

皮膚組織灌流圧

重松 邦広 小野塚温子

要 旨：末梢血管病変，特に重症虚血肢に対する非侵襲的な機能評価としてレーザードプラ法を利用した皮膚組織灌流圧(skin perfusion pressure: SPP)測定が臨床応用されている。さらに足関節上腕血圧比が測定できない糖尿病症例や維持透析患者透析症例において虚血重症度を測定するのに有用である。SPPは交感神経支配の皮膚血流を評価対象としておりデリケートな評価法であるが，今後測定機器の改良などにより，より簡便に測定できるようになることが期待される。
(J Jpn Coll Angiol, 2005, 45: 294–298)

Key words: laser Doppler, skin perfusion pressure, critical limb ischemia

はじめに

末梢血管外科領域において，下肢虚血の重症度評価は治療法を選択するうえで非常に重要である。現在，末梢血管外科領域の評価・治療法において世界的なrecommendationとしてTASC(TransAtlantic Inter-Society Consensus)が広く用いられるようになってきており，このTASCにおいて足関節上腕血圧比(ankle brachial pressure index: ABI)や足関節圧そのものが一般的な下肢虚血の重症度指標として用いられている。しかしながら糖尿病症例や維持透析症例においては，下肢，特に下腿動脈の石灰化が著明なためにマンシェットで下腿動脈を十分圧迫することができず，重症虚血肢(critical limb ischemia: CLI)であるにもかかわらず，足関節圧が200mmHgを超えることも多く，重症度評価がABIでは不能となることが多い。

CLIの治療にあたり，ABIが測定できる症例は，ABIを用いることで重症度評価が可能である。しかし，上記のような糖尿病症例や維持透析症例のABI測定不能例の場合には，血管撮影画像による評価のほか機能的評価法がなく，血行再建施行せずに治癒せしめることが可能か否かの評価ができなかった。このような下肢動脈の高度石灰化を認める症例においても，虚血の重症度を評価することを目的に，さまざまな非侵襲的な

評価法の確立が必要となった。跛行症例においては近赤外線分光法(near-infrared spectroscopy: NIRS)の利用により，虚血肢の筋肉における酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの変動から虚血肢の筋肉内の酸素代謝を指標とした虚血に対する非侵襲的な評価法が確立された^{1,2)}。一方，安静時痛，虚血性潰瘍などを有するCLIの症例においては，運動負荷を与えることができないため，NIRSを評価法として用いることはできない。このような症例において組織の微小循環を評価対象として皮膚組織灌流圧(skin perfusion pressure: SPP)³⁾や経皮酸素分圧測定(TcPO₂)⁴⁾などが開発されてきており，TASCの中においてもこれら微小循環系の評価が今後有用な評価法になることが期待されている。NIRSとTcPO₂については他項において詳述されるので，本項ではSPPについて述べる。

皮膚組織灌流圧とは

皮膚組織灌流圧(SPP)は，文字通り皮膚レベルの灌流圧を意味し，皮膚レベルの微小循環の指標であり，どの程度の圧で微小循環が灌流しているかを示している。1979年にHolsteinらがラジオアイソトープを用いた測定方法を報告したが⁵⁾，ラジオアイソトープを用いることもあり，広く一般施設において臨床応用することが困難であった。しかし1987年にCastronuovoらによ

りレーザードブラを用いた測定法が発表され³⁾, 測定機器も市販されたことにより臨床の場で利用されるようになってきた。レーザの透過深度は皮膚表面から1~2mm程度であり, これを利用して測定可能である測定対象は毛細血管レベルの血流である。このため現在市販されているSPP測定用の機器もまさに皮膚レベルの微小循環測定に適している。

レーザードブラによる血流測定は, プローブから照射されたレーザが, 動きのある対象物で反射してきたものをプローブ内の検出器で検知する。この際, 反射レーザの周波数が測定するには高いため, 実際には静止物で反射したレーザとの周波数偏移していない周波数と重ね合わせるにより生じる“うなり”を測定する⁶⁾。このうなりの周波数が動きのある物体の速度に, 振幅が質量に比例することから血球の速度と血流量がおのの測定され, その積が一般的には血流量として計測されることになる。

測定法

われわれの施設ではLASERDOPP PV2000 (VASAMEDICS社製: Fig. 1)を用いている。レーザードブラは, 上記のように繊細な計測法であるため, プローブのわずかな位置変化により測定結果が大きく異なる結果になる。また皮膚血流は交感神経支配であることから, 安定した室温・環境下においてベッド上安静で測定することが必要であり, 安静時痛のある症例では測定に苦勞することもある。

(1)測定部位に合わせたサイズのカフ(足趾用, 足部



Figure 1 LASERDOPP PV2000.



Figure 2 Measurement of SPP.

A pneumatic cuff with a laser Doppler probe placed around the palmar aspect of the digit, the dorsal side of the foot, or on the calf muscle. The pneumatic cuff is inflated above systolic pressure. At this pressure the laser Doppler flux must be less than 0.1 v%. The cuff is deflated in stepwise decrements of 10 mmHg until 50 mmHg and then from 5 mmHg decrements to below 50 mmHg. Deflation is continued until two consecutive increases in the laser Doppler scan flux is noted. The first increase in the laser Doppler output represents the initiation of blood flow into the regional microcirculation and is taken as laser Doppler SPP.

用, 下腿用: Fig. 2)を巻き, 5mmHgまでインフレートし, 灌流量が0.3%以上であることを確認する。

(2)カフを100mmHgまでインフレートし, 灌流量を0.1%以下に低下させ, 皮膚血流が遮断されていることを確認する。

(3)10mmHgカフ圧を低下させ, 灌流量が安定するまで10~20秒ほど待つ。安定したら再度10mmHgカフ圧を低下させ, 灌流量が安定するまで10~20秒ほど待つ。この操作を繰り返し, 灌流量が0.1%を超えた時点のカフ圧がSPPである。SPPが50mmHg以下の場合には1回のカフ圧低下を5mmHgとして繰り返す。

以上の測定法では, カフの皮膚接触面にプローブを装着し, カフ圧を徐々に低下させ灌流再開時の圧を測定しており, 前述のごとく血流量ではなく灌流圧自体を測定している。

正常人(ABI 1.1), 間歇性跛行症例(ABI 0.54), 虚血性潰瘍症例(ABI 0.24)の代表的測定結果をFig. 3A, B, C

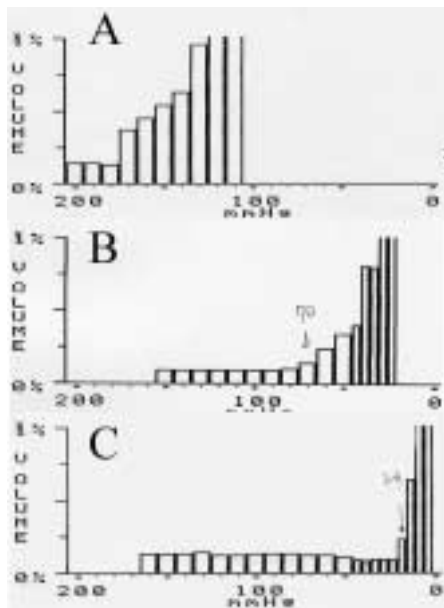


Figure 3 Laser Doppler skin perfusion pressure in a healthy control (A), a claudicant (B), and a patient with ischemic ulcer (C).

に示すが、おのこのSPPは170mmHg, 70mmHg, 20mmHgである。当科における閉塞性動脈硬化症例とバージャー病症例において、ABI測定が可能であった症例においてはSPPと足関節圧 (ankle pressure: AP) が相関しており、さらにはバージャー病症例において虚血性潰瘍を有する群ではAPでは差はないもののSPPは有意に低値を示した。また、これらからSPPは下肢の虚血状態を評価することが可能であり、APを用いるABIよりもより末梢の皮膚レベルの虚血評価においてはSPPの方が有用であることが示唆された⁷⁾。

Tsaiらは、虚血肢において趾動脈圧 (toe pressure: TP) とSPPは強い相関関係があって、この相関関係は糖尿病の有無によらないと報告しており、虚血の一つの指標であるTPが趾切断後や潰瘍形成で測定不能の際などにはSPPが良い評価法になると報告している⁸⁾。

虚血性潰瘍や切断を要する症例に対する治療予測因子として、SPPを用いることが可能であるとの報告がされている。Castronuovoらは虚血性潰瘍治療が可能なSPPについて検討を行っており、CLIの場合でもSPPが30mmHg以上であれば虚血性潰瘍が治癒するが、30mmHg未満では潰瘍治療は困難であると報告している⁹⁾。また、UbbinkらはCLI症例において虚血肢を大切



Figure 4

A・B: Four digits except the 4th one were found to be necrotic preoperatively.

C・D: Necrotic digits were removed without wound closure. The wounds healed up 6 months after surgery.

断するか否かの評価法として、SPP, TcPO₂など組織微小循環を用いることは有効であり、SPP, TcPO₂が30mmHg以上のものは切断が回避できると報告している¹⁰⁾。

われわれの施設でもこれらの報告に則り、SPP 30mmHg未満であれば足底動脈レベルまでのdistal bypassも含めて血行再建可能時には、まず血行再建を行っている。さらに血行再建不能である場合には切断レベルを決定する際にもSPPを利用して断端の創傷治癒可能なレベルを推測している。

自験例

症例1: 72歳, 男性。左足部壊疽 (Fig. 4A, B) を主訴として外来受診。左膝窩動脈以下動脈拍動触知せず, ABI 0.4と低下していた。HbA1c 9.4と糖尿病のコントロール不良にて閉塞性動脈硬化症に糖尿病性壊疽を合併したための病変と考えられた。血管撮影 (Fig. 5) では、膝窩動脈までは虫食い状の病変を認めるが、責任病変として下腿動脈の多発性の閉塞狭窄であると考えられた。左足背SPP 35mmHgと30mmHgを超えていたため (Fig. 6), 壊死した足趾のみ切断し、開放創として2次治癒を待つ方針とした。術後フィブラストスプレーも併用し、術後6カ月で治癒した (Fig. 4C, D)。

症例2: 70歳, 男性。閉塞性動脈硬化症による右大腿切断施行後の症例。外来通院中ABIの低下を認めない (ABI 0.6) にもかかわらず、左4趾5趾間ならびに5趾



Figure 5 Preoperative angiogram. Preoperative angiogram showed the multiple segmental occlusion of anterior tibial, peroneal, and posterior tibial arteries.



Figure 6 Preoperative laser Doppler SPP. Preoperative laser Doppler SPP was 35 mmHg on the dorsal of the foot.



Figure 7
A: Ischemic ulcers were located between 4th and 5th digits and on the lateral side of the 5th digit. B: The ischemic ulcer did not heal in spite of vascular reconstruction of below-knee femoro-popliteal bypass with reversed greater saphenous vein and the digital amputation of 4th and 5th digits were performed.

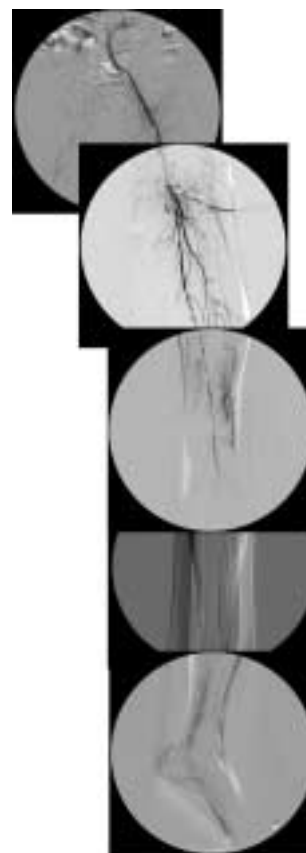


Figure 8 Preoperative angiogram. The superficial femoral artery was occluded and the popliteal artery was stenotic in its multiple segments. Posterior tibial artery was occluded at the level of malleolus and the circulation within the foot was inappropriate for the inframalleolar bypass.

外側に虚血性潰瘍 (Fig. 7A) を認め、入院。血管撮影 (Fig. 8) では浅大腿動脈閉塞、膝窩動脈閉塞、後脛骨動脈末梢閉塞を認め、SPPは足部で10mmHg (Fig. 9A) であった。今回の責任病変は以前から指摘されていた大腿膝窩動脈病変に加え、後脛骨動脈足関節部閉塞が加わり急速に悪化したものと診断された。足底動脈も含めた足部動脈がdistal bypassの末梢吻合部として状態が悪く、足底動脈までのバイパスは行えず、右大腿切断後で左大腿切断を避けるために大腿遠位膝窩動脈バイパスのみを自家静脈を用いて施行し、足部のSPPの上昇に期待することとした。術後のSPPは足部で30mmHg (Fig. 9B) と軽度上昇し潰瘍の治癒を待ったが、術1カ

月後に4, 5趾のみ切断して2次治癒を待った (Fig. 7B)。術後3カ月で上皮化は認められないが、壊死の進行は認められず安静時痛もないため、現在も処置中である。元来ABIに比してSPPがより低値であることから糖尿病が基礎病変にあり、足部の末梢血管病変がより高度であることから4, 5趾基部のSPPは足部より低値であるために治癒が得られないと推察された。

終わりに

SPPは、peripheral arterial diseaseの評価法としては最末梢の足部皮膚レベルの評価が可能な評価法である。本評価法では、血球速度と血球量をレーザードブラで

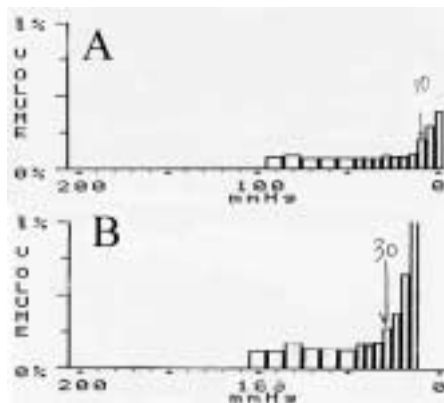


Figure 9 Pre-and post operative laser Doppler SPP. Preoperative SPP was 10 mmHg at the level of foot. Postoperative SPP was improved to the level of 30 mmHg. But the improvement of SPP was not so significant despite the below-knee femoropopliteal bypass reconstruction.

解析することにより評価している。実際に末梢組織の循環動態を評価する際に、血球速度血球量の解析のみで組織のviabilityを評価することは困難であり、血管抵抗や組織液粘度、さらには固有組織液中の酸素濃度などの評価も必要である。TcPO₂なども併用することによりさまざまな側面から評価をすることにより、より確かな虚血重症度の評価をすることが重要である。

文 献

- 1) Komiyama T, Shigematsu H, Yasuhara H et al: An objective assessment of intermittent claudication by near-infrared

- spectroscopy. *Eur J Vasc Surg*, 1994, **8**: 294–296.
- 2) 市来正隆, 大内 博: 間歇性跛行肢の筋肉酸素代謝の無侵襲測定. *血管無侵襲診断法研究会誌*, 1993, **13**: 57–58.
- 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) Ubbink DT, Jacobs MJ, Tangelder GJ et al: The usefulness of capillary microscopy, transcutaneous oximetry and laser Doppler fluxmetry in the assessment of the severity of lower limb ischaemia. *Int J Microcirc Clin Exp*, 1994, **14**: 34–44.
- 5) Holstein P, Sager P, Lassen NA: Wound healing in below-knee amputations in relation to skin perfusion pressure. *Acta Orthop Scand*, 1979, **50**: 49–58.
- 6) Briers JD: Laser Doppler, speckle and related techniques for blood perfusion mapping and imaging. *Physiol Meas*, 2001, **22**: R35–66.
- 7) 重松 宏, 兼高武仁, 小見山高士 他: レーザードプラー血流系による皮膚灌流圧測定. 平成14年度災害科学に関する委託研究報告書, 2003, 1–7.
- 8) Tsai FW, Tulsyan N, Jones DN et al: Skin perfusion pressure of the foot is a good substitute for toe pressure in the assessment of limb ischemia. *J Vasc Surg*, 2000, **32**: 32–36.
- 9) 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.
- 10) Ubbink DT, Spincemaille GH, Reneman RS et al: Prediction of imminent amputation in patients with non-reconstructible leg ischemia by means of microcirculatory investigations. *J Vasc Surg*, 1999, **30**: 114–121.

Skin Perfusion Pressure

Kunihiro Shigematsu and Atsuko Onozuka

Division of Vascular Surgery, Department of Surgery, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Key words: laser Doppler, skin perfusion pressure, critical limb ischemia

Skin perfusion pressure (SPP) is one of the indices of microcirculation, which was initially reported as a method with radioactive agents. Laser Doppler flowmetry has recently engaged in measurement of SPP, SPP measurement is now established as one of the non-invasive evaluation methods for peripheral arterial disease. SPP is a good assessor of limb ischemia for patients with critical limb ischemia, whose ankle brachial pressure index cannot be measured accurately due to extensive calcification of arteries in the lower limbs. SPP measurement must be handled delicately and be examined at rest in a quiet room. SPP is evolving into a non-invasive method that provides increased ease and feasibility for critical limb ischemia.

(*J Jpn Coll Angiol*, 2005, **45**: 294–298)