blood flow (Qb) during HD in 47 patients, who were selected from the 79 patients because their eSF seemed to be similar to the maximum Qb just before VAIVT. The difference between the eSF and the maximum Qb was $15 \pm 22\%$ of the maximum Qb. The rates of reduction in the SFI between two VAIVT procedures changed in an irregular manner in about 72% of the 79 cases. The SFI and eSF are valuable methods for evaluating shunt blood flow through AVF, but are poor at forecasting the optimal dates for subsequent VAIVT procedures.

緒 言

内シャントの血流を現在, 聴診や触診に加えて超音波検査で評価しているが, これらで内シャントの経皮経管的血管形成術 (vascular access interventional therapy: VAIVT) の至適な介入時期を予測する方法は確立していない¹⁻³⁾. また超音波検査による抵抗係数 (resistance index: RI) と上腕動脈血流量 (flow volume: FV) を内シャント血流の指標とする報告もあるが^{4,5)}, これらの指標の精度不足が予測を難しくしている一因と考えた. そこで, 上腕動脈の超音波検査と血圧測定によって RI や FV よりも正確に内シャント血流量を推定する方法を考案した. そして, この方法で VAIVT 後に再狭窄を起こす症例の内シャント血流量の経時変化を観察した.

I. 方 法

1. 内シャント流量の推定方法

RI と FV に加えて非シャント上肢で測定した血圧を用いて内シャント血流量を推定する. 推定にあたり, 下式の局所的血管抵抗モデルを参考にした⁶⁾.

局所血管抵抗 =

(局所平均動脈圧 - 局所平均静脈圧) / 局所血流量

上式において局所平均静脈圧は動脈圧に比べて小さいので無視した場合に下式となる.

局所血管抵抗 = 局所平均動脈圧 / 局所血流量 …………… (a)

動脈硬化の軽い健常者の上腕動脈血流は, 拡張末期にも順行性血流を認めるが, 内シャントが閉塞した多くの症例において拡張末期に上腕動脈の順行性血流を認めない⁷⁾. そして, その閉塞した内シャントを再開通させると拡張期末に順行性血流を認めるようになる. よって, 拡張末期の上腕動脈の血流はすべて内シャントに流出すると仮定して拡張末期の内シャント血管系の血管抵抗 (SVR) を式(a)で表すと下式(b)となる.

SVR = Pmini / (EDV · S) …………… (b)

Pmini: 上腕動脈の最低血圧, EDV: 超音波検査で測定した上腕動脈の心臓拡張末期血流速度,

S: EDV を測定している上腕動脈内腔断面積

他方, 収縮期の上腕動脈血流は前腕全体に還流しているので, 前腕全体の最高血圧時の血管抵抗 (AVR) は下式(c)となる.

AVR = Pmax / (PSV · S) …………… (c)

Pmax: 上腕動脈の最高血圧, PSV: 超音波検査で

測定した上腕動脈の心臓収縮期の最高血流速度

SVR と AVR は, 平均血圧時の値と異なるので, それらを係数で補正して導き出した推定内シャント血流量 (shunt flow) を考案した.

BPmean = FV · AVR · α = shunt flow · SVR · β

Shunt flow = FV · AVR / SVR · (α/β) + γ …………… (d)

BPmean: 上腕動脈の平均血圧, α: 平均血圧時の前腕全体の血管抵抗を AVR で除した値, β: 平均血圧時内シャント系の血管抵抗を SVR で除した値, γ: SVR の推定で生じた誤差

式(d)に式(b)と式(c)を代入すると下式になる.

Shunt flow

= FV · (Pmax/Pmini) · (EDV/PSV) · (α/β) + γ

= (α/β) · FV · (Pmax/Pmini) · (1 - RI) + γ …………… (e)

上式(e)の妥当性を下記の比較試験で検討する.

1) 内シャントの推定血流量の比較試験

対象は, 当院および近隣施設で血液維持透析 (hemodialysis: HD) を受けている 83 名 (男性 59 名, 女性 24 名, 年齢 75.0 ± 11.2 歳 (中央値 ± 標準偏差), 糖尿病患者 31 名, 血液透析期間 3.9 ± 4.9 年) のタバコ窩もしくは前腕に作製された自己血管動静脈瘻症例が 82 名, 橈骨動脈に吻合されている人工血管使用動静脈瘻症例が 1 名である. 同一の臨床検査技師が超音波検査機器 (日立製作所製 AVIUS, リニアプローブ: 5-18 MHz) を用いて臥位の患者のシャント肘窩で上腕動脈の血流を測定し, 超音波検査機器に内蔵されるソフトウェアを用いて RI と FV を算出する. 引き続いて動静脈吻合部付近 (人工血管症例は人工血管と静脈の吻合部付近) で内シャント流出静脈を手動的に圧迫閉鎖させて再度測定した. この臥床時に非内シャント側の肘で自動血圧計 (TERUMO 電子血圧計 H65) を用いて血圧を測定した. 内シャントが流れている状態で測定した FV を FV(flow) とし, 内シャントを圧迫閉鎖して計測した FV を FV(ob) とした. FV(flow) と FV(ob) の差を閉塞法による内シャント血流量 (FV(flow - ob)) とする. 可能な限りこの超音波検査を肘窩の 2 箇所で行い, その平均値を用いる. 流速測定に際してドップラ入射角の補正は, 46.0 ± 7.4 度 (最大値 56 度) となっている. 式(e)に α/β = 1 および γ = 0 を代入した暫定式(f)を用いて FV と同時に測定した RI と血圧から算出した値を暫定 shunt flow とし, 閉塞時に測定した数値から算出したものを shunt flow (0 mL/min) とする. 内シャントの血流遮断の判断基準は, 超音波検査で測定した心臓拡張末期の上腕動脈の血流速度が 0 mL/min 以下もしくは明らかに流出静脈を指と橈骨の間で触診上圧迫閉塞できている症例であ

る。暫定的 shunt flow と FV(flow-ob) の関係および shunt flow (0 mL/min) と FV(ob) の関係を調べる。閉塞法で算出した内シャント血流量を今回考案した推定方法で説明できるか回帰分析し、その回帰式から α/β と γ を求め、これらを代入した式(e)を用いて推定シャント血流量 (estimated shunt flow rate: eSF) を算出することにした。

2) 内シャント血流量の変化が血圧比 (Pmax/Pmini) に及ぼす影響

VAIVT の前後に上腕動脈血流と同時に血圧を測定した症例が少ないので、eSF から血圧比を除いた FV と $(1-RI)$ の積を shunt flow index (SFI) として、SFI で eSF の代わりに内シャント血流量の低下を評価できるか検討する。すなわち、内シャント血流量の変化が血圧比に及ぼす影響を調べる。対象は、VAIVT 当日術前の朝と VAIVT 翌朝の HD 施行直前に血圧を測定した 43 名 (男性 30 名, 女性 13 名, 年齢 76.7 ± 11.3 歳, 糖尿病患者 25 名, 血液透析期間 2.9 ± 3.9 年) で、その内の 39 症例は VAIVT 当日に HD を受けて、4 名は VAIVT 後 2 時間 HD を受けて翌朝も 2 時間 HD を受けている。VAIVT 当日の HD は回路充填量しか除水していない。患者を臥位にして自動血圧計で 2 回計測した血圧の平均値を用いる。

2. SFI と eSF による臨床経過観察

対象は、当院および近隣施設で HD を受けていて 2014 年 1 月から 2017 年 12 月までに当院で 2 回以上 VAIVT を受けた患者の中で、先の VAIVT 直前から次の VAIVT 直後までシャント肢を超音波検査で経過観察されている 79 症例である。全例がタバコ窩もしくは前腕に作製された自己血管動静脈瘻症例である。この期間中に 3 回以上 VAIVT を受けた患者がいたので、重複しない 104 回の VAIVT の処置前後のデータを用いて検討する。症例数は 32 名 (男性 21 名, 女性 11 名, 年齢 77.4 ± 12.5 歳, 糖尿病患者 12 名, 血液透析期間 2.9 ± 4.4 年) である。超音波検査方法は、先の試験と同様である。VAIVT の介入基準は、HD の脱血流量を 200 mL/min とした時に狭窄が原因と思われる脱血不良を認めた場合もしくは超音波検査で流出静脈の狭窄部位の内径が 1.5 mm を下回った場合とした。ただし、VAIVT 後 90 日以内に血管内径が 1.5 mm 以下に再狭窄しても脱血流量が 200 mL/min を維持できる症例は、脱血不良になるまで VAIVT を先送りした。対象症例において超音波検査による上腕動脈血流の状態を VAIVT の介入基準から除外している。超音波検査の検査間隔は、主に 4 週間である。ドプラ入射角度の補正は、 41.0 ± 8.6 度 (最大値 59 度) である。対象症

例の VAIVT の処置間隔は、 99.0 ± 142.7 日 (平均値 143.9 日) である。VAIVT 当日から 3 日前に超音波検査で測定した責任病変の血管内径は、 1.3 ± 0.3 mm である。この症例群で以下の項目を評価する。

1) SFI の感度の評価

VAIVT 直前と直後をそれぞれ「処置必要な状態 (positive)」と「処置不要な状態 (negative)」とした場合に、上記の VAIVT 直前の計測値に対して positive と判定する SFI の感度を RI や FV に対する多重比較 (Bonferroni 法) によって評価する。positive と判定する閾値は、VAIVT 直後の計測値に対して negative と判定する特異度が 0.9 となる値とする。SFI がこの閾値で positive と negative に判定する症例数を FV および RI と個別に比較する。検定方法は、McNemar 検定 (有意水準 5%) である。

2) VAIVT 直前の eSF の誤差の評価

臨床観察対象の中で VAIVT の直前に超音波検査と同時に血圧を測定した症例が少ないので、全例 VAIVT 前 3 日以内に行われた HD の開始直前に臥位で測定された血圧比を用いて eSF を算出する。VAIVT 直前の HD の脱血流量が不明な症例を除外した中で、内シャント全体の血流量と HD の脱血流量が構造的に近いと思われる VAIVT 直前状態 (n: 47, 男性 16 名, 女性 7 名, 年齢 75.2 ± 13.4 歳, 糖尿病患者 8 名, 血液透析期間 2.5 ± 3.7 年) において eSF を VAIVT 直前の HD の脱血流量と比較する。すなわち、VAIVT 当日術前の超音波検査時に狭窄部位の直上の皮膚に印を入れて撮影された前腕の写真を元に高度狭窄病変が HD の脱血用穿刺部位より動静脈吻合部側にあり、体表からわかる大きな側枝が高度狭窄病変より吻合部側にない症例を対象とする。VAIVT 直前の HD における開始時の脱血流量と終了直前の流量が異なる場合はその平均値を用いる。HD の脱血流量と eSF の差の絶対値を HD の脱血流量で除したものを誤差率として eSF を HD の脱血可能血流量の予測値とした場合の誤差を評価する。

3) SFI から推定した内シャント血流の経時的変化

経時的に観察される 79 症例は、先の VAIVT 直後から次の VAIVT 直前までの間に全例 3 回以上の超音波検査を受けている。個々の症例の SFI の減少パターンを主観的に 4 種類 (直線状, 階段状, 放物線状, L 字状) の中から一つ選ぶことにする。この減少パターンで近似式を作成した場合の決定係数 (R^2) は、0.85 以上である。この 4 種類に当てはまらないパターンを分類不能とする。

図 1 暫定的な内シャント推定血流量と閉塞法による内シャント血流量の関係

図 2 血圧比の VAIIT 前後の変化
箱は四分位範囲を示し、ひげは 10%点と 90%点を示す。

II. 結 果

1. シャント血流量推定方法の評価

暫定式による非閉塞時の shunt flow は、中央値が 624.5 mL/min で四分位範囲が 359.6–1,143.8 mL/min であった。暫定式(f)による推定内シャント血流量は、閉塞法による血流量と正の相関を示し、その R^2 は 0.9724 であった(図 1)。ゆえに考案した推定方法は適切と考え、その回帰式である下式(g)に従って eSF を算出した。

$$eSF = 0.901 \cdot FV \cdot (1 - RI) \cdot (P_{\max}/P_{\min}) + 32.0 \dots \dots (g)$$

2. 内シャント血流量の増加が血圧比 ($P_{\max}/P_{\min}$) に及ぼす影響

VAIIT 前後の血圧比を全体的にみると、それぞれ 1.90 ± 0.27 と 1.90 ± 0.29 で近似する(図 2)。個々の症

図 3 SFI の VAIIT 前後の変化
箱は四分位範囲を示し、ひげは 10%点と 90%点を示す。

図 4 FV の VAIIT 前後の変化
箱は四分位範囲を示し、ひげは 10%点と 90%点を示す。

例において VAIIT 後の血圧比は VAIIT 前の $102.7 \pm 1.1\%$ で少し増加していた。血圧比は測定ごとに変動しているが、全体としては血流改善に伴う血圧比の変化を認めない。よって、eSF に代わって SFI で同一症例の内シャント血流量の経時的変化を評価可能と判断した。

3. SFI の感度

SFI と FV の VAIIT 直後の 10% 点 (10percentile) の値は、それぞれ VAIIT 直前の 90.6% 点と 84.0% 点に相当する 182.7 と 492.5 であった(図 3, 4)。RI は血流改善によって減少するので、RI の VAIIT 直後の 90% 点の値は、VAIIT 直前の 25.7% 点に相当する 0.695 であった(図 5)。すなわち、特異度が 0.90 となる SFI と FV と RI の感度は、それぞれ 0.906, 0.840, 0.743 であった。SFI と FV および SFI と RI のそれぞれで比較した positive と negative の症例数は表 1 のようになり、「SFI と FV および SFI と RI の感度が等しい」という帰無仮説を立てた時の p 値は、それぞれ 0.0233 と 0.001 未満となった。よって、特異度を 0.9 とした時に SFI は、FV と RI に比べて統計学的有意差をもって感度が高い。

図 5 RI の VAIIT 前後の変化
箱は四分位範囲を示し、ひげは 10%点と 90%点を示す。

表 1 FV と RI に対する SFI の感度の個別比較

それぞれの評価方法による陽性 (positive) の症例数と陰性 (negative) の症例数

	FV positive	FV negative
SFI positive	87	7
SFI negative	0	10

	RI positive	RI negative
SFI positive	76	18
SFI negative	1	9

4. VAIIT 直前における eSF の誤差

評価対象とする VAIIT 直前の HD の脱血流量と eSF は、 200 ± 25.9 mL/min と 197.3 ± 62.4 mL/min であった。誤差率は、 $15.2 \pm 22.1\%$ である (図 6)。

5. SFI による内シャント血流の経過観察

SFI の減少速度が一定の症例を 22 例と減少速度が変動する症例を 57 例認め (表 2)、その実例を図 7 に示した。SFI の減少速度が変動する症例の内訳は階段状の低下が 19 例、放物線状の低下が 19 例、L 字状の低下が 8 例と規則性を認めない症例が 11 例であった。階段状減少パターンは全例 90 日以上開存しており、90 日以上の処置間隔症例群の中で一番多かった。90 日以上の長期開存症例の中で階段状以外の減少パターンの症例数はパターン間に大差がなく、減少パターンと処置間隔にも明らかな傾向はない (図 8)。90 日以上無処置で開存しているので狭窄の進行が緩やかと考えられるのに SFI の減少が不規則な症例を 6 例認めた。無処置期間が 90 日未満の中では直線状と放物線状の減少パターンが多い傾向であった。

図 6 VAIIT 直前の HD の脱血流量と eSF の関係

Ⅲ. 考 察

1. AVR および SVR の算出において肘の静脈圧を無視する影響

健常者の肘の平均静脈圧は、7 mmHg⁸⁾とされる。今回血圧比を算出した時に計測した VAIIT 前後の最高血圧と最低血圧の中央値は 131.0/70.0 mmHg である。シャント肢の肘の静脈圧を健常者の数値で代用して誤差を計算すると、肘の静脈圧を除外することによって AVR/SVR は実際より約 5% 小さくなると推定する。

2. 上腕動脈の拡張末期血流量が及ぼす eSF の誤差

今回閉塞法と比較検討した透析患者 83 名のシャント閉塞時の RI は 1.00 ± 0.036 (平均値 0.990) で、その内の 79 名は、上腕動脈の拡張末期の順行性血流を認めていない。よって、推定 shunt flow と閉塞法による推定血流量がよい相関を示すが、拡張末期血流が多い透析患者の eSF は、誤差が大きい可能性がある。

3. 高度狭窄病変が HD の脱血部位より流出側にある症例や動静脈吻合部付近に大きな側枝がある症例の VAIIT 直前の HD の脱血流量と eSF の関係

79 症例の 104 回の VAIIT において VAIIT 直前の HD の脱血流量が判明し、高度狭窄病変が脱血部位より流出側にある症例や動静脈吻合部付近に大きな側枝を有する術前状態を 26 回認める。この症例群の VAIIT 直前の eSF は、HD の脱血流量と近似していない。eSF は、シャント吻合部から静脈に流出する総血流量の推定であるので、内シャントの形態によって eSF から推定する HD の脱血可能血流量の誤差は異なる。

表 2 SFI 減少パターン別の症例数

	直線状	非直線状			
		階段状	放物線状	L字状	分類不能
無処置間隔が90日以上 of 症例	10	19	8	6	7
無処置間隔が90日未満 of 症例	12	0	11	2	4
処置間隔によらない症例	22	19	19	8	11

図 7 4 種類の変動する SFI 減少パターンの実例

図 8 各々の SFI の減少パターンと処置間隔日数の関係

4. SFI および eSF の有用性

SFI は, RI と FV を個別に評価することと比べて両者の測定誤差を相乗的に内包する短所を有する可能性がある. しかし, 今回の結果は FV と RI の片方の数値だけが VAIVT の介入を示唆するような上腕動脈血流の評価が難しい症例を SFI によって一元的に評価できることを示している. 超音波検査測定結果は, 施行者間のバリエーションが危惧される⁹⁾が, eSF は個々の検査施行者が閉塞法と比較試験を行って誤差を評価できることも FV や RI より優れていると考える.

閉塞法は簡便に測定できることが多いが, 吻合部付近で完全にシャント流出静脈を閉塞できない症例や前腕の圧迫による橈骨動脈末梢血流の阻害が疑われる症例を経験したので, eSF は閉塞法に比べて手技に影響されにくい利点を有すると考える.

内シャント流出静脈の狭窄部位, HD の脱血部位および側枝の位置関係から適した症例を選ぶと, eSF を HD の脱血可能血流量の指標として利用できる. ただし, VAIVT 直前の eSF は脱血流量に対する R^2 が低かったので, 脱血流量に大きく影響するその他の因子が存在する.

5. 今回の VAIVT の適応基準の妥当性

対象症例の VAIVT 直前の FV が 372.0 ± 137.2 mL/min なので, 一般的基準と比較して本研究の VAIVT の介入時期は妥当と考える¹⁰⁾.

6. eSF の補正方法

比較試験における FV(ob) が 140 ± 103 mL/min だったことは健常者と比べると少ないが妥当と思われる^{11,12)}. しかしながら, FV(ob) が 30~50 mL/min で指のチアノーゼを認めない症例を少なからず認めるので FV(ob) は実血流量よりも少ない可能性がある. 内シャントの血流が少ない症例では FV(ob) の誤差の影響が大きくなるので, 閉塞法の誤差率が大きい可能性がある.

7. 内シャント血流の経過

多くの症例で観察期間中に SFI の減少速度は変動している. SFI の減少パターンは症例によって異なっている. SFI の減少速度が一定でない症例を 4 種類に分類しているが, 現状ではこれらの分類に影響する要因を見出せない. 図 7 の L 字状減少パターン症例において SFI が 100 付近の日まで減少パターンが直線状減少と判別できないので, 内シャントの血流量の過去の経過だけで将来の血流減少を予測することが困難と思われる. 今後 VAIVT 後の血流減少の解析を進めて次の超音波検査や VAIVT 介入の至適時期を予測する方法を検討したい.

全体の約 14% の症例で狭窄の進行と連動せずに SFI が不規則に変動していた. これは, 血圧比の変動を含む推定方法の誤差も影響するが, それ以外の要因も疑われる. 循環動態が近似する状態で検査するのが好ま

しいので, 超音波検査を HD 開始直前もしくは直後に統一すべきと考える. 当院透析室でポータブル超音波検査器を用いてエコーガイド下に留置針を穿刺する手法が導入されているので, HD 開始時直前の eSF の測定を検討したい.

結 語

1. 今回考案した内シャント血流量の指標である SFI は, 既存の評価方法よりも血流低下に対する感度が高い. SFI と血圧比の積である eSF は, 内シャント血流量の評価に有用であると考え.
2. 内シャント血流量の経過観察を行った結果, 再狭窄による血流低下の過程が個々の症例で大きく異なると考える. よって, 内シャント血流量の推定だけでは VAIVT 介入時期の予測は困難である. しかし, 内シャント血流量の経過観察は, 再狭窄の進行を把握するのに有用と考える.

本研究は愛媛大学医学部附属病院の臨床研究倫理審査委員会にて研究実施の承認を受けている (受付番号: 1809025).

本論文内容は, 第 22 回日本アクセス研究会学術集会・総会で発表した.

COI開示: 筆者に開示すべき COI 関係にある企業はない.

統計処理とグラフ作成: 統計処理とグラフ作成は, Excel 2007 と KyPlot 5.0 を用いている.

謝辞: 論文作成と倫理委員会申請にあたり丹司望氏の協力を得ている.

文献

- 1) 尾上篤志, 大野卓志, 高橋計行, 吉本忍, 今田聡雄. 超音波検査における前腕内シャント狭窄の検出とシャント機能不全の予測. 大阪透析研究会誌 2002; 20: 65-8.
- 2) 山本裕也, 日野紘子, 小林大樹, 中山祐治, 中村順一. 超音波パルスドップラ法による自己血管内シャント機能評価の有用性. 超音波検査技術 2011; 36: 219-23.
- 3) 春口洋昭. シャント機能とは? 大平整爾監, 春口洋昭編. バスキュラーアクセス診断学. 東京: 中外医学社, 2012; 32-44.
- 4) 柳沢良三, 峰正英, 雨宮裕, 矢崎恒忠, 菊池史. 超音波 B モードパルスドップラ複合法によるシャント不全の早期診断. 透析会誌 2003; 36: 1255-8.
- 5) 日本 IVR 学会 VAIVT ワーキンググループ. 血液透析用バスキュラーアクセスのインターベンションによる修復 (VAIVT: Vascular Access Intervention Therapy) の基本的技術に関するガイドライン第 1 版. 2016; 5-6.
- 6) James J. Smith, John P. Kampine. Circulatory Physiology Second Edition. 東京: 医学書院, 1989; 18-34.
- 7) 小林大樹, 山本裕也, 中山裕治, 平中俊行. 超音波パルスドップラ法における血流波形とシャント狭窄との関連性について. 腎と透析別冊アクセス 2007; 63: 189-92.
- 8) 村田和彦, 細田瑳一. 循環器病学第 2 版. 東京: 医学書院, 1987; 423.
- 9) 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 2011; 44: 855-937.
- 10) 山本裕也. 血管超音波とバスキュラーアクセス. 春口洋昭編. バスキュラーアクセス超音波テキスト. 東京: 医歯薬出版, 2011; 53-62.
- 11) James J. Smith, John P. Kampine. 特殊部位への循環 (小林明芳訳). 村松準監訳. 循環の生理第 2 版. 東京: 医学書院, 1989; 196-239.
- 12) 小川智也. 内シャントの血行動態. 大平整爾監, 春口洋昭編. バスキュラーアクセス診断学. 東京: 中外医学社, 2012; 27-31.