

## 血管超音波検査におけるドプラ血流速波形解析の有用性： 重症下肢虚血検出のために

馬場 理江<sup>1</sup> 箕輪 和士<sup>2</sup> 川本 篤彦<sup>3</sup> 片山美奈子<sup>3</sup> 半田 宣弘<sup>4</sup> 金子祐一郎<sup>1</sup>

**要 旨：**末梢動脈閉塞性疾患における足部血流評価法として皮膚組織灌流圧(SPP)が用いられている。今回われわれは下肢血管超音波検査法におけるドプラ血流速波形の新たな波形分類を考案し、これと抵抗指数(R.I.)を用いて足部血流状態の評価を試みた。前脛骨動脈、後脛骨動脈のドプラ血流速波形とR.I.は、足背部・足底部のSPP値とそれぞれ高度に相関した。ドプラ血流速波形分類は虚血肢の検出に、R.I.算出は虚血肢の重症度評価に有用である。

(J Jpn Coll Angiol, 2008, 48: 203-212)

**Key words:** ankle brachial pressure index (ABPI), doppler ultrasonography, resistance index (R.I.), skin perfusion pressure (SPP)

### 序 言

末梢動脈閉塞性疾患のスクリーニングには、簡便かつ非侵襲的な検査法として上腕・足関節血圧比(ankle brachial pressure index: ABPI)が一般的に用いられている。ABPIは足関節で測定された収縮期血圧を上腕の収縮期血圧で除して求められており、その測定方法は聴診法・ドプラ法・オシロメトリック法などさまざまである。しかし、重症糖尿病合併患者や透析患者では、動脈壁の石灰化が高度であり、カフによる駆血が十分に行えない場合には、いずれの方法においても、実際より高い足関節血圧値が測定されることがある。また重症虚血例では足関節の血圧が測定限界値以下に低下するなど、正確な測定ができない場合もある<sup>1)</sup>。近年、オシロメトリック法を測定原理とした自動血圧脈波検査装置が開発され、その簡便さから利用頻度はますます高まっているが、不随意運動や不整脈がある場合には測定値の信頼性が低く、足関節圧が40mmHg以下の低い例では測定不能となる場合もある<sup>2)</sup>。

末梢動脈閉塞性疾患の精密検査法のひとつである皮膚組織灌流圧(skin perfusion pressure: SPP)はレーザードプラを用いた測定法<sup>3)</sup>であり、皮下1~2mmの毛細血管レベルの血流を測定対象としているため動脈壁の石灰化には影響されない検査法である。また、足部において最末梢部である足趾を含め、さまざまな部位で測定することが可能である。またSPPはCastronuovoらによると30mmHg以上であれば潰瘍や切断端の治癒の可能性が高いが、30mmHg未満では治癒は困難であると報告されており<sup>4,5)</sup>、重症虚血肢(critical limb ischemia: CLI)の重症度評価には欠かせない検査法として注目されている。潰瘍形成があるとカフが巻けず、測定値そのものが得られない場合や、不随意運動や痛みなどのため静止できない患者では正しく測定できない場合もあるが、創治癒の予測や切断レベルの決定などに用いられ、臨床的に有用な検査法である。ただし、SPP測定機器は専門性が高く、まだ一般に普及し始めたばかりである。

当センターでは末梢動脈閉塞性疾患に対する一連の検査として、これら血圧検査の他、下肢血管超音波検査を同日に行っている。その検査方法は諸家の報告<sup>6-9)</sup>に従い、主要な部位でドプラ血流速波形を描出し、そ

<sup>1</sup>先端医療センター臨床検査技術科

<sup>2</sup>神戸市立医療センター中央市民病院臨床検査技術部

<sup>3</sup>先端医療センター再生治療分野血管再生科

<sup>4</sup>神戸市立医療センター中央市民病院心臓血管外科

2007年11月30日受付 2008年5月22日受理

の形態の変化から狭窄や閉塞の有無、または病変部位を推定するというものである。超音波検査法でも動脈壁の石灰化が強い症例では石灰化による音響陰影のため良好な画像が得られ難い場合が多いが、検索することによって超音波が通過し、ドプラ血流速度波形が描出できる部位を見出すことは技術的に可能である。またドプラ血流速度波形は数拍分の信号が得られれば解析が可能であるため、不随意運動や痛みなどのため長時間静止できない患者においても測定値を得ることが可能である。

一般に普及している超音波検査法でSPP値が30mmHg未満の重症虚血肢の検出やCLIの重症度評価が可能であれば、ABPIあるいはSPPなどの各検査法に加え、患者の状態に合わせた検査法の選択枝が増え、臨床的に有用であると考えられる。われわれは本研究で末梢動脈閉塞性疾患に対する新しい検査方法の提案を目的として、下肢血管超音波検査におけるドプラ血流速度波形の新しい分類法を考案し、これを用いて足関節のドプラ血流速度波形と足部のSPP値との関連を検討した。また、下肢血管超音波検査における足関節部の抵抗指数(resistance index: R.I.)と足部のSPP値との関連についても検討した。

## 対 象

当センターにおいて下肢血管超音波検査とSPP測定を同日に施行した閉塞性動脈硬化症患者81例(男性68例、女性13例、平均年齢69±1歳)の下肢のうち、血行再建術後または切断後の14肢を除外した148肢および、健常人対照10例(男性5例、女性5例、平均年齢47±4歳)の20肢を対象とした。患者81例の内訳は、糖尿病合併患者が59例(73%)、透析患者が25例(31%)、両者の合併例が16例(20%)であった。また各肢のFontaine分類はI度35肢、II度61肢、III度15肢、IV度29肢であった。8肢は下肢虚血以外の原因(脳梗塞など)による歩行障害のために分類不能であった。

## 方 法

検査機器として、SPP測定にはVASAMEDICS社製LASERDOPP® PV2000、下肢血管超音波検査にはGE横河メディカル社製LOGIQ9を用いた。

被験者を室温25±1°Cの精密下肢検査専用の生理機能検査室で30分以上の仰臥位安静にした後、SPP測定と

血管超音波検査を施行した。

SPPの測定方法はCastronuovoらの方法<sup>4,5)</sup>に従って行い、足背部と足底部で測定した。

下肢血管超音波検査法におけるドプラ血流速度波形の描出部位は鼠径部では大腿動脈、膝窩部では膝窩動脈、足関節部では前脛骨動脈(anterior tibial artery: ATA)と後脛骨動脈(posterior tibial artery: PTA)とした。ATAとPTAのドプラ血流速度波形に対して波形分類を行った。波形分類は平井ら<sup>8)</sup>の分類が一般的に用いられているが、分類困難例が少なからず存在するため、今回われわれは以下のように各波形の差異が明確な3パターンに分類した(Fig. 1)。

- A型波形：収縮期波は急峻に立ち上がり、拡張期に逆流成分を伴う波形。
- B型波形：収縮期波のみで拡張期波が消失した波形。
- C型波形：収縮期波は緩徐に立ち上がり、拡張期にも順行性に連続した波形。

また、以下の計算式を用いてR.I.を算出した。

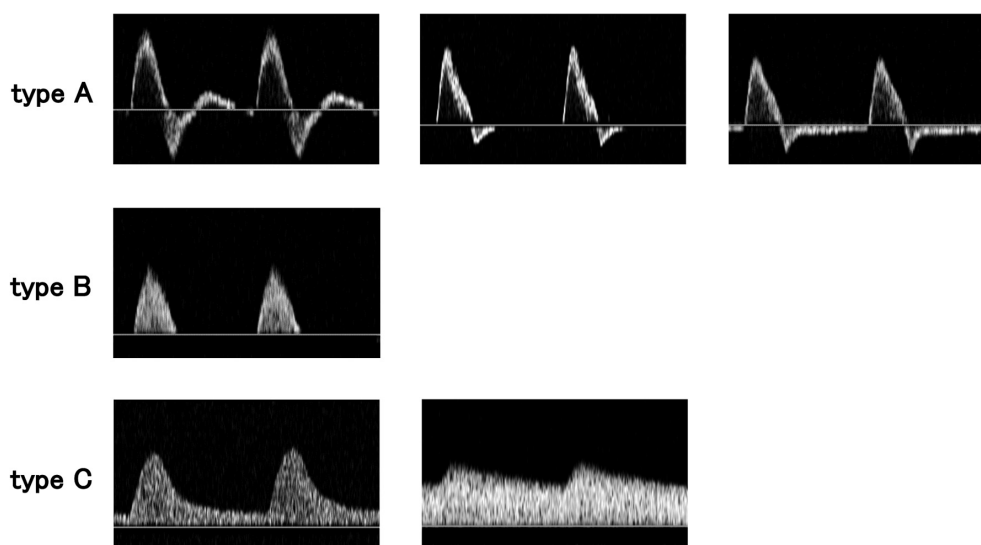
$$R.I. = (\text{収縮期最高血流速度} - \text{拡張期最低血流速度}) / \text{収縮期最高血流速度}^{10)}$$

測定結果は平均値±標準誤差で示した。A型、B型、C型の3群間比較では、分散分析(Scheffe法<sup>11)</sup>により有意差検定を行った。各群間における重症虚血肢の頻度の比較、糖尿病合併患者と糖尿病非合併患者の間、または透析患者と非透析患者の間における各波形出現頻度の比較には、 $\chi^2$ 乗検定を施行した。また対象患者および健常人対照におけるR.I.とSPP値の相関を一次回帰で検討した。さらにSPP値が30mmHg未満の重症虚血肢を検出するためのR.I.値の感度と特異度を求め、カットオフ値を算出した。

## 結 果

### (1)ATAの波形分類と足背部SPPの関連

健常人対照群ではA型波形のみが検出され、SPP値は83.5±3.0mmHgであった。対象患者群におけるSPP値は、A型波形(33肢)で86.5±4.1mmHg、B型波形(18肢)で53.1±3.9mmHg、C型波形(71肢)では40.2±2.1mmHgであった。A型波形を示した対象患者群と健常人対照



**Figure 1** Novel classification of the wave form in Doppler ultrasonography. type A, Doppler wave form with retrograde flow element in diastole; type B, Doppler wave form without diastolic element; type C, Doppler wave form with anterograde flow element in diastole.

群の間でSPP値に有意差は認められなかった( $p = 0.95$ )。一方、B型、C型波形を示した対象患者群では、A型波形を示した対象患者群および健常人対照群に比べ有意なSPP値の低下を認めた( $p < 0.0001$ )。C型波形を示した対象患者群のSPP値は、B型波形を示した対象患者群に比して低い傾向を示したが、統計学的に有意差は認められなかった( $p = 0.08$ ) (Fig. 2)。また、患者群で足背部SPP値が30mmHg未満の重症虚血肢の頻度は、A型0%、B型5.5%、C型26.8%であり、A型およびB型に比してC型で有意に高かった( $p < 0.01$ )。

糖尿病合併患者59例(97肢)におけるSPP値は $50.8 \pm 2.7$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(21肢)21.6%、B型(14肢)14.4%、C型(62肢)63.9%であった。一方、糖尿病非合併患者22例(37肢)におけるSPP値は $60.3 \pm 5.1$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(15肢)40.5%、B型(7肢)18.9%、C型(15肢)40.5%であった。C型波形の出現頻度は、糖尿病非合併患者に比して合併患者で有意に高かった( $p = 0.04$ )。

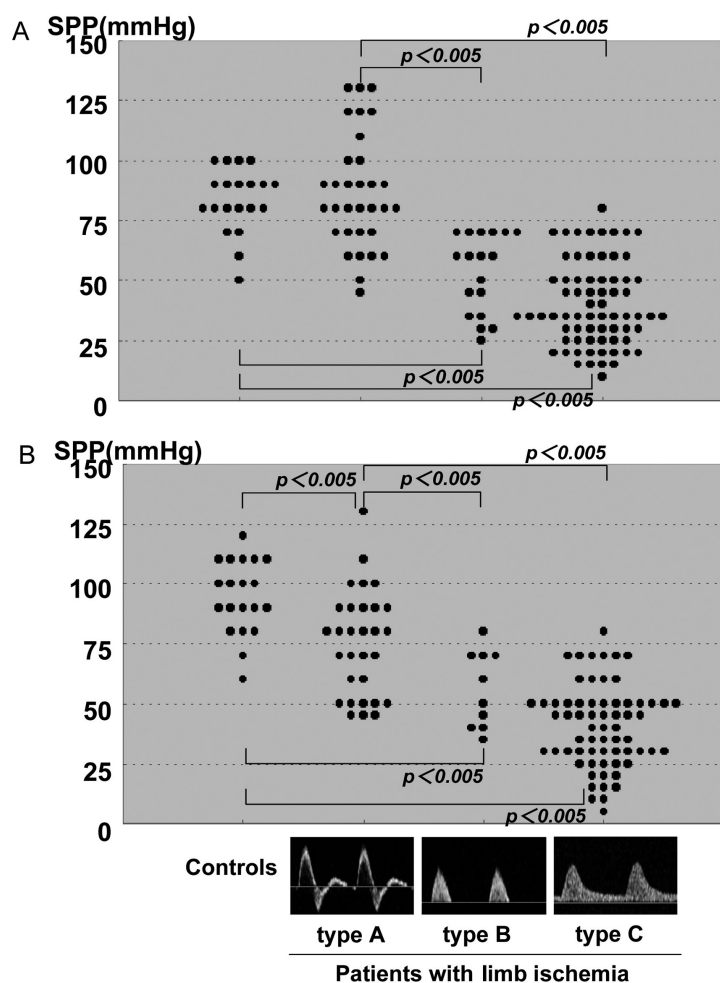
透析患者25例(42肢)におけるSPP値は $44.7 \pm 4.1$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(5肢)11.9%、B型(4肢)9.5%、C型(33肢)78.6%であった。一方、非透析患者56例(92肢)におけるSPP値は $57.3 \pm 2.9$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(31肢)33.7%、B型(17肢)18.5

%、C型(44肢)47.8%であった。C型波形の出現頻度は、非透析患者に比して透析患者で有意に高かった( $p = 0.004$ )。

## (2) PTAの波形分類と足底部SPPの関連

健常人対照群ではA型波形のみが検出され、SPP値は $94.5 \pm 3.4$ mmHgであった。対象患者群におけるSPP値は、A型波形(30肢)で $75.2 \pm 4.0$ mmHg、B型波形(10肢)で $56.0 \pm 5.0$ mmHg、C型波形(65肢)では $40.5 \pm 2.1$ mmHgであった。A型波形を示した対象患者群では、健常人対照群に比べ有意なSPP値の低下を認めた( $p < 0.05$ )。B型、C型波形を示した対象患者群では、A型波形を示した対象患者群および健常人対照群に比べ有意なSPP値の低下を認めた( $p < 0.05$ )。またC型波形を示した対象患者群のSPP値は、B型波形を示した対象患者群に比して低い傾向を示したが、統計学的な有意差は認められなかった( $p = 0.09$ ) (Fig. 2)。患者群で足底部SPP値が30mmHg未満の重症虚血肢の頻度は、A型0%、B型0%、C型21.5%であり、A型およびB型に比してC型で有意に高かった( $p < 0.01$ )。

糖尿病合併患者59例(93肢)におけるSPP値は $48.6 \pm 2.4$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(18肢)19.4%、B型(8肢)8.6%、C型(67肢)72.0%であった。一



**Figure 2** Skin perfusion pressure (SPP) values in dorsal (A) and plantar (B) regions in healthy controls and patients with lower limb ischemia representing type A, B or C wave form in Doppler ultrasonography for the anterior tibial artery (ATA) (A) and posterior tibial artery (PTA) (B).

方、糖尿病非合併患者22例(37肢)におけるSPP値は $53.2 \pm 4.7$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(13肢)35.1%、B型(6肢)16.2%、C型(18肢)48.6%であった。C型波形の出現頻度は、糖尿病非合併患者に比して合併患者で有意に高かった( $p = 0.04$ )。

透析患者25例(36肢)におけるSPP値は $45.1 \pm 3.2$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(5肢)13.9%、B型(3肢)8.3%、C型(28肢)77.8%であった。一方、非透析患者56例(94肢)におけるSPP値は $52.2 \pm 2.8$ mmHgであり、各波形の出現頻度はA型(26肢)27.7%、B型(11肢)11.7%、C型(57肢)60.6%であった。C型波形の出現頻度は、非透析患者に比して透析患者で高い傾向を示したが、統計学的な有意差は認められなかった( $p = 0.17$ )。

### (3) ATAのR.I.と足背部SPPの関連

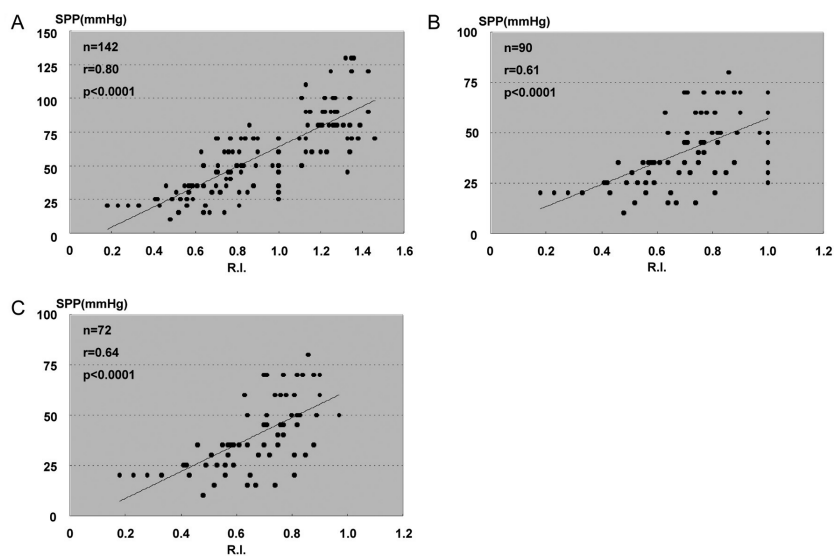
健常人対照も含めた全症例におけるR.I.とSPPの間には $r = 0.80$ ,  $p < 0.0001$ と良好な正相関を認めた(**Fig. 3A**)。

ドブラ血流速波形がB型およびC型波形を示した症例に限定した場合、R.I.とSPPの間には $r = 0.61$ ,  $p < 0.0001$ と有意な正相関を認めた(**Fig. 3B**)。

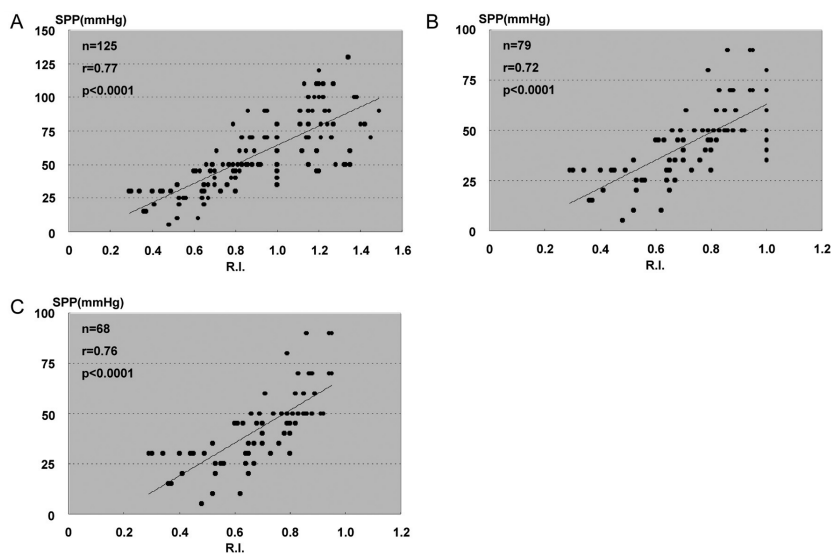
またドブラ血流速波形がC型波形を示した症例に限定した場合でも、R.I.とSPPの間には $r = 0.64$ ,  $p < 0.0001$ と有意な正相関を認めた(**Fig. 3C**)。

### (4) PTAのR.I.と足底部SPPの関連

健常人対照も含めた全症例におけるR.I.とSPPの間には $r = 0.77$ ,  $p < 0.0001$ と良好な正相関を認めた(**Fig. 4A**)。



**Figure 3** Correlation between resistance index (R.I.) in ATA and SPP in dorsal region in all subjects (A), patients representing type B and C wave form (B) and those demonstrating type C (C).



**Figure 4** Correlation between R.I. in PTA and SPP in plantar region in all subjects (A), patients representing type B and C wave form (B) and those demonstrating type C (C).

ドプラ血流速波形がB型およびC型波形を示した症例に限定した場合、R.I.とSPPの間には $r=0.72$ ,  $p<0.0001$ と有意な正相関を認めた(**Fig. 4B**)。

またドプラ血流速波形がC型波形を示した症例に限定した場合でも、R.I.とSPPの間には $r=0.76$ ,  $p<0.0001$ と有意な正相関を認めた(**Fig. 4C**)。

(5) SPP値30mmHg未満の重症虚血肢検出のためのR.I.カットオフ値

全症例に対する解析では、感度・特異度がともに80%以上を示すR.I.値はATAで0.70であり、PTAで0.70および0.65であり、これらの結果からR.I.値0.70が足背・足底部を問わずSPP値30mmHg未満の重症虚血肢検出の

**Table 1** Sensitivity and specificity of each R.I. value to predict the presence of severe ischemia identified by SPP < 30 mmHg in ATA or PTA in all subjects

R.I.	ATA		PTA	
	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
0.90	95	57	100	59
0.85	95	63	100	64
0.80	90	66	100	67
0.75	90	77	100	73
0.70	85	86	100	80
0.65	75	86	86	87
0.60	70	91	71	91
0.55	55	97	57	91
0.50	45	99	36	92
0.45	35	100	23	95

**Table 2** Sensitivity and specificity of each R.I. value to predict the presence of severe ischemia identified by SPP < 30 mmHg in ATA or PTA in patients classified as Fontaine class III and IV

R.I.	ATA		PTA	
	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
0.90	100	33	100	44
0.85	100	33	100	44
0.80	93	33	100	50
0.75	93	43	100	50
0.70	86	48	100	63
0.65	86	67	86	69
0.60	71	76	57	75
0.55	71	86	43	81
0.50	57	95	43	81
0.45	43	100	43	88

ためのカットオフ値として有用であることが示唆された(**Table 1**)。

症例数が少なくなるが参考までにFontaine III度, IV度の臨床的重症虚血肢に限定した場合には, ATAでカットオフ値を0.55または0.60に設定すると感度・特異度がともに70%以上を示した。またPTAではカットオフ値を0.65または0.70に設定すると感度・特異度がともに60%以上であった(**Table 2**, **Fig. 5**)。

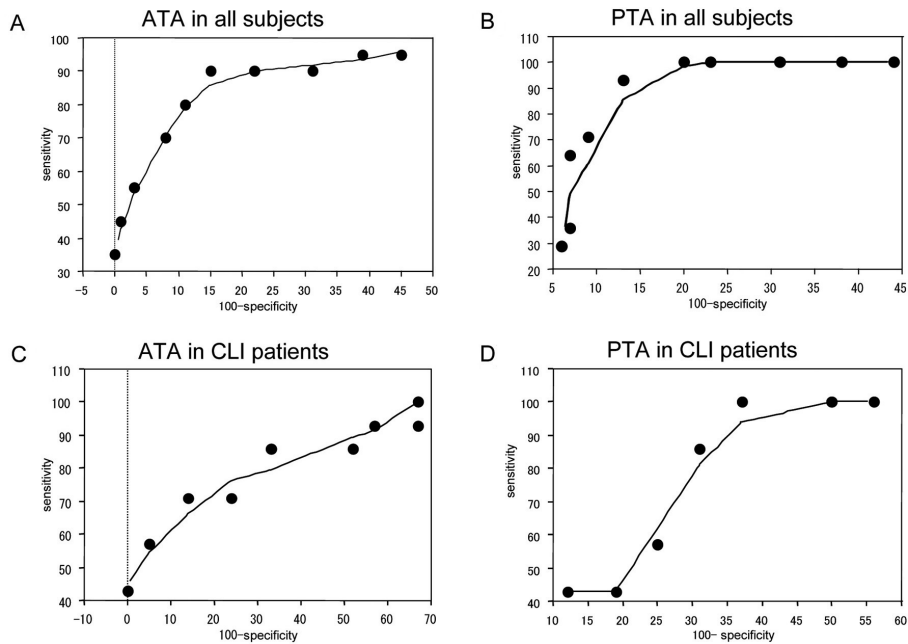
## 考 察

当センターでは末梢動脈閉塞性疾患の精密検査を積

極的に行っている。受診した患者の多くは安静時痛や潰瘍, 壊疽を伴う重症例(受診患者の約50%)で, 糖尿病合併患者(受診患者の約70%)や透析患者(受診患者の約30%)が非常に高い割合を占めているのが特徴である。

臨床検査技術科では血圧脈波検査, SPP測定などさまざまな機能検査のほか, 形態検査として下肢血管超音波検査を行っている。また放射線技術科ではMRAや血管造影検査などの画像診断が行われている。

下肢血管超音波検査法では, 主要な個所でドブラ血流速度波形を描出し, その形態の変化から病変の存在の



**Figure 5** ROC curve for detection of SPP < 30 mmHg by R.I. value in ATA and PTA of all subject (A, B), and patients with critical limb ischemia (CLI) Fontaine class III and IV (C, D).

有無や部位を推定する。狭窄や閉塞部位が直接描出できればその程度などについて詳細に検査を進める。具体的には、平井らによるとドプラ血流速波形がD-1型(収縮期波は急峻に立ち上がり、拡張期の逆流成分を伴う波形：本研究におけるA型)を示した場合には、この部位より中枢側には有意な狭窄病変はないと判断し、D-1型以外の波形を示した場合に限りその中枢側をBモードとカラードプラ法で観察する<sup>6)</sup>という方法で検査が行われている。この場合D-1型であるか否かは明瞭に分類できるが、その他の波形分類には難渋することが少なくない。つまり、D-3型(収縮期の山はなだらかとなり、ピークの形成がないもの)では拡張期成分の有無が明確に定義されていない一方、D-4型(緩やかな連続波形)では拡張期成分は順行性と定義されているが、収縮期波の振幅についてD-3型との差が明確でない。従って、平井らの分類は日常臨床の場では有用であるが、多数の症例を分類し、症例の重症度や予後との関係を研究するには若干の問題がある。そこでわれわれは、今回の研究でドプラ血流速波形の波形分類を拡張期成分の有無と方向(順行性・逆行性)を基準として明瞭に分類できるように、新たな3パターン(A・B・C

型)を設定した。この新しい方法により、全例で明確に波形を分類できた。

今回の研究では、足関節よりさらに末梢側に病変が局限し得るバジャー病や粥状硬化巣などからの塞栓子による趾動脈レベルの閉塞を呈するblue toe症候群を除外し、対象を閉塞性動脈硬化症に限定した。病変の程度と部位に関しては制限せず、閉塞部位を指摘された症例、直後のドプラ血流速波形のパターン変化を伴う有意狭窄を有する症例、パターン変化を伴わない軽度な狭窄を呈する症例、血管壁の不整のみを示す症例も含まれている。

末梢の血流は周囲の環境の変化の影響を強く受けるため、安定した検査環境で測定が行えるように検査室を選定し、室温の管理を行った。また患者の安静時間、検査手順も一定とした。

解剖学的な血管の分布に基づきATAのドプラ血流速波形とその近傍(やや末梢側)の血管が分布する足背部のSPP値、PTAのドプラ血流速波形とその近傍の血管が分布する足底部のSPP値の対比を行った。

結果(1)、(2)で示したように、足関節レベルで得られたドプラ血流速波形がB型およびC型波形を示した対

象患者群は、A型波形を示した対象患者群および健常人対照群に比してSPP値の有意な低下を示し、さらにC型波形患者のSPP値はB型波形患者より低値の傾向を示した。また、各群におけるSPP値30mmHg未満の重症虚血肢の頻度を検討したところ、A型波形の対象患者群および健常人対照群では全例でSPP値は45mmHg以上に保たれ、B型波形の患者でも1例(5.6%)を除いてSPP値が30mmHg以上であった。一方、C型波形を示した対象患者群の中にはSPP値が30mmHg未満を示す症例が24.3%と有意に多く含まれていた。以上の結果から、足部に十分な血流が保たれている場合はA型波形を示し、虚血の程度が強くなるにつれB型、C型へと変化していくと考えられる。また、ATAまたはPTAのドブラ血流速度波形がC型波形を示した場合には足部のSPP値が30mmHg未満の重度の虚血に陥っている可能性が比較的高く、安静時痛や壊死・潰瘍合併例のみならず、危険因子保有症例などでは急ぎ精査を進める必要があると考えられる。一方、血流速度波形がB型の場合は、重症虚血を呈する可能性は低いが、健常者または軽症例(A型)に比してSPP値が低下傾向にあり、慎重な治療方針の決定が望ましいと思われる。以上の成績から、われわれの考案した新しい波形分類は、下肢虚血重症度の評価、特にSPP値30mmHg未満の重症虚血肢を検出するためのスクリーニングに有用であると考えられる。また、糖尿病合併患者と糖尿病非合併患者の間、または透析患者と非透析患者の間で各波形の出現頻度を比較したところ、糖尿病合併患者および透析患者ではC型波形を示す頻度が有意に高かった。これらの結果は、糖尿病合併患者・透析患者ではより重症の虚血に陥っている頻度が高いことを反映しているものと考えられる。

今回の研究で、われわれはさらにドブラ血流速度波形における拡張期成分の臨床的意義に着目した。R.I.はドブラ血流速度波形の拡張期成分の有無と方向(順行性・逆行性)、収縮期成分に対する割合を反映していることより、R.I.とSPP値の相関についても検討した。具体的には、R.I.>1.0の場合拡張期成分は逆行性であり、R.I.=1.0の場合拡張期成分は消失している。またR.I.<1.0の場合拡張期成分は順行性であり、R.I.の値が低くなるほど拡張期波の占める割合が高い、すなわちドブラ血流速度波形が平坦化していることを表している。一般にド

ブラ血流速度波形解析にはPulsatility Indexも併用されることが多いが、今回の検討では波形分類の特徴をより明瞭に数値化できるR.I.を用いた。

結果(3)、(4)で示したように、R.I.とSPP値の間には良好な正相関が認められた。この結果はB型波形およびC型波形の症例に限定して解析しても同様であった。つまり、拡張期成分の占める割合が高くなるほどSPP値の低下が認められ、拡張期成分の占める割合により重症度評価が可能であることが示唆された。しかし少数例ではあるが、R.I.が低下していてもSPP値が保たれている場合があった。その原因は不明であるが、足背動脈と足底動脈弓とが貫通枝によって交通しており<sup>12,13)</sup>、それぞれが側副血行路の役割を果たしていた可能性<sup>14)</sup>がある。

結果(5)で示したように、全症例を対象とした検討ではR.I.のカットオフ値を0.70に設定すると、足背・足底部を問わず感度・特異度がともに80%以上でSPP値30mmHg未満の重症虚血肢を検出し得ることが明らかになった。臨床的にはSPP値の測定はFontaine III度、IV度のCLIにおいて、特に足部の創傷治癒能力や疼痛が虚血に起因するか否かの判定に用いることが多い。そのため症例数は低下するが参考までにFontaine III度、IV度の患肢に限定し、R.I.のカットオフ値を検討してみた。その結果、特異度は低下するが概ね0.60~0.70が妥当であると考えられた。今後さらに症例を増加させて検討する必要があるが、以上の結果から、上述の血流速度波形分類のみならずR.I.値を併せて検討すれば、閉塞性動脈硬化症の血行障害の程度を明確にし、下肢虚血重症度の評価に有用であると考えられる。

結果(1)、(2)で示したように、C型波形を示した場合には足部のSPP値が30mmHg未満のCLIである可能性が高いことが分かったが、さらに詳細に検討すると、C型波形を示したにもかかわらず、SPP値が高値を示した症例が存在した。これらは臨床症状がFontaine I、II度の軽症例が多く、またR.I.は比較的高値であった。波形分類のみでは重症度評価が困難な症例も稀に存在することから、臨床所見等も併せて評価することが必要であると考えられる。

今回の研究から、下肢血管超音波検査により虚血肢の重症度評価が可能であることが明らかになり、末梢動脈閉塞性疾患の検査方法のひとつとして役立つこと



が期待される。しかし、この検査方法の限界として、ATAやPTAが足関節レベルで閉塞している症例ではドプラ血流速波形の描出ができず、評価不能となる。また個体差はあるが、側副血行路としての腓骨動脈の存在を考慮する必要がある。今回、われわれは腓骨動脈については検討していないため、腓骨動脈がどのような影響を及ぼすかについては今後さらに研究を続ける予定である。

## 結 論

① 下肢血管超音波検査法におけるドプラ血流速波形の新たな波形分類を考案した。

② 足関節レベルでのドプラ血流速波形がB型、C型の症例では、A型症例に比して足部のSPPが低値を示し、特にC型では重症虚血の存在する可能性が高い。

③ 足関節レベルでのR.I.は足部のSPP値と高度に相関し、SPP値30mmHg未満の重症虚血肢の検出には、R.I.のカットオフ値を0.7に設定することが有用である。

④ ドプラ血流速波形の波形分類とR.I.算出は、末梢動脈閉塞性疾患の重症度評価に有用である。

## 文 献

- 1) 真野修江：Ankle Brachial Pressure Index (ABPI)―足関節・上腕血圧比―。循環器医・検査技師のための血管無侵襲診断の実際(血管無侵襲診断法研究会将来構想委員会編)，文光堂，東京，2001，2-9。
- 2) 正木久男，森田一郎，田淵 篤 他：formPWV/ABI®を用いた間歇性跛行の評価。脈管学，2003，**43**：303-306。
- 3) Castronuovo JJ Jr, Pabst TS, Flanigan DP et al: Noninvasive determination of skin perfusion pressure using a laser Doppler. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 1987, **28**: 253-257.
- 4) Castronuovo JJ Jr, Adera HM, Smiell JM et al: Skin perfusion pressure measurement is valuable in the diagnosis of critical limb ischemia. *J Vasc Surg*, 1997, **26**: 629-637.
- 5) Adera HM, James K, Castronuovo JJ Jr et al: Prediction of amputation wound healing with skin perfusion pressure. *J Vasc Surg*, 1995, **21**: 823-828.
- 6) 平井都始子，吉川公彦，田仲三世子 他：超音波検査による骨盤・下肢閉塞性動脈疾患の診断-特にPTA術前診断と効果判定-。脈管学，1993，**33**：27-32。
- 7) Hirai T, Ohishi H, Kichikawa K et al: Ultrasonographic screening for arterial occlusive disease in the pelvis and lower extremities. *Radiat Med*, 1998, **16**: 411-416.
- 8) 平井都始子，阪口昇二，東浦 渉 他：超音波診断と治療効果判定。画像診断，2003，**23**：892-900。
- 9) 横井良明：末梢血管エコーのすすめ。心エコー，4，2003，528-544。
- 10) 辻本文雄：超音波医学辞典，第1版。秀潤社，東京，2000，174-175。
- 11) 永田 靖，吉田道弘：統計的多重比較法の基礎，サイエンティスト社，東京，1997：52-58。
- 12) F.H.マティーニ，M.J.ティモンズ，M.P.マッキンリ：カラー人体解剖学―構造と機能：マイクロからマクロまで。西村書店，東京，2003，446-450。
- 13) Papon X, Brillu C, Fournier HD et al: Anatomic study of the deep plantar artery: potential by-pass receptor site. *Surg Radiol Anat*, 1998, **20**: 263-266.
- 14) Lefebvre D, Jaeger JF, Roux P et al: Interosseous dorsal artery of the first intermetatarsal space: anatomic variations and value in functional vascular studies. *J Mal Vasc*, 1989, **14**: 39-41.

## Wave Form Analysis in Doppler Ultrasonography for Evaluation of Severity of Lower Limb Ischemia

Rie Baba,<sup>1</sup> Kazushi Minowa,<sup>2</sup> Atsuhiko Kawamoto,<sup>3</sup> Minako Katayama,<sup>3</sup> Nobuhiro Handa,<sup>4</sup> and Yuichiro Kaneko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Clinical Laboratory, Institute of Biomedical Research and Innovation, Hyogo, Japan

<sup>2</sup>Department of Clinical Laboratory, Kobe City Medical Center General Hospital, Hyogo, Japan

<sup>3</sup>Division of Vascular Regeneration Therapy, Institute of Biomedical Research and Innovation, Hyogo, Japan

<sup>4</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Kobe City Medical Center General Hospital, Hyogo, Japan

---

**Key words:** ankle brachial pressure index (ABPI), doppler ultrasonography, resistance index (R.I.), skin perfusion pressure (SPP)

Skin perfusion pressure (SPP) has been widely utilized for physiological evaluation of lower limb ischemia. However, clinical usefulness of Doppler ultrasonography to assess critical limb ischemia is still unclear. Here we develop a novel classification of the wave form of Doppler ultrasonography (type A, B and C) and assess the usefulness of the new classification and resistance index (R.I.) in the blood flow recording of anterior and posterior tibial arteries (ATA and PTA, respectively) at the ankle level to detect severe limb ischemia. Frequency of severe limb ischemia defined as SPP < 30 mmHg in the dorsal foot portion was significantly greater in type C wave form compared with types A and B in the Doppler recording of ATA. Similarly, incidence of severe ischemia in the sole was higher in type C than types A and B in the Doppler wave form of PTA. The R.I. significantly correlated with SPP value. Appropriate cut off value of the R.I. to identify patients with severe limb ischemia was 0.7. In conclusion, wave form analysis of Doppler ultrasonography is useful to evaluate limb ischemia, especially for detecting patients with severely progressed limb ischemia. (J Jpn Coll Angiol, 2008, **48**: 203–212)