

フォトプレチシスモグラフィ

岩田 博英¹ 平井 正文²

要 旨：フォトプレチシスモグラフィ(photoplethysmography : 光電脈波)の特徴は、取り扱いが簡単であり、体表面のどの部位にもプローブを装着でき、長時間の連続測定ができることである。そのため、他のストレインゲージ脈波、空気脈波、インピーダンス脈波等と同様に、動静脈疾患の病態研究に加え、治療効果の判定などに幅広い応用がなされている。

(J Jpn Coll Angiol, 2005, 45: 329-332)

Key words: photoplethysmography, varicose veins, muscle pump plethysmography

はじめに

脈波には圧脈波と容積脈波がある。圧脈波は、心拍動に伴う動脈内圧の変化を記録するものであるが、記録できる部位は、皮膚の上から動脈拍動を触知できる部位に限られている。容積脈波は、四肢の任意の部位の容積変化を検索する方法で、フォトプレチシスモグラフィ(photoplethysmography : 光電脈波)、ストレインゲージ脈波、空気脈波、インピーダンス脈波、水脈波がある。

フォトプレチシスモグラフィは、取り扱いが簡単で四肢のどこにでもプローブを装着できることから、臨床に幅広く利用されている。動脈疾患においては、主として閉塞性動脈硬化症患者の指尖脈波、指趾を含めた四肢血圧測定に用いられている。静脈疾患においては、筋ポンプ脈波法により静脈還流障害の評価が可能である。

脈波装置

フォトプレチシスモグラフィには、透過式と反射式があり、透過式では、光源と受光セルが、指の背側と腹側に配置され、透過光を受光セルが感知するのに対して、反射式では、光源と受光セルが同じ側に並び、センサーより投入した光線が主として皮下数mmまでに

存在する血液および皮下組織で吸収、散乱、反射し、再び投入部位に戻った光量を描記するもので、皮膚、皮下組織に分布する微小血管の容積変化(主として細静脈叢)における半定量的な情報をもたらすものである(Fig. 1)。またどこにでもプローブを装着することができるので、反射式がよく使われる。

フォトプレチシスモグラフィでは、光の深達速度、計測領域の血管床の大きさに個体差があるため、キャリブレーションを得ることができず、絶対値を計測することは不可能である。

動脈疾患

フォトプレチシスモグラフィでは、動脈疾患に対して脈波、血圧測定がよく利用されるが、血流量の測定は不可能である。

(1) 脈波

被検者を仰臥位として、10分程度の安静の後測定する。室温、精神的因子、プローブのつけ方によって容易に変動する。他の指趾や反対側の指趾と比較して明らかな異常を示した時に診断的価値がある。

脈波波形の形態分類としては、硬性波、単相波、アーチ波、プラトー波、平坦波などがある。また用いられるパラメーターとしては、波高、頂点時間、傾斜時間、下降時間などがある。正常では、上行脚は急峻

¹岡崎市民病院血管外科

²愛知県立看護大学外科

2004年3月31日受理



Figure 1 A photoplethysmography probe.

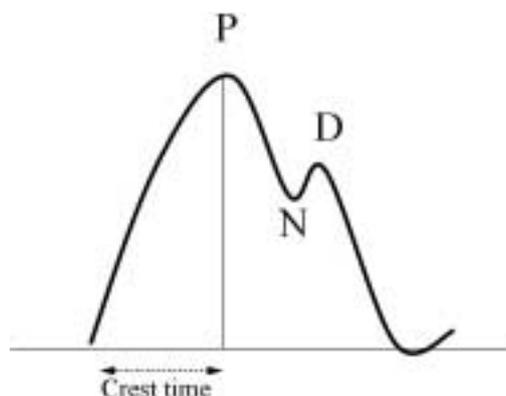


Figure 2 Normal arterial waveform.

P: percussion wave
N: dicrotic notch
D: dicrotic wave

で、下降脚は緩徐であるが(Fig. 2), 血行障害が高度になるに従い、振幅が減少し頂点の出現が遅れる、また切痕、隆起がはっきりしなくなり丸みを帯びてくる¹⁾。また反射式は、プローブをどこの部位にも装着でき、脈波を得ることができる。

(2) 四肢血圧

下肢では大腿、下腿腓腹部、足関節部、上肢では、上腕、前腕、手指などの部位における収縮期血圧を測定することができる。それぞれの指趾にプローブを装着し、その中枢側にマンシエットを巻いて駆血する。毎秒3mmHg前後の速度でカフ圧を上げていくと基線の上昇に続いて脈波が出現する。その出現時のカフ圧を収縮期血圧とする。この時、プローブは、flow sensorとして用いられることになる。四肢血圧の測定には、超音波ドプラ法(連続波)はよく使われる。フォトプレチシスモグラフィはそれと同じsensitivityをもっていて、さらに指趾血圧の測定も可能である。糖尿病などを合併していると、動脈壁の石灰化が強くなる。石灰化が高度になると、カフによる動脈の圧迫が不十分となり、正確な血圧値が得られなくなる。

静脈疾患

静脈疾患に対して静脈圧迫脈波法、筋ポンプ脈波法がよく利用されるが、フォトプレチシスモグラフィでは、静脈圧迫脈波法での測定は不可能である。

静脈瘤診断に用いられる機能的評価法は主として2つの目的に分類される。一つは深部静脈、交通枝、表

在静脈のいずれに逆流、閉塞が存在するのか、各静脈ごとに1本ずつ評価するものであり、超音波duplex法などがある。他方は深部静脈、交通枝、表在静脈を総括した還流障害を評価するものであり、代表的なものに筋ポンプ脈波法がある。

両者ではそれぞれ意義、目的が異なるため、必要に応じて選択し、併用することが望ましい²⁾。

脈波法は誰でも容易に施行することができ、表在静脈系の逆流を定量的に判定することが可能である。定量的評価は治療効果の判定ばかりでなく、経過観察にも優れている。

筋ポンプ脈波法はSakaguchiら³⁾により開発され、下腿運動時の静脈還流を観察するものであり、閉塞、逆流いずれにも起因する還流障害を診断できる。また、深部静脈、交通枝、表在静脈の全ての不全を総括した還流障害を定量的に評価する。プローブを静脈瘤のみられない下腿皮膚上に装着し、イス座位にて5回の足関節運動を行わせ、カーブ曲線を得る。この後プローブの中枢にマンシエットを巻き、表在静脈を遮断した状態で同様の操作を繰り返し、逆流の有無を検討する(Fig. 3)。

得られたカーブからは、いくつかの指標が計測される。

運動終了後より出力がプラトーに達するまでの時間を静脈再充満時間(venous refilling time: VRT)と呼び、静脈還流の指標となる。しかし出力がプラトーに達す



Figure 3 Muscle pump plethysmography.

る点が不明瞭なことが多いため、プラトーの 1/2 までに達する時間、すなわち 1/2 再充満時間 (half refilling time: 1/2VRT) を臨床応用することが多い。運動方法、運動量により正常範囲は変動するが、一次性下肢静脈瘤では、VRT, 1/2VRTは短縮するが、駆血後には正常域 (1/2VRT : 7 秒以上) に延長する。深部静脈血栓症では、駆血後もVRT, 1/2VRTが短縮したままである (Fig. 4)。

また運動後に出力レベルがさらに低下し続けた後、

上昇を始めるという曲線がみられることがあり、これはnegative segmentと名付けられている⁴⁾。静脈血は下腿筋のポンプ作用により中枢へと駆血され、運動後の再充満は動脈側よりの血液の流入と、静脈内圧の低下による他部位からの血液の吸い込みによって行われる。つまり運動後には、表在静脈から深部静脈へと血液が流れ、皮膚の血液量は減少することになる。この皮膚血液量の減少が、negative segmentの成因として考えられている。静脈還流障害が高度になると、negative segmentの出現頻度が低下すると考えられている。

他の代表的脈波の特徴

(1) ストレインゲージ脈波

水銀やガリウムインジウムを充填したシリコンチューブを指趾や下肢に巻き付け、チューブの伸縮を電気抵抗の変化として測定し容積変化を検査するものである。電氣的キャリブレーションを有しているため、組織100mlあたりの血液量の変化を求めることが可能である。したがって、静脈圧迫脈波法を用いた深部静脈血栓症の診断率もフォトプレチスモグラフィ波より優れているとされている。短所としては、下腿の太さに合わせてさまざまな大きさのストレインゲージを用意しなければならないことである⁵⁾。

(2) 空気脈波

下腿全体を伸縮性のない生地で作られたカフで覆い、立位、つま先立ち運動など負荷を加え、容積変化

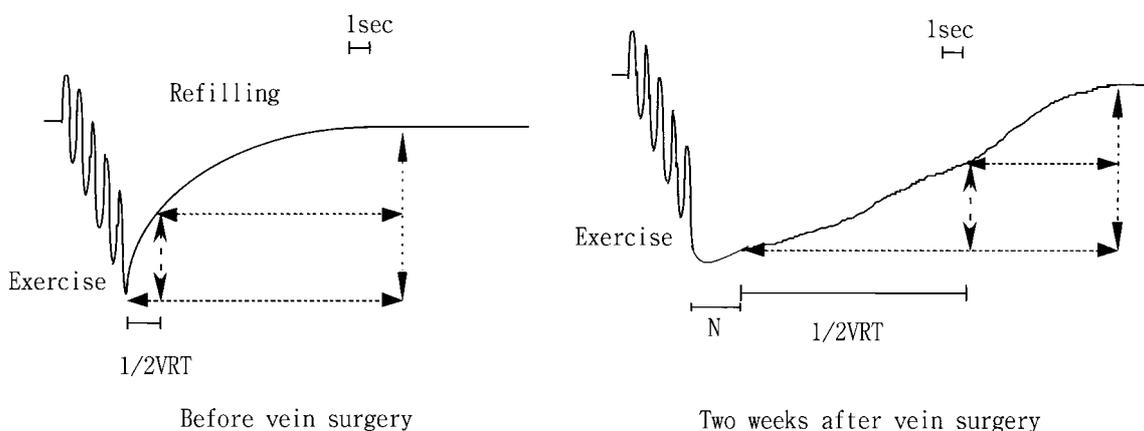


Figure 4 Photoplethysmographic recording obtained with a muscle pump method.
N: negative segment

を測定し、定量的に評価する方法である。おもに静脈疾患に応用されている。フォトプレチスムグラフィでは血液量が測定できないのに対し、空気脈波は、カフを置いた測定部位の血液量の測定が可能である。ただし、ストレインゲージ脈波と異なり、単位組織あたりの血液量の測定はできず、種族間、個人間の絶対値の比較もできない。

またストレインゲージ脈波と反射式光電脈波は、測定領域が下腿の1部位に限局するため、測定部位によって還流障害の程度が異なる可能性がある。これに対し空気脈波は、下腿全体を一括した静脈還流機能を観察することができる。

おわりに

フォトプレチスムグラフィは、操作が簡単でプローブをどここの部位にも装着できるため、広く用いられている。今後、他の脈波と同様に、動静脈疾患の病

態研究に加え、治療効果の判定などさらに幅広い応用がなされるであろう。

文 献

- 1) 仁木偉瑛夫：末梢血液疾患の無侵襲診断法(塩野谷恵彦, 大原 到, 阪口周吉編), 永井書店, 大阪, 1983, 83-95.
- 2) 平井正文：静脈還流障害の無侵襲診断. 血管疾患の無侵襲診断法(岩井武尚, 平井正文, 木村晃二他編), 医歯薬出版, 東京, 1998, 132-135.
- 3) Sakaguchi S, Tomita T, Endo I et al: Functional segmental plethysmography: a new venous function test (preliminary report). J Cardiovasc Surg (Torino), 1968, 9: 87-98.
- 4) 平井正文, 吉永まゆみ, 中山 龍: 反射式光電脈波による下肢静脈疾患の検討. 脈管学, 1985, 25: 1267-1271.
- 5) 岩田博英, 平井正文: 脈波検査(ストレインゲージ脈波). 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, 121-125.

Photoplethysmography

Hirohide Iwata¹ and Masafumi Hirai²

¹Department of Vascular Surgery, Okazaki City Hospital, Aichi, Japan

²Department of Surgery, Aichi Prefectural College of Nursing, Aichi, Japan

Key words: photoplethysmography, varicose veins, muscle pump plethysmography

Because photoplethysmography provides ease of use, probes can be positioned in almost any area of the human body. So it is widely used in the diagnosis and assessment of venous insufficiency and peripheral arterial diseases just as other plethysmography (strain-gauge plethysmography, air plethysmography, and impedance plethysmography) are.

(J Jpn Coll Angiol, 2005, 45: 329-332)