

## 下肢動脈カテーテルインターベンションにおける 皮膚微小循環リアルタイムモニタリングの有用性の検討

洛和会丸太町病院 CE部

塩田 裕啓・丸山 大輔・坂川 浩一・古谷 和幸・羽田野 かおり・羽生 真耶・石岡 佳記

洛和会丸太町病院 洛和会京都血管内治療センター・心臓内科

杉本 達哉・南 丈也・富士榮 博昭・金森 徹三・小山田 尚史・浜中 一郎・上田 欽造

No(2) Defence Services General Hospital, Cardiac Medical Unit

NYEIN CHAN AUNG

### 【要旨】

末梢血管病変、とりわけ重症下肢虚血（CLI）の創傷治癒には皮下組織レベルの血液循環（皮膚微小循環）の改善が重要である。われわれはレーザー血流計を用いて下肢動脈カテーテルインターベンション（PPI）施行中に皮膚微小循環をリアルタイムにモニタリングし、その臨床上の有用性を検討した。

レーザー血流計（ネクシス社CDF-2000）では皮膚表面から深さ3～4mmまでの血流量を1秒以内に計測できる。レーザー血流計によりPPI施行中に皮膚微小循環をリアルタイムモニタリングすることは、血流改善の定量評価や合併症の早期発見に有効となり、また測定結果をレトロスペクティブに解析することで薬効評価や治療戦略の見直し等にも活用できることを示した。

PPI施行中に皮膚微小循環をリアルタイムモニタリングすることは術者に大きな知見をもたらし、その有用性は大きいと言える。

**Key words** : カテーテルインターベンション、PPI、レーザー血流計、皮膚微小循環、重症下肢虚血

### 【緒言】

末梢血管病変、とりわけ重症下肢虚血（CLI）の創傷治癒には皮下組織レベルの血液循環（皮膚微小循環）の改善が重要である。そのためCLIを対象とした下肢動脈カテーテルインターベンション（PPI）施行時に皮膚微小循環をモニタリングすることは、治療効果を定量的に把握するという観点から意義深い。皮膚微小循環の評価方法としては皮膚組織灌流圧（SPP）や経皮酸素分圧（tcPO<sub>2</sub>）等が普及しているが、なかでもレーザー血流測定には無侵襲・即応性・連続測定が可能といった特長がある。われわれはレーザー血流計を選択することでPPI施行中に微小循環をリアルタイムにモニタリングできると考え、本研究ではその有用性を検討した。

### 【方法】

レーザー血流計はレーザー光の反射におけるドブラシフトを用いることで組織中の循環血流量を測定するものである。皮膚表面に設置したプローブから組織内へレーザー光を照射すると赤血球で反射されるため、その反射光をプローブ内の検出器で検出する。この際、静止物で反射した周波数偏位していない周波数と重ね合わせるにより生じる「うなり」を計測する。このうなりの周波数が対象物の移動速度に比例することから血球速度が求まり、うなりの振幅が質量に比例することから血球量が求まり、それらの積が循環血流量として算出される<sup>1)</sup>。こうして求まる循環血液量のことを血流値といい皮膚微小循環の指標とされる。

レーザー血流計は1980年代より実用化されてきた。近年の装置は測定信号の演算速度が著しく向上しており、数100マイクロ秒でサンプリングを行い、数10ミリ秒で各種の演算が行われ、1秒以内に測定結果が表示される。今回使用したレーザー血流計はネクシス社のCDF-2000、モニタリングソフトウェアはIVR monitorである（図1）。皮膚表面からのレーザー光の到達深度つまり血流の評価深度は数mmであり、本機種では皮膚表面から深さ3~4mmまでの血流量を計測できる。これは皮膚微小循環のなかでも特に重要視すべき細動脈レベルの血流を評価できると考えられている。

循環血流量は末梢組織100gあたりに換算されて記載されることが一般的であり、測定単位はml/min/100g組織を用いた。

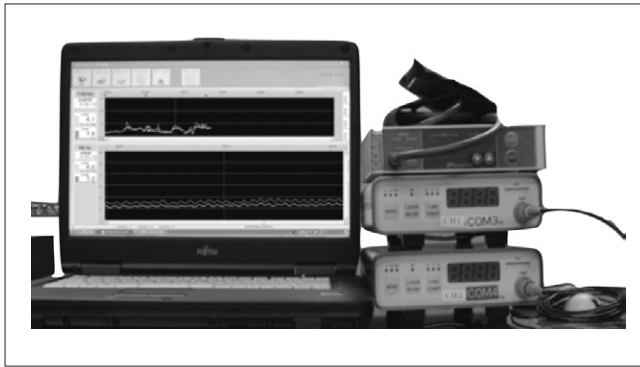


図1 レーザー血流計の概観

ネクシス社製 CDF-2000  
モニタリングソフトウェア「IVR monitor (Rev. A03)」  
測定間隔 5mS、表示間隔 250mS (移動平均)

カテーテル室への入室後、カテーテル台上にて計測プローブを患者さまの足背部と足底部に両面テープで貼り付ける（図2）。モニタリングソフトウェアにて計測開始し、測定結果を付属のパソコンにて連続的にグラフ化する（図3a）。このままPPI手技が終了するまで連続測定し、この一連の計測をリアルタイムモニタリングと称した。

レーザー血流測定は外気温の影響を受けやすく、健常者でも20℃以下の環境では血流低下を示すことから、カテ室の室温は25℃以上とした。さらに、運動直後は交感神経系亢進などの影響を受け測定値が変動するため、10分間の横臥安静の後に測定を開始した。

なお、レーザー血流測定は皮下に隠れた血管や血流の局在による影響を受けやすいため、数量化に際しては複数箇所の測定結果の平均を用いるべきとされている<sup>2)</sup>。しかしな

がら、皮膚微小循環の状態が悪い部位ではプローブを取り外す際に両面テープの粘着性のために皮膚剥離を起こすリスクがあり、倫理上の配慮から足背部・足底部について各1カ所の測定とした。

下肢の体動が少ない場合には安定した測定値が得られるが、透析症例に代表される末梢神経障害による体動を伴う場合やCLIで安静時疼痛を伴う場合など、下肢に小刻みな体動がある場合には計測プローブが揺動し測定値が大きく変動する（図3）。そうした場合はシリコン素材のカバーでプローブ全体を覆い、揺動対策を施した<sup>3)</sup>。

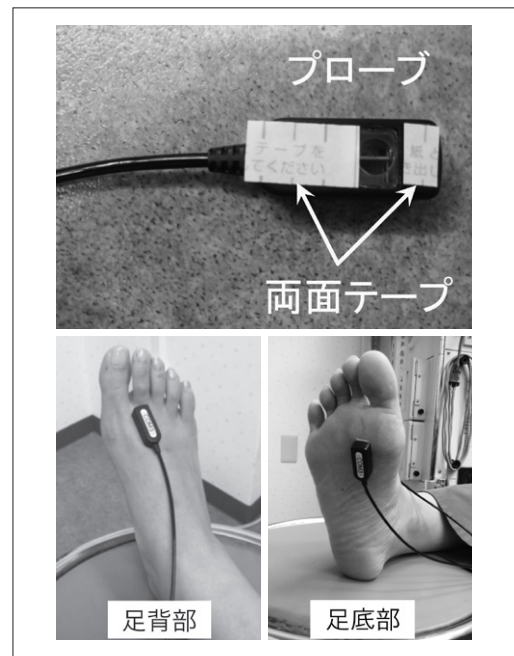


図2 計測用プローブ

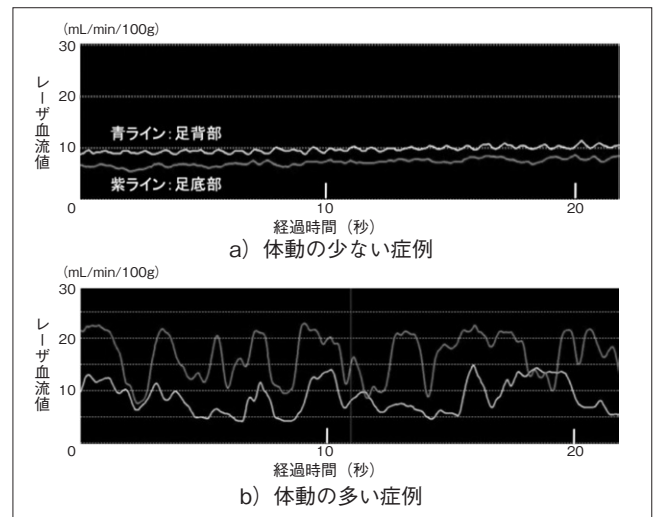


図3 モニタリング実例

本研究においてCLIに対するPPIを論ずる際の使用用語を定義する。アンギオサムの概念<sup>4)</sup>に基づいて病変部位を還流する血管を責任血管と呼称する。例えば第一足趾（母趾）の足背側の潰瘍であれば責任血管は前脛骨動脈（ATA）となる。PPIによって責任血管であるATAのみ、もしくは腓骨動脈（Pero. A）のみ再灌流できた症例を1-ストレートライン群と定義し、ATAとPero. Aの2本が灌流している症例を2-ストレートライン群と定義する。後脛骨動脈（PTA）についても同様に扱う<sup>5) 6)</sup>。

統計学的な検討として、2群間の平均値の比較にはpairedまたはnon-paired Student's t-testを用い、危険率5%未満をもって統計学的に有意な差とした。

インフォームドコンセントについては文書同意のもとで本研究を遂行した。

**【結果】**

下肢動脈カテーテルインターベンション（PPI）における皮膚微小循環リアルタイムモニタリングの実際例を提示する。

**①症例1**

右前脛骨動脈（Rt-ATA）の閉塞病変に対しPPIを行った際のモニタリング結果を示す（図4）。開始時は4.3ml/min/100g組織と低値であった血流値はバルーン血管形成術（POBA）によって10ml/min/100g組織程度まで上昇し、バルーン径をサイズアップすることでさらに上昇し、最終的に17.2ml/min/100g組織と十分に改善している。

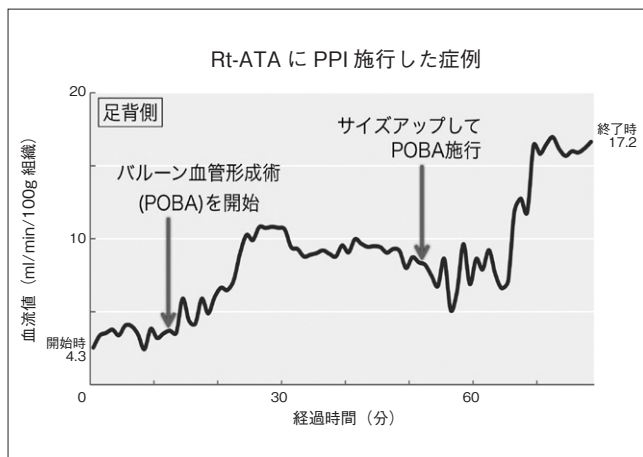


図4 モニタリング実施例

**②症例2**

右膝窩動脈（Rt-Pop. A）に生じた慢性完全閉塞病変に対し、POBAとScoring balloon拡張術を行った際（図5）のモニタリング結果を示す。Scoring balloon拡張術後は図6左図のように再灌流により血流値が20ml/min/100g組織程度まで改善した。しかし、その後に血流値が一気に低下したため造影にて確認したところ、図6右図のように急性閉塞していることが判明した。

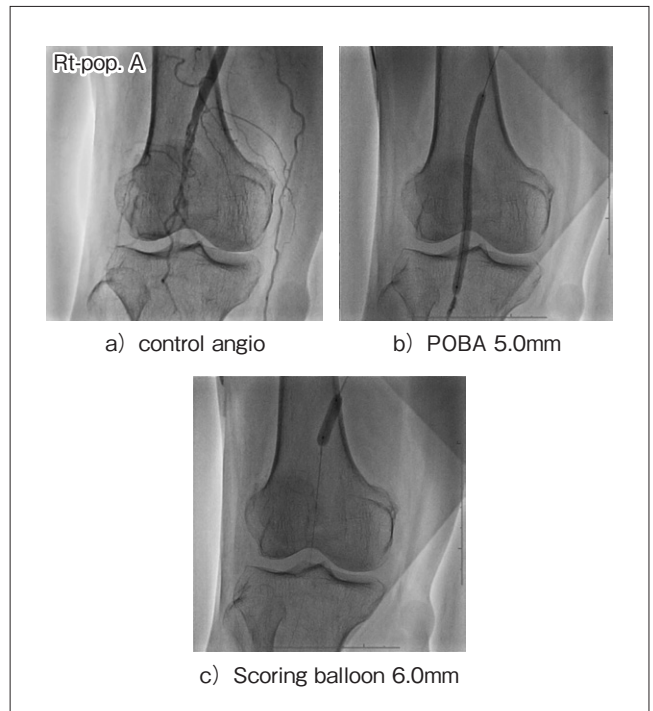


図5 血管内解離を検出した症例

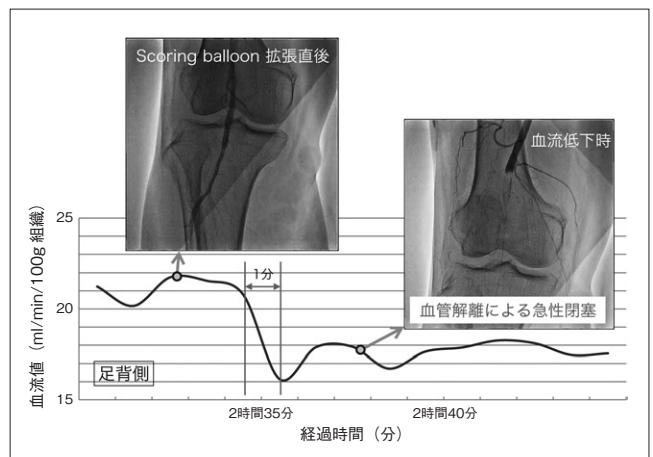


図6 血流モニタリングと血管造影

③症例3

左下肢足背部に潰瘍形成したCLI症例において、左前脛骨動脈 (Lt-ATA) にPPIを行った際の造影および血流モニタリング結果を示す。末梢の灌流範囲は図7aのように狭い範囲であったが、細動脈レベルの血流改善を目的としてニコランジル製剤を動脈内投与したところ、図7bのように灌流範囲が広がった。それに伴い血流値が5.4ml/min/100g組織から15.8ml/min/100g組織に改善している。

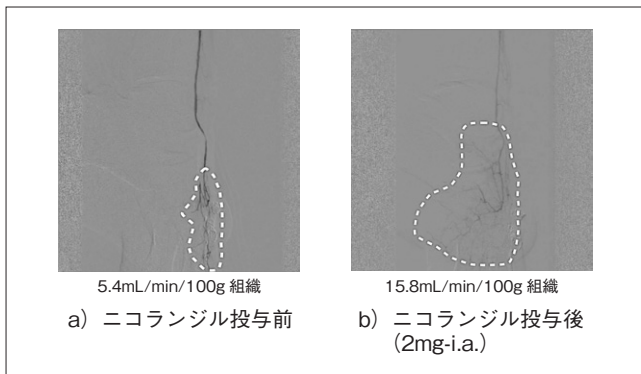


図7 ニコランジル投与前後での比較

④ニコランジル投与による皮膚微小循環の改善の検討

症例3で提示したようにニコランジル製剤を動脈内投与することで血流値の変化がみられた。そこで連続22症例についてニコランジル投与前後の血流値を比較したところ、投与前の血流値が11.1±4.2ml/min/100g組織 (表記は平均±標準偏差) であったのに対し、投与後は13.1±6.2ml/min/100g組織と有意 (P<0.05) に改善していた (図8)。

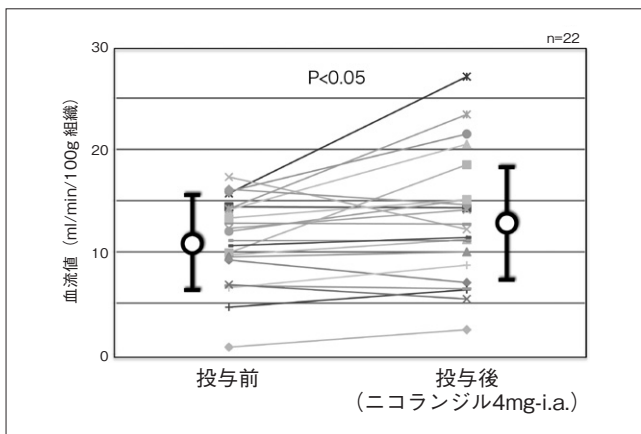


図8 ニコランジルの血流改善効果

⑤腓骨動脈再灌流による皮膚微小循環の改善の検討

CLI治療において腓骨動脈 (Pero. A) の再灌流の効果に着目し、各症例について治療前の血流値を基準として治療後に血流値がどの程度向上したかを算出し比較した。腓骨動脈 (Pero.A) だけ再灌流した1-ストレートライン群では142%、責任血管だけを再灌流した1-ストレートライン群では172%、両血管を再灌流した2-ストレートライン群では232%とより大きく血流値が向上していた (図9)。さらに、患肢の大切断、小切断、外科的バイパス術施行をエンドポイントとした予後調査の結果を示す (図10)。1-ストレート群に比し2-ストレートライン群において予後が有意 (p<0.01) に良好であった。

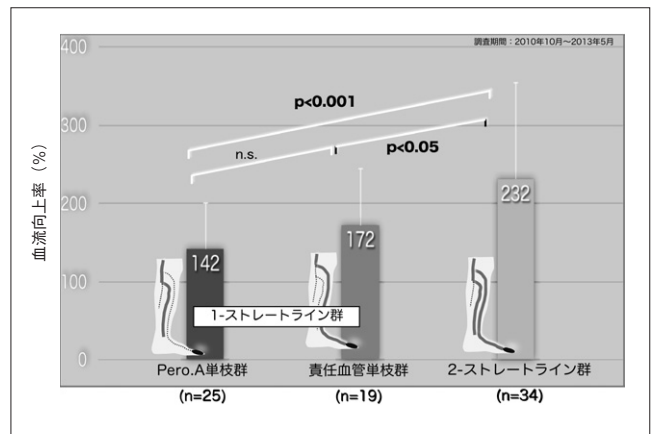


図9 単枝再建と二枝再建の血流向上率の比較

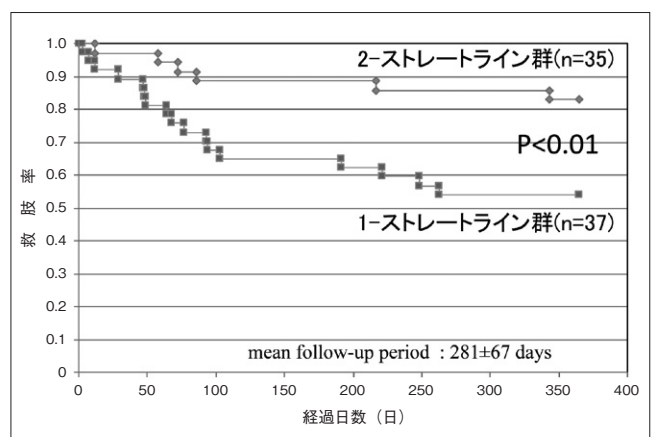


図10 単枝再建と二枝再建の救肢率比較

【考 察】

健常者の血流値は足背部で13.8ml/min/100g組織、足底部



で13.7ml/min/100g組織と報告されている<sup>7)</sup>。レーザー血流測定によりPPI術中にリアルタイムで血流値がわかれば、術者がバルーンのサイズアップの必要性やエンドポイントを判断する際の一助とできる。また、手技中にレーザー血流計を用いてリアルタイムモニタリングすることで、血管解離や血栓形成、末梢塞栓等による急性閉塞の早期発見に有効となり得る。また従来、ニコランジル製剤等の薬効評価は造影所見による視覚的・定性的な評価のみとなっていたが、レーザー血流計を用いることで薬効を数値化でき、定量的に評価することが可能となった。

レーザー血流測定の結果は従来の治療方針に対し、新たな治療方針をも示唆し得る。CLIへの治療としては責任血管の治療を試みることが一般的である。しかし本研究の結果から、責任血管の治療が不成功に終わった場合でも腓骨動脈を治療できれば皮膚微小循環を改善できることが明らかとなった。また、責任血管に併せて腓骨動脈も治療することでさらに血流を改善でき、予後を改善できる可能性が示唆された。腓骨動脈を治療する意義は非常に大きいと考えられ、CLIにおいても冠動脈再血行再建術と同様に完全血行再建を目指した治療戦略の有効性が示唆されたと言える。

#### 【結 語】

レーザー血流測定を用いてPPI施行時にリアルタイムモニタリングすることで、PPI手技による血流改善の定量評価や合併症の早期発見に有効となる。さらに、測定結果をレトロスペクティブに解析することで、薬効評価や治療戦略

の見直し等にも活用できる。レーザー血流測定を用いてPPI施行時にリアルタイムモニタリングすることは術者に大きな知見をもたらすものであり、その有用性が認められた。

#### 【参考文献】

- 1) 重松邦広、脈管の機能的診断:進歩と現況、脈管学、Vol 45 : 294-298、2005
- 2) 保崎泰弘、ASO患者の末梢循環を評価する、Medical Tribune、Vol 37 ; 47-48、2004
- 3) 塩田裕啓、レーザー Doppler 血流計による評価方法、peripheral CTO for cardiologists 8<sup>th</sup> course syllabus ; 71-77、Peripheral CTO seminar、2013
- 4) Taylor et al. Angiosomes of the leg : Anatomic study and clinical implications、Plastic & Reconstructive Surgery : Vol 102 ; 599-616、1998
- 5) 塩田裕啓、重症下肢虚血へのPPI症例を対象としたレーザー血流計による皮膚微小循環モニタリングの活用、日本心血管インターベンション治療学会誌、Vol 5 ; 732、2013
- 6) 小山田尚史、Multiple-line Revascularization Strategy is Superior to Single Line Strategy in PPI for the Patients with CLI. 第78回日本循環器学会学術集会抄録 ; 598、2014
- 7) 柏木睦美、上,下肢皮膚微小循環における vasomotion と血管反応性の分析、日本臨床生理学会誌、Vol 24 ; 393-400、1994