

超音波パルスドプラによる下肢動脈狭窄診断の信頼性

清水 信幸¹ 佐々木久雄² 鈴木 健二¹

要 旨：超音波パルスドプラによる外科治療の適応となる 75% 狭窄診断の信頼性を確かめるため、下肢動脈造影法(digital subtraction angiography; DSA)を Gold Standard として比較した。狭窄部 / 狭窄前部の血流速比(peak velocity ratio; PVR)、最大収縮期血流速度(peak systolic velocity; PSV)、拡張末期血流速度(end diastolic velocity; EDV)の相関性と有意差を確認した。PVR は PSV より相関性が高かった。狭窄率 76~99% で PVR : 5 以上, PSV : 3 m/s 以上の値が得られ、狭窄度診断のカットオフ最適値を決定した。このカットオフ値をもとに下肢動脈狭窄の診断をすると狭窄病変(76~99%)において超音波パルスドプラの感度は 84%, 特異度 75% であった。

(J Jpn Coll Angiol, 2011, **51**: 197-201)

Key words: ultrasound pulsed doppler, digital subtraction angiography, peak systolic velocity(PSV), peak velocity ratio(PVR)

はじめに

近年、血管エコー検査は末梢動脈疾患、バイパスグラフト、ステント留置術前後などにおいて病変診断の評価および経過観察に広く利用されている。

低コストで非侵襲的に繰り返し検査ができ、また解剖学的狭窄画像とともに血行動態(血流速度の変化)の把握も可能である。しかし解剖学的狭窄画像診断は検査術者の経験、技能に左右されやすく検査時間も要する。また石灰化病変あるいは下肢の血管全体を把握して評価することが困難でもある。血流速度の変化については狭窄病変の程度、長さ、狭窄前後の病変の有無、狭窄部位などの個人差があり信頼性に欠けるといわれ^{1,2)}その評価は定まっていない。

われわれは下肢動脈から狭窄病変を検出した超音波パルスドプラ法と血管造影法(digital subtraction angiography; DSA)を比較し、最大収縮期血流速度(peak systolic velocity; PSV)、狭窄部 / 狭窄前部の血流速比(peak velocity ratio; PVR)、拡張末期血流速度(end diastolic velocity; EDV)による下肢動脈狭窄度診断の信頼性を検

証し、検査術者の技能による影響をできるだけ少なくし、客観的な診断方法を得ることを目的とした。

対象と方法

2006 年 1 月~2008 年 7 月における当院の下肢閉塞性動脈硬化症 84 症例を対象とした。その内訳は男性 76 症例、平均 72 歳、女性 8 症例、平均 71 歳であった。今回はステント留置後の狭窄部位も含めて検討した。血管エコー検査は十分な経験を積んだ医師 1 名と血管診療技師 2 名で行った。プローブの血流に対する入射角度は常に 60 度とした。使用機種は東芝 SSA-340A, XarioSSA-660A、探触子は 8 MHz、7.5 MHz のリニア型を使用した。測定部位は総腸骨動脈(CIA)、外腸骨動脈(EIA)、総大腿動脈(CFA)、浅大腿動脈(SFA)、深大腿動脈(DFA)、膝窩動脈(PA)とした。対象となった 84 症例の下肢動脈狭窄部位の内訳は CIA 8 症例、EIA 23 症例、CFA 6 症例、SFA 42 症例、DFA 1 症例、PA 4 症例であった。狭窄病変における測定項目は PSV, PVR, EDV とした。また下肢閉塞性動脈硬化症 84 症例のうち血管造影の検査をした 41 症例について超音波パルスドプラ

¹ 独立行政法人国立病院機構金沢医療センター臨床検査科

² 佐々木血管クリニック

2010 年 4 月 19 日受付

2010 年 7 月 27 日受理

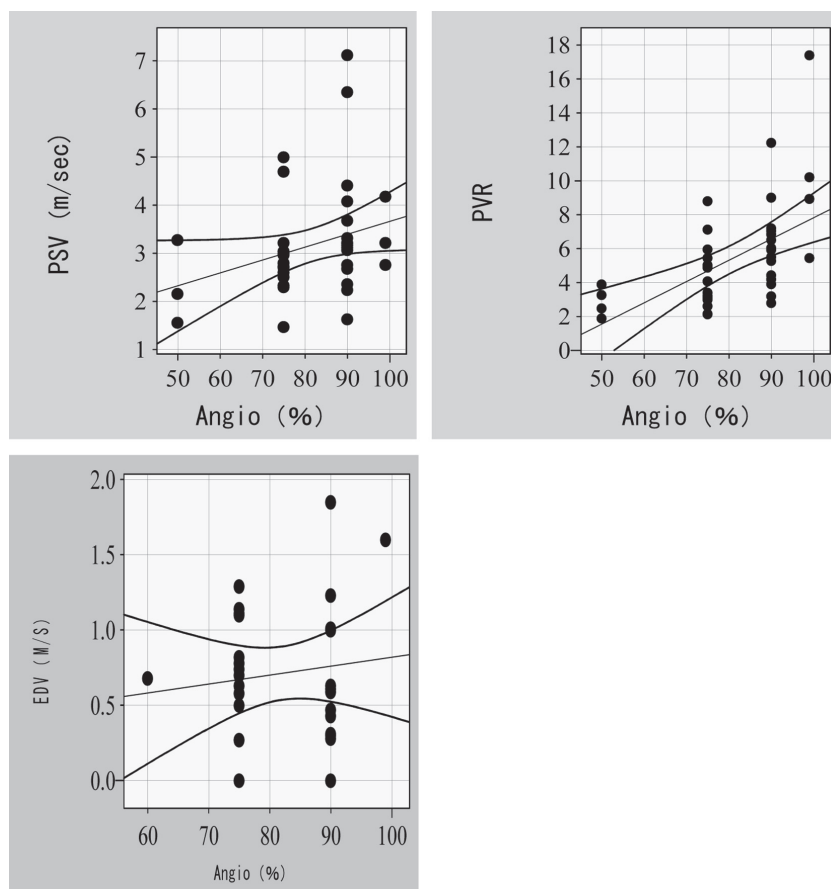


Figure 1 PSV, PVR, and EDV correlated with the rate of angiographic stenosis.

法との比較対象とした。血管造影で 50%以上の狭窄を指摘された 41 症例(右肢 17 例, 左肢 24 例)の狭窄部位の内訳は CIA 2 例, CIA のステント内 2 例, EIA 7 例, EIA のステント内 4 例, CFA 3 例, SFA 16 例, SFA のステント内 6 例, DFA 1 例, PA 1 例であった。また単独狭窄病変 28 例(68%), 多発狭窄病変 13 例(32%)であった。多発狭窄病変はいずれも有意な狭窄部位より末梢側に 1~2 箇所の 50%前後の狭窄部分を認めたものであった。

血管造影狭窄率は最狭窄部と中枢, 末梢の血管径の比として, 専門医により血管造影狭窄率を 50%, 75%, 90%, 99%とした。

血管造影による狭窄率を Gold Standard としてパルスドプラ法による PSV, PVR, EDV の有意差, 相関および 75%以上の狭窄を診断する能力(75%狭窄診断性能)と同時に足関節上腕血圧比(ankle brachial pressure index;

ABI)の測定が可能であった 41 症例中 38 例の PSV, PVR, 血管造影狭窄率と ABI との関連性も加えて検討した。また血管造影狭窄率 50%, 75%の群(50~75%)と 90%, 99%の群(76~99%)を用いて, 超音波パルスドプラによる狭窄度評価の基準値を作成し, 血管造影の狭窄率 75%以上に対するパルスドプラの感度および特異度を求めた。統計解析は StatFlex Ver. 5.0 を用いて検討した。有意差は 5%未満を有意差ありとした。

結 果

1. PSV, PVR, EDV と血管造影狭窄率との有意差および相関(Fig. 1)

狭窄率 50%と 75%との間で PSV を比較すると $p=0.44$, 狭窄率 75%と 90%との間で比較すると $p=0.14$ と有意な差を認めなかった。狭窄率と PSV の相関では

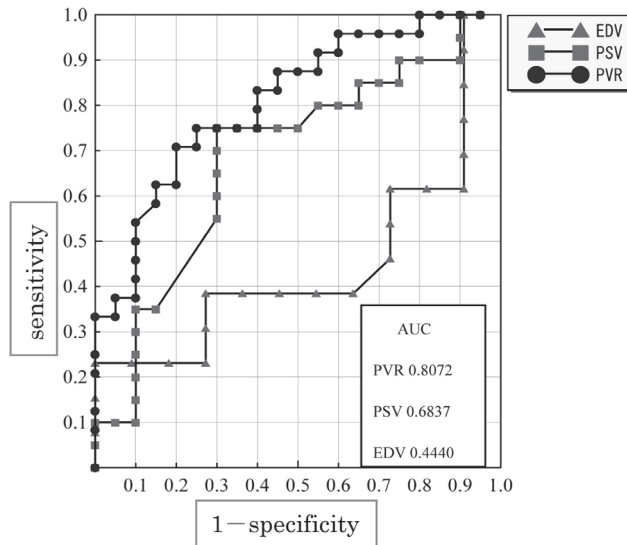


Figure 2 PSV, PVR, EDV of the diagnostic performance of 75% stenosis.

決定係数 $r=0.33$ と弱い相関を認めた。

狭窄率 50%と 75%との間で PVR を比較すると $p=0.80$ と有意差を認めなかったが、狭窄率 75%と 90%の間では $p=0.01$ 、狭窄率 90%と 99%の間は $p<0.01$ と有意な差を認めた。狭窄率と PVR との相関では決定係数 $r=0.55$ と中程度の相関を認めた。

狭窄率 75%と 90%との間で EDV を比較すると $p=0.62$ と有意な差を認めなかった。

狭窄率と EDV との相関では決定係数 $r=0.12$ と相関を認めなかった。

2. PSV, PVR, EDV の 75%狭窄診断性能(Fig. 2)と狭窄 75%の PSV, PVR のカットオフ最適値(Fig. 3)

ROC 曲線を利用して PSV, PVR, EDV の 75%狭窄診断性能を検討した結果、PVR(AUC: 0.802), PSV(AUC: 0.683), EDV(AUC: 0.444)であった。

ROC 解析を用いて狭窄率 75%診断の PSV, PVR のカットオフ最適値を求めた。PSV は感度 71%, 特異度 70%となる 3.0 m/s が最適値と計算された。PVR は感度 71%, 特異度 75%となる 5.0 が最適値と計算された。EDV は狭窄率との有意差がなく、相関性も認めなかった。また 75%狭窄診断性能が低いことから今回カットオフ最適値を求めなかった。

3. 超音波パルスドプラと血管造影の感度と特異度

75%狭窄診断性能として求めた PSV 3.0 m/s, PVR 5.0

を用いた血管造影の狭窄率 75%以上に対するパルスドプラの狭窄率の感度は 84%, 特異度 75%であった。陽性適中率 96%, 陰性適中率 33%であった。

4. PSV, PVR, 血管造影狭窄率と ABI との関連性

38 症例のうち、ABI の測定値が得られた 28 症例の ABI 値は 0.97~0.25, 平均 0.56 であった。10 症例においては測定値が得られなかった。ABI ≤ 0.4 は 14 件(37%), $0.41\leq \text{ABI}\leq 0.9$ は 22 件(57%), $0.91\leq \text{ABI}\leq 0.99$ は 2 件(5%)であった。ABI と PSV との相関は決定係数 $r=0.10$ とほとんど相関がなかった。ABI と PVR との相関では決定係数 $r=-0.27$, ABI と血管造影狭窄率との相関では決定係数 $r=-0.27$ でいずれもやや相関がある程度であった。

考 察

われわれは下肢動脈疾患の狭窄度を客観的に評価するためには血流速度の変化が重要と考え、当センターの血管ドックを受診した健常者の下肢動脈の各測定部位における血流速度および波形パターンの変化と基準値を作成し報告した³⁾。この PSV の基準値と比較すると部位にもよるがおよそ 50~75%狭窄では 2~3 倍であったのに対し、75%以上では 3 倍以上の違いが認められた。

山本らは超音波パルスドプラによる狭窄度評価は狭窄部位の程度、狭窄長、また狭窄前後の石灰化病変の有無

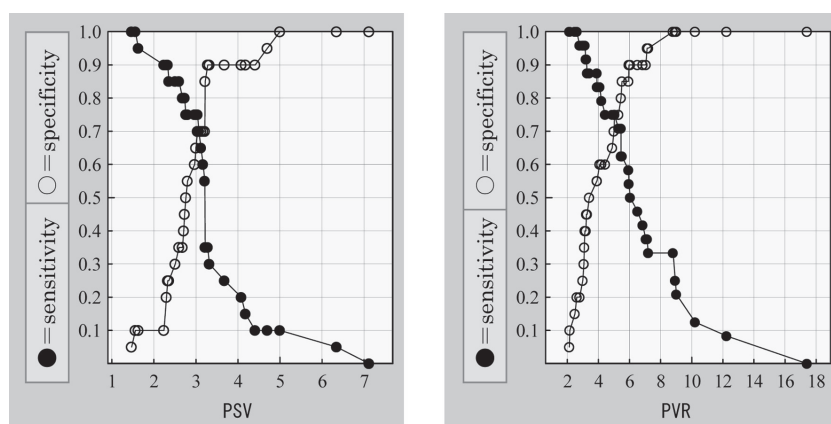


Figure 3 ROC curve analysis showed that to detect PSV=3, PVR=5.

などで血流量の変化が伴い信頼性に乏しく、PSV と血管造影法との相関性は良好な相関を示さなかったと報告⁴⁾している。熊倉らは下肢動脈狭窄度の評価は症例数 72 例で CIA～PA における狭窄部位をカラードプラおよび B モード法による径狭窄率を用いて、狭窄率 50% 以上を病変あり、狭窄率 75% 以上を有意な狭窄病変としてパルスドプラ波形の有用性を評価している。また外腸骨動脈における狭窄部位の PSV は血管造影による狭窄率との相関を認めなかったと報告している⁵⁾。本研究ではパルスドプラ法による有意な狭窄病変 75% 以上の定量評価を求めた結果、PSV, PVR, EDV と血管造影狭窄率との有意差および相関においては PVR, PSV に弱い相関性がみられたものの信頼性に乏しく、EDV には相関がないことがわかった。一方、感度と特異度を用いた診断能力でみると ROC 曲線から明らかなように EDV は狭窄度評価には適さなかったものの、PVR, PSV には十分な診断能力があることが明らかになった。すなわち、診断能を評価するにあたって相関性は適切ではない。

超音波パルスドプラにおける下肢動脈狭窄度評価のカットオフ最適値は、数多くの報告がされている⁶⁻⁸⁾。今回の検討では狭窄率 50% 以下の症例数が少なく、また血管造影の検査対象となっていないため狭窄率 50～75% のカットオフ最適値の作成ができなかった。血管造影狭窄率 76～99% におけるパルスドプラによる狭窄度評価の基準値は PSV 3 m/s 以上、PVR 5 以上となった。また血管造影狭窄率 75% 以上に対するパルスドプラの感度は 84%、特異度は 75% であった。陰性適中率は 33% と低く一部にパルスドプラ法と血管造影法との不一致例

がみられたものの陽性適中率は 96% と高く、超音波パルスドプラ法はスクリーニング検査として非常に有用である。

当院では下肢動脈疾患の狭窄診断の選択方法として、PSV 2.0～3.0 m/s 未満、PVR 2.0～5.0 未満を狭窄率 50～75% の要注意として経過観察し、PSV 3 m/s 以上、PVR 5.0 以上を狭窄率 75% 以上として血管造影などによる侵襲的な確定診断で評価する指標としている。また ABI においては PSV, PVR および血管造影狭窄率との相関性は低いものの、血管造影で 50% 以上の狭窄病変ありとした 38 症例中 36 症例において ABI 値の低下がみられる。したがって下肢動脈の狭窄病変の客観的な評価として、血管エコーと同時に ABI のスクリーニング検査を施行している。

超音波パルスドプラは広範囲な下肢動脈から狭窄病変を迅速、的確に診断評価できる優れたスクリーニング検査と考えられる。B モード法による解剖学的狭窄度が石灰化などの影響で困難な場合、パルスドプラ法は非常に有用であり、血管エコーは感度、特異度ともに高い確定診断検査であると考えられる。またステント留置術後の経過観察、バイパスグラフトの狭窄度評価においても同様である。しかし Baril ら⁹⁾は PSV, PVR はステント狭窄の指標に非常に有用であり、ステント内狭窄 80% 以上の場合、PSV 2.75 m/s 以上、PVR 3.5 以上と報告しており、われわれの基準値と若干の差を生じた。これは血管内、ステント内における病変の程度による血流速度の変化の違いなどが考えられる。したがってステント内狭窄におけるパルスドプラによる狭窄診断の評価についてはさら

なる検討が必要ではないかと考えられた。

結 論

下肢動脈狭窄病変において、パルスドプラ法と血管造影法を比較検討し有意狭窄度評価のカットオフ最適値を作成した。超音波パルスドプラによる下肢動脈の狭窄度評価は客観的な診断方法として有用であり、PSVとPVRを併用することが重要である。

本論文の内容は第50回日本脈管学会学術総会(2009年10月、東京)にて発表した。

文 献

- 1) 富田文子, 小郷美紀生, 浪崎秀洋 他: 閉塞性動脈硬化症における下肢血管エコーと血管造影検査との比較. 超音波検査技術, 2007, **32**: 7–11.
- 2) Krnic A, Vucic N, Sucic Z: Duplex scanning compared with intra-arterial angiography in diagnosing peripheral arterial disease: three analytical approaches. *Vasa*, 2006, **35**: 86–91.
- 3) 清水信幸, 佐々木久雄, 鈴木健二 他: 超音波パルスドプラにおける健常者の下肢動脈血流速度波形の基礎的検討. 脈管学, 2008, **48**: 307–311.
- 4) 山本哲也, 松村 誠, 加藤雅明 他: 下肢動脈疾患におけるステント留置術の血管エコー検査の有用性. 超音波検査技術, 2004, **29**.
- 5) 熊倉久夫, 戸出浩之, 市川秀一 他: カラードプラ法による閉塞性動脈硬化症の狭窄部評価. 脈管学, 1994, **34**: 375–380.
- 6) Ranke C, Rieder M, Creutzig A et al: A nomogram of duplex ultrasound quantification of peripheral arterial stenoses. *Studies of the cardiovascular model and in angiography patients. Med Klin*, 1995, **90**: 72–77.
- 7) Schlager O, Francesconi M, Haumer M et al: Duplex sonography versus angiography for assessment of femoropopliteal arterial disease in a “real-world” setting. *J Endovasc Ther*, 2007, **14**: 452–459.
- 8) Zierler RE, Zierler BK: Duplex sonography of lower extremity Arteries. *Semin Ultrason CT MR*, 1997, **18**: 39–56.
- 9) Paril DT, Rhee RY, Kim J: Duplex criteria for determination of in-stent stenosis after angioplasty and stenting of the superficial femoral artery. *J Vasc Surg*, 2009, **49**: 133–138.

Reliability of Lower Extremity Arterial Stenosis Diagnosed Using Pulsed Doppler Ultrasound

Nobuyuki Shimizu,¹ Hisao Sasaki,² and Kenji Suzuki¹

¹Department of Clinical Laboratory, National Hospital Organization Kanazawa Medical Center, Ishikawa, Japan

²Vascular Clinic Sasaki, Fukui, Japan

Key words: pulsed Doppler ultrasound, digital subtraction angiography, peak systolic velocity (PSV), peak velocity ratio (PVR)

This study was undertaken to assess the reliability of pulsed Doppler ultrasound as compared with lower extremity arteriography (digital subtraction angiography; DSA). Peak systolic velocity (PSV), intrastenotic peak systolic velocity divided by proximally recorded PSV (peak velocity ratio; PVR), and end-diastolic velocity (EDV) were examined to determine the correlations and significant differences. PVR was more highly correlated than PSV. Receiver operator characteristic (ROC) curve analyses were used to compare angiographic stenosis with PSV and PVR to establish optimal criteria in stenosis of 75%. A PVR value ≥ 5 and a PSV value ≥ 3 m/s were indicated in 76 to 99% stenosis. Pulsed Doppler ultrasound criteria for diagnosing stenotic lesions of 76 to 99% stenosis at a sensitivity of 84% led to obtaining a specificity of 75%.

(J Jpn Coll Angiol, 2011, **51**: 197–201)