
ポケット携帯型レーザー血流計による 血液透析患者の足趾血流測定

能登宏光、能登 舞、加藤 彩、嵯峨まゆ子、佐々木由美、佐藤啓子、佐々木佳奈、
金野裕介、若松公太郎、小野真美、三浦麻由美、宮腰文華、羽賀繁子
医療法人 秋田泌尿器科クリニック

Blood flow measurement of the toes of dialysis patients with pocket portable laser blood flowmeter

Hiromitsu Noto, Mai Noto, Aya Kato, Mayuko Saga, Yumi Sasaki,
Keiko Sato, Kana Sasaki, Yusuke Konno, Koutarou Wakamatsu,
Mami Ono, Mayumi Miura, Ayaka Miyakoshi and Shigeko Haga
Akita Urologic Clinic

<緒言>

透析患者は一般住民と比べて、動脈硬化に関連する心・脳血管障害で死亡するリスクが著しく高く¹⁾²⁾、末梢動脈疾患（Peripheral Arterial Disease: PAD）の罹患率も高い³⁾ことが知られている。慢性腎臓病（Chronic Kidney Disease: CKD）におけるPDAの特徴は、病変が下肢のより末梢にあり、また高度の石灰化を来していることが多く、発見が遅れて治療に難渋する点である⁴⁾。

PADの診断は、問診、足の観察（視診・触診）、足関節－上腕収縮期血圧比（ankle-brachial systolic pressure index：ABI）、皮膚毛細血管還流圧（skin perfusion pressure：SPP）、足趾－上腕血圧比（toe-brachial pressure index：TBI）、経皮酸素分圧（transcutaneous oxygen tension：tcPO₂）、超音波検査、CT angiography、MR angiography、血管造影などで行われるが、PDAのスクリーニング検査としては、ABIが最も簡便で有用であるとされている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。しかし、PDAの診断基準をABI<0.9とすると、非透析患者で血管造影所見と対比した検討⁸⁾では、ABIの感度・特異度はそれぞれ95%・100%と極めて良かったのに対し、透析患者でmultidetector-row CT所見と比較した検討⁹⁾では、29.9%・100%と偽陰性が多かったという。その理由は、透析患者では血管石灰化が高度な例が多く、マンシエットで加圧しても動脈内腔がつぶれにくいいため、ABIが偽高値となることがあるからである。小林⁴⁾は、自施設の検討⁹⁾¹⁰⁾から、比較的石灰化の少ない足趾動脈で測るTBI<0.6の感度45.2%、特異度100.0%、tcPO₂<50mmHgの感度61.1%、特異度70.0%に対し、SPP<50mmHgは感度84.9%、特異度76.6%と良かったことから、SPPをPDAのスクリーニングとして第一に推奨している。

私たちは、これまで透析患者の下肢血行状態を評価するため、CAVI、ABI、TBI、足背動脈超

音波ドプラ波形、指尖容積脈波測定などを行ってきたが¹¹⁾¹²⁾、この度、ポケット携帯型小型レーザ血流計（Laser Doppler Flowmeter：LDF¹³⁾）¹⁴⁾を用いて、血液透析患者の足趾の血流を測定したので、その有用性に関して報告する。

＜対象と方法＞

血液透析患者30名、60趾。年齢40～92歳、 66.4 ± 11.7 （mean $\pm$ S.D.）歳。男性21名、40～91歳、 66.0 ± 12.2 歳。女性9名、57～92歳、 67.3 ± 11.3 歳。

小型レーザ血流計「ポケットLDF[®]」（JMS）を用いて、第1趾の腹側中央部にセンサー部を接触させて、約2分間測定し、体動やセンサーのズレによるアーチファクトが無い、脈波60回分を集計した。

年齢、性別、糖尿病（DM）・虚血性心疾患・脳血管障害との関係、また同時期に測定したCAVI（Cardio Ankle Vascular Index）、ABI、TBIとの関係を検討した。CAVIの正常値は <0.8 、ABIの正常値は $1.00 \sim 1.29$ 、TBIの正常値は ≥ 0.7 である。

検定はMann-Whitney U-test、Yates 2x2 Chi square test及びSpearman's correlationで行い、 $p < 0.05$ 以下を推計学的に有意、 $p < 0.1$ を傾向ありと判定した。

＜結果＞

(1) 上腕収縮期血圧と足趾血流量との関係

上腕の収縮期血圧は 147.5 ± 18.0 （mean $\pm$ S.D.）mmHg、足趾の血流量は 27.3 ± 15.9 ml/minであった。足趾血流量（Y）と上腕収縮期血圧（X）との関係は、 $Y = -0.04X + 33.14$ 、 $r^2 = 0.002$ であり、両者間に有意な相関関係はなかった。

(2) 足趾血流量と脈動幅との関係

足趾血流量と脈動幅との関係を図1に示した。血流量が大きくなると共に脈動幅も大きくなる正の相関関係があった（ $r^2 = 0.23$ 、 $p = 0.00012$ ）。

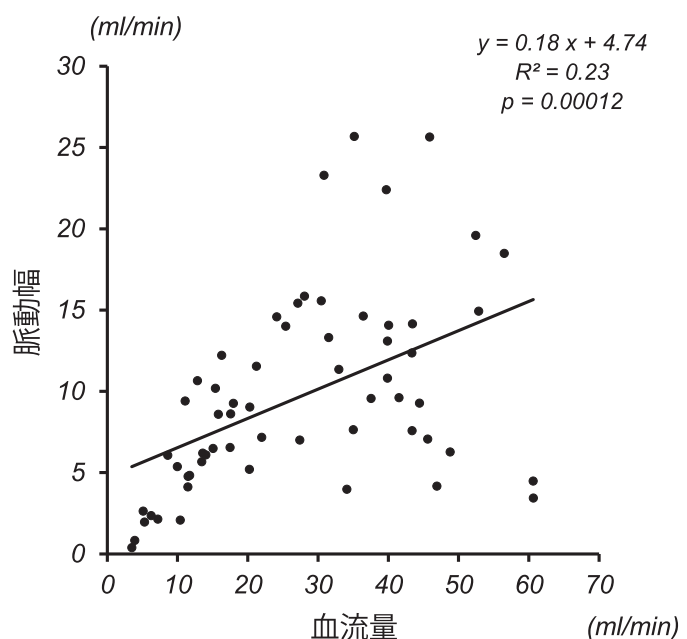


図1 足趾血流量と脈動幅との関係

(3) 年齢と足趾血流量および脈動幅との関係

年齢と足趾血流量および脈動幅との関係を図2に示した。足趾血流量も脈動幅も、年齢との間に有意な関係が無かった。

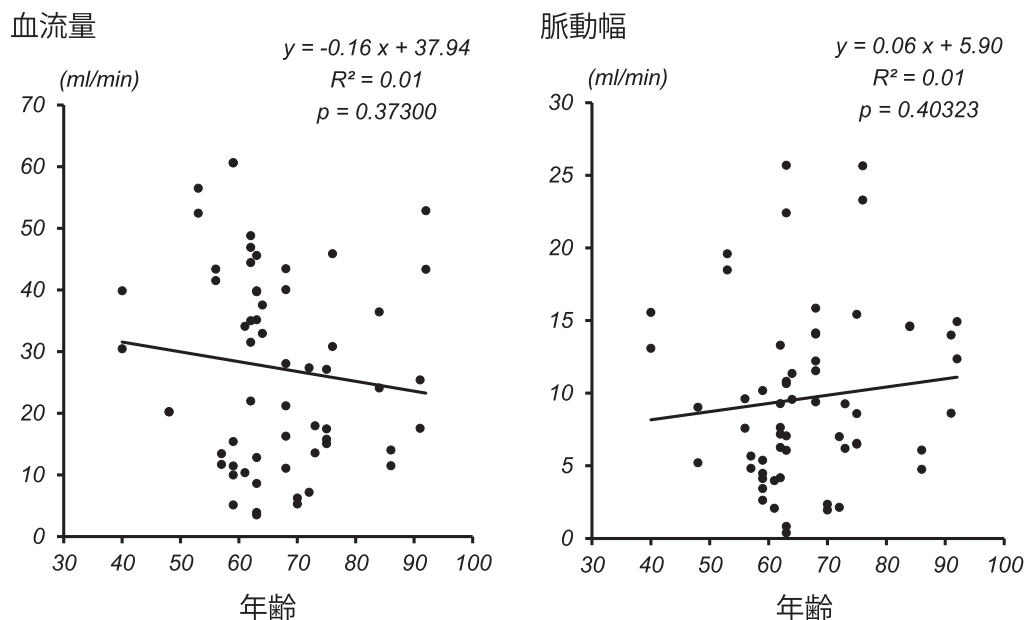


図2 年齢と足趾血流量および脈動幅との関係

(4) 性別と足趾血流量および脈動幅との関係

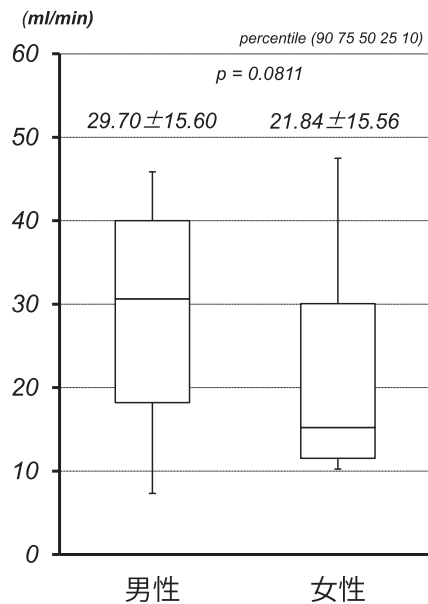
性別および疾患の有無別の足趾血流量、脈動幅、CAVI、ABIおよびTBIの測定結果を表1に、性別と足趾血流量および脈動幅との関係を図3に示した。足趾血流量は男性が女性よりも高値傾向（ $p < 0.1$ ）にあり、脈動幅は男性が女性よりも有意に（ $p < 0.05$ ）大きかった。CAVI値は男性が 9.15 ± 1.20 と女性よりも高値傾向（ $p < 0.1$ ）すなわち動脈硬化が強い傾向にあったが、TBI値は女性が 0.67 ± 0.15 と男性よりも低値傾向（ $p < 0.1$ ）すなわち閉塞が強い傾向にあった。

表1 性別と疾患の有無別の足趾血流量、脈動幅、CAVI、ABIおよびTBI

	No.	血流量(ml/min)	脈動幅(ml/min)	CAVI	ABI	TBI
全例 (60趾)	60	27.35 ± 15.88	9.66 ± 6.00	8.95 ± 1.17	1.04 ± 0.17	0.73 ± 0.24
男 性	42	29.70 ± 15.60	10.73 ± 6.52	9.14 ± 1.20	1.05 ± 0.18	0.76 ± 0.13
女 性	18	$21.84 \pm 15.56^*$	$7.15 \pm 3.61^{**}$	$8.53 \pm 1.03^*$	1.00 ± 0.13	$0.67 \pm 0.18^*$
糖尿病	(-) 28	27.07 ± 17.12	8.55 ± 4.40	8.77 ± 0.90	1.09 ± 0.15	0.78 ± 0.28
	(+) 32	27.66 ± 14.64	10.92 ± 7.31	9.15 ± 1.42	$0.97 \pm 0.17^{***}$	$0.68 \pm 0.15^*$
虚血性心疾患	(-) 42	25.71 ± 16.88	8.94 ± 5.83	8.89 ± 1.03	1.02 ± 0.18	0.73 ± 0.26
	(+) 18	31.16 ± 12.88	11.34 ± 6.23	9.07 ± 1.45	1.07 ± 0.14	0.73 ± 0.17
脳血管障害	(-) 48	28.23 ± 16.55	9.29 ± 5.53	8.96 ± 1.21	1.07 ± 0.14	0.75 ± 0.24
	(+) 12	23.79 ± 12.85	11.11 ± 7.73	8.96 ± 1.01	$0.90 \pm 0.21^{**}$	0.68 ± 0.22
糖尿病、虚血性心疾患 および脳血管障害	(-) 22	26.67 ± 18.79	7.87 ± 4.19	8.78 ± 0.91	1.11 ± 0.15	0.78 ± 0.31
虚血性心疾患あるいは 脳血管障害	(+) 28	27.49 ± 13.19	10.30 ± 5.90	9.14 ± 1.27	$0.99 \pm 0.18^{**}$	0.7 ± 0.19

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

血流量



脈動幅

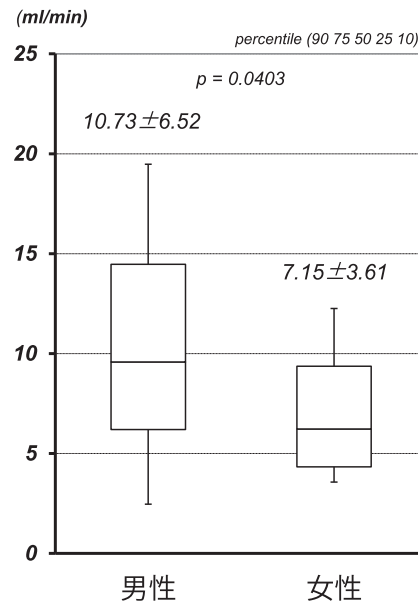


図3 性別と足趾血流量および脈動幅との関係

(5) 虚血性心疾患、脳血管障害、糖尿病の有無と足趾血流量および脈動幅との関係

疾患の有無と足趾血流量との関係を図4に示した。疾患の有無と血流量との間には有意な関係は無かった。しかし、表1に示すように、糖尿病群は非糖尿病群よりもABI値が有意に低値 ($p < 0.01$) で、TBIも低値傾向 ($p < 0.1$) にあり、糖尿病群の方が下肢血管の閉塞度が強かった。心血管病変の有無では、虚血性心疾患の有無でCAVI、ABI、TBIに差が無かったが、脳血管障害既往群のABI値が有意に低値 ($p < 0.05$) であった。

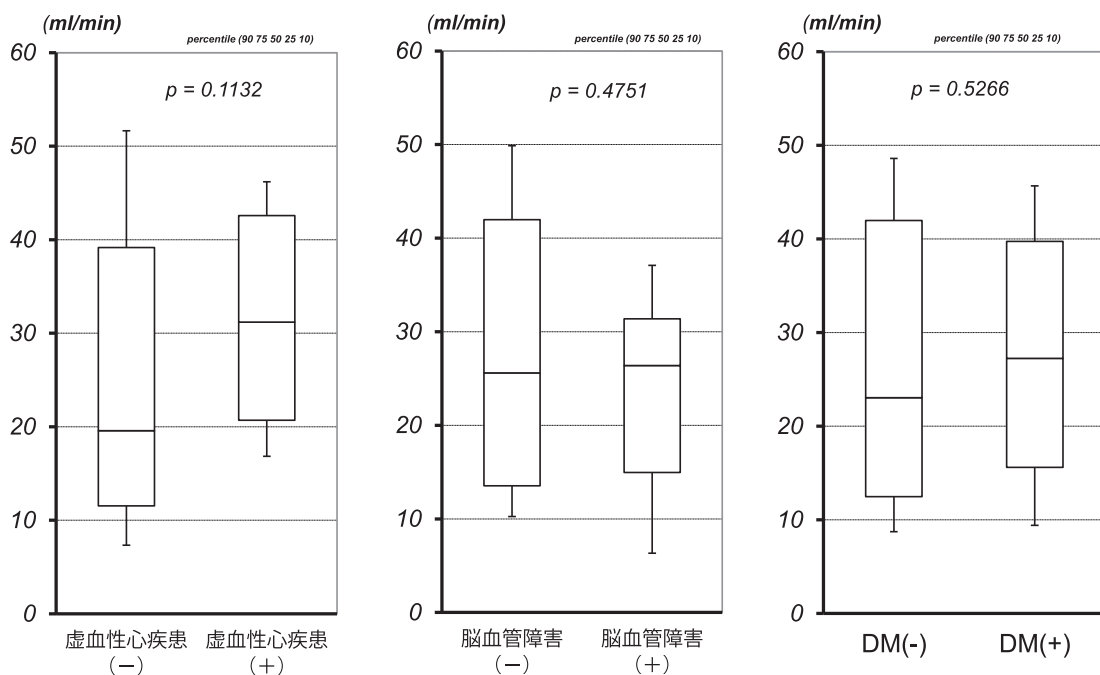


図4 虚血性心疾患、脳血管障害、糖尿病の有無と足趾血流量および脈動幅との関係

(6) 足趾血流量および脈動幅とCAVI、ABI、TBIとの関係

足趾血流量および脈動幅とCAVI、ABI、TBI値との関係を図5に示した。血流量も脈動幅もCAVI値とは有意な関係が無かったが、足趾血流量および脈動幅が低値になるに従いABIもTBIも低値となり、血流量と脈動幅はABIおよびTBIとの間に、有意な正の相関関係（ $p < 0.01$ ）を示した。

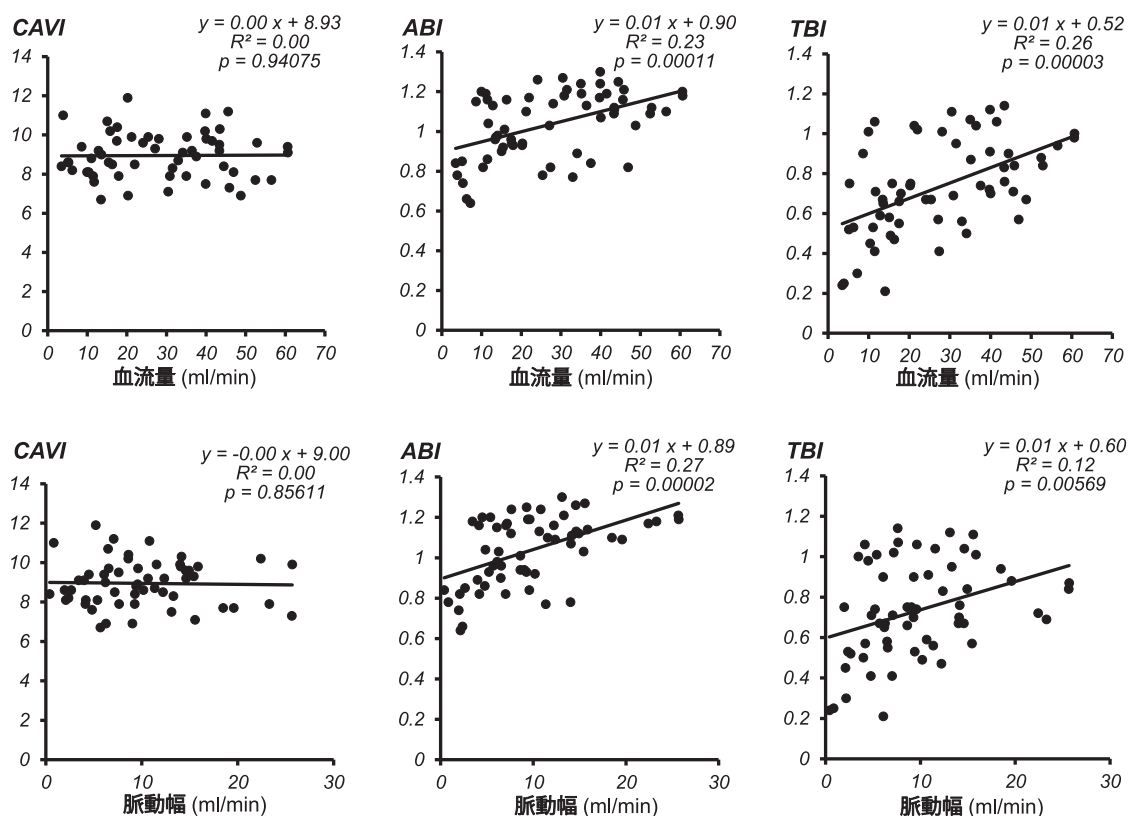


図5 足趾血流量および脈動幅とCAVI、ABI、TBIとの関係

(7) ABIとTBIとの関係

ABIとTBIとの関係を図6に示した。両者は強い正の相関関係を示した。ABI 1.0とTBI 0.7に線を引いた。両者で囲まれた領域（ $ABI < 1.0$ かつ $TBI < 0.7$ ）に入っている19足趾は、PDAの可能性が高い足趾と考えられる。

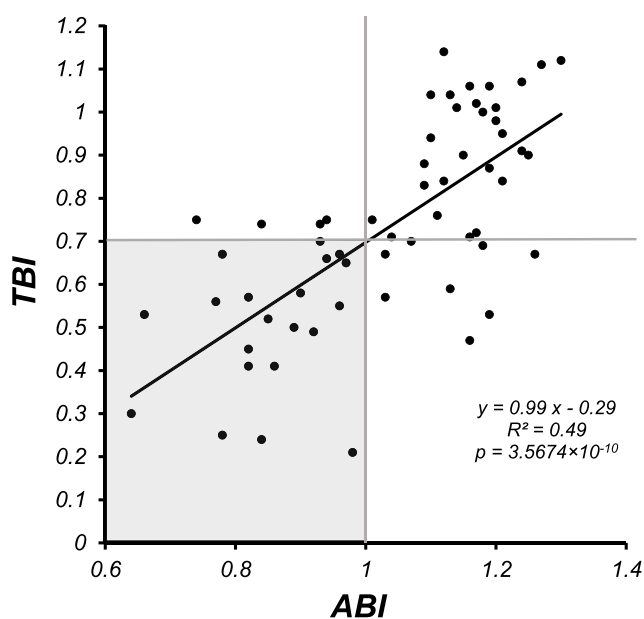


図6 ABIとTBIとの関係

(8) ABIおよびTBIと足趾血流量および脈動幅との関係

ABIとTBIが共に低値だった足趾とそれ以外の足趾の、血流量および脈動幅との関係を図7に示した。ABIが1.0未満かつTBIが0.7未満の足趾は、それ以外の足趾と比較して、血流量も脈動幅も有意に低値だった ($p < 0.001$, $p < 0.0005$)。

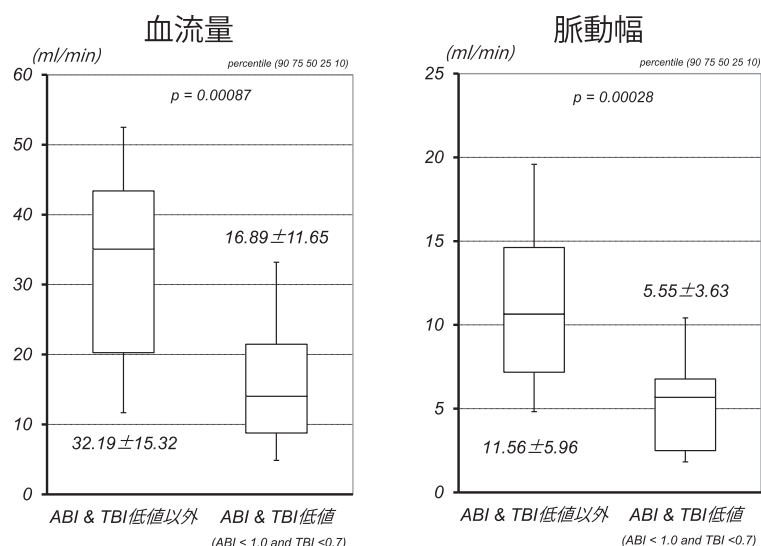


図7 ABIおよびTBIと足趾血流量および脈動幅との関係

(9) 足趾血流量20ml/minおよび脈動幅 7 ml/minとABI 1.0およびTBI 0.7との関係

足趾血流量20ml/min未満とそれ以上、また脈動幅 7 ml/min未満とそれ以上の足趾に分け、ABI < 1.0およびTBI < 0.7とそれ以外の足趾との関係を図8に示した。ABI < 1.0かつTBI < 0.7の足趾は、足趾血流量20ml/min未満の足趾に多く、ABI < 1.0かつTBI < 0.7以外の足趾は、血流量20ml/min以上の足趾に多かった ($p < 0.001$)。また、ABI < 1.0かつTBI < 0.7の足趾は、足趾脈動幅 7 ml/min未満の足趾に多く、ABI < 1.0かつTBI < 0.7以外の足趾は、脈動幅 7 ml/min以上の足趾に多かった ($p < 0.0005$)。

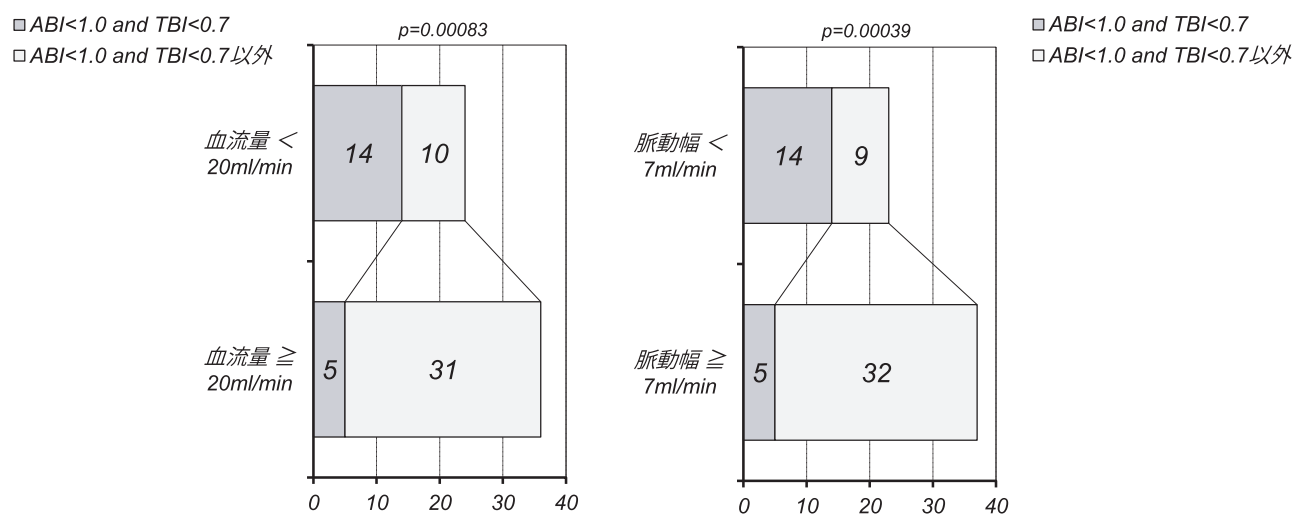


図8 足趾血流量20ml/minおよび脈動幅 7 ml/minとABI 1.0およびTBI 0.7との関係

<考察>

レーザ血流計とは、非検者の体表にセンサー部分を接触させ、皮膚表面から皮下組織に向けてレーザ光を照射し、赤血球で散乱される光のドプラシフト周波数の広がりから、組織血流量を推定するもので、生体を傷つけることなく微小循環の血流量を測定する装置である¹⁴⁾。「ポケットLDF[®]」は、バッテリー駆動と無線機能によりケーブルが不要で、本体135gと軽量かつポケットに入る大きさであり、クリップ（着脱可能）で手指・足趾・耳朶などを挟んでも測定でき、無線機能（Bluetooth）によりデータをパソコンにリアルタイムで送信可能である。

今回の足趾血流測定は、足趾をクリップでは挟まず、検者が非検者の足趾腹側にセンサーを軽く押し当てて行った。その結果、年齢は男性 66.0 ± 12.2 歳、女性 67.3 ± 11.3 歳と男女間に差は無かったが、足趾血流量は男性 29.70 ± 15.60 ml/minに対して女性 21.84 ± 15.56 ml/minと女性が低値傾向で、脈動幅は男性 10.73 ± 6.52 ml/minに対して女性 7.15 ± 3.61 ml/minと女性が有意に低値であった。この結果は、動脈硬化の指標であるCAVIが男性 9.14 ± 1.20 、女性 8.53 ± 1.03 と男性に動脈硬化が強い傾向があったのに対し、閉塞の指標であるTBIが男性 0.76 ± 0.26 、女性 0.67 ± 0.18 と女性に閉塞が強い傾向があったこととの関連が示唆される。

今回の検討では、血管造影、CT angiography、MR angiography等の画像診断を行っておらず、足趾血流測定結果を血管狭窄・閉塞程度と直接比較することは出来ないため、PDAのスクリーニング検査として最も行われているABIやTBIとの比較から、PDA診断における足趾血流測定の有用性を検討した。

臨床的には、subclinical PADのスクリーニング検査としては、ABIとSPPが最も用いられている。SPPもLDFを用いた測定法¹⁵⁾で、皮下1～2mmの毛細血管レベルの血流が測定対象のため動脈壁石灰化の影響を受けにくく、重症虚血肢（critical limb ischemia: CLI）の重症度評価に有用と報告¹⁶⁾されており、小林⁴⁾は治療効果の判定にも応用できることを指摘している。ABIとSPPに関しては、Kawaradaら¹⁷⁾は両者間に有意な相関関係（ $p = 0.021$ 、 $r = 0.363$ ）があったと述べている。今回の検討では、足趾血流測定もABIとの間に強い相関関係（血流量： $p = 0.00011$ 、 $r^2 = 0.23$ 、脈動幅： $p = 0.00002$ 、 $r^2 = 0.27$ ）があり、TBIとの間にも強い相関関係（血流量： $p = 0.00003$ 、 $r^2 = 0.26$ 、脈動幅： $p = 0.00569$ 、 $r^2 = 0.12$ ）があった。

ABIに関しては、Okamotoら⁹⁾¹⁰⁾は、透析患者ではABIの正常範囲が $1.02 \sim 1.42$ で、非透析患者の正常値 $0.9 \sim 1.3$ よりも右に変位している可能性を指摘しており、Otani¹⁸⁾らはROC（receiver operating characteristic）分析結果から、透析患者のABIカットオフ値は1.1であると報告している。

今回、ABI 1.0およびTBI 0.7をそれぞれのカットオフ値とし、ABI <1.0 かつTBI <0.7 の足趾をPAD疑ありとして、足趾血流量と脈動幅との関係を検討した。結果はABI <1.0 かつTBI <0.7 の足趾の血流量が 16.89 ± 11.65 ml/minだったのに対し、それ以外の足趾の血流量は 32.19 ± 15.32 ml/minで、両者間には有意な差（ $p < 0.001$ ）があり、脈動幅も同様に前者 5.55 ± 3.63 ml/min、後者 11.56 ± 5.96 ml/minと有意差（ $p < 0.0005$ ）が認められた。

足趾血流測定結果をみると、ABI <1.0 かつTBI <0.7 の足趾の75percentile値と、ABI <1.0 かつTBI

<0.7以外の足趾の25percentile値がほぼ一致し、血流量は約20ml/min、脈動幅は約7 ml/minだった。そこで、血流量20ml/min、脈動幅7 ml/minをカットオフ値とし、ABI<1.0かつTBI<0.7足趾（PAD疑）の診断精度を検討したところ、血流量が20ml/min未満の足趾、脈動幅7 ml/min未満の足趾に、ABI<1.0かつTBI<0.7の足趾が有意に多かった（ $p<0.001$ 、 $p<0.005$ ）。血流量<20ml/minのABI<1.0かつTBI<0.7足趾の診断は、感度73.7%、特異度75.6%、陽性的中率58.5%、陰性的中率86.1%、脈動幅<7 ml/minは、それぞれ73.7%、78.0%、60.9%、86.5%であり、血流量も脈動幅もほぼ同等の診断能であった。

ポケット携帯型LDFによる足趾血流測定は、誰にでも容易に短時間で行え、得られた血流量や脈動幅のデータは、ABIやTBIのデータと良く相関していた。血液透析患者のPADを早期に発見するためのスクリーニング検査として、ポケット携帯型LDFによる足趾血流測定は有用と考えられる。

<結語>

ポケット携帯型LDFによる、血液透析患者の足趾血流量と脈動幅の測定結果は、ABIやTBIの値と有意な相関関係にあった。血流量と脈動幅は、男性が女性よりも大きかった。血流量<20ml/minあるいは脈動幅<7 ml/minの足趾には、ABI・TBIがともに低い足趾が多く（ $p<0.001$ 、 $p<0.0005$ ）、下肢血管に狭窄・閉塞のある可能性が高いと考えられた。

ポケット携帯型LDFによる足趾血流測定は、血液透析患者のPADのスクリーニング検査として役立つ可能性が示唆された。

<文献>

- 1) Foley RN, Parfrey PS, Sarnak MJ: Epidemiology of cardiovascular disease in chronic renal disease. J Am Soc Nephrol 9: S16-S23, 1998.
- 2) 福本真也、庄司哲雄、小山秀則、他：透析患者の動脈硬化、透析患者の合併症とその対策、日本透析医会・合併症対策委員会編、P1-12、日本透析医会、東京、2005.
- 3) O'Hare AM, Johansen K: Lower-extremity peripheral arterial disease among patients with end-stage renal disease. J Am Soc Nephrol 12: 2838-2847, 2001.
- 4) 小林修三：透析患者における末梢動脈疾患～早期発見と治療戦略～、秋田腎不全研究会誌 18: 9-17, 2015.
- 5) Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, et al.: Inter-Society Consensus for Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). J Vasc Surg 45(Suppl. S): S5A-S67A, 2007.
- 6) 日本透析医学会：「血液透析患者における心血管合併症の評価と治療に関するガイドライン」第8章 末梢動脈疾患、透析会誌 44: 412-418, 2011.
- 7) 満生浩司、平方秀樹：PAD フットケアを救肢・救命につなげるために必要な知識、第5章 PDAの診断 (1)日本のガイドライン・診断基準・重症度分類、臨床透析 31: 821-828, 2015.

-
- 8) BernstienEF and Fronek A: Current status of noninvasive tests in the diagnosis of peripheral arterial disease. *Surg Clin North Am* 62: 473-487, 1982.
 - 9) Okamoto K, Oka M, Maesato K, et al.: Peripheral arterial occlusive disease in more prevalent in patients with hemodialysis: comparison with the findings of multidetector-row computed tomography. *Am J Kidney Dis* 48: 269-276, 2006.
 - 10) 岡本好司、岡 真知子、真栄里恭子、他：透析患者における下肢閉塞性動脈硬化症—無侵襲診断法について—、*脈管学* 46：829-835、2006.
 - 11) 岡崎 亨、金野裕介、佐藤永淑、他：慢性維持透析患者の下肢血行状態について、*秋田腎不全研究会誌* 15：48-54、2012.
 - 12) 能登宏光、嵯峨まゆ子、佐々木由美、他：指尖容積脈波測定による血液透析患者の自律神経バランスおよび末梢血液循環分析の試み、*秋田腎不全研究会誌* 17：148-158、2014.
 - 13) Bonner R, Nossal R: Model for laser Doppler measurements of blood flow in tissue. *Appl Opt* 20: 2097-2107, 1981.
 - 14) 郷間雅樹、森 俊太郎、伊藤敦也、他：小型レーザー血流センサーの開発、*PIONEER R&D* 21：30-37、2012.
 - 15) Castronuovo JJ Jr, Pabst TS, Flanigan DP et al: Noninvasive determination of skin perfusion pressure using a laser Doppler. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 28: 253-257, 1987.
 - 16) 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*, 26: 629-637, 1997.
 - 17) Kwarada O, Yokoi Y, Higashimori A, et al.: Assessment of macro-and microcirculation in contemporary critical limb ischemia. *Catheter CardiovascInterv* 78: 1051-1058, 2011.
 - 18) Otani Y, Otsubo S, Kimata N, et al.: Effects of the Ankle-brachial Blood Pressure Index and Skin Perfusion Pressure on Mortality in Hemodialysis Patients, *Intern Med* 52: 2417-2421, 2013.