

機器紹介

ベッドサイドでの簡便な循環血液量測定装置 日本光電社製「DDG1001」(試作品)

谷上博信*, 公文啓二

はじめに

循環血液量 (circulating blood volume, CBV) を知ることは、周術期の患者管理において、病態の把握や治療効果の判定等に非常に有用である。従来は、RI法や色素による希釈法などによって循環血液量 (又は循環血漿量) の測定が行われてきたが、いずれも煩雑で、ベッドサイドで簡便に施行できなかつた。今回紹介する日本光電社製 DDG1001 は、パルスオキシメトリの原理である脈波分光法 (pulse spectrophotometry) を用いて色素希釈曲線 (dye-densitogram, DDG) を描出し、心拍出量 (cardiac output), CBV, 肝臓異物排泄能 (K) の3項目を測定するものである。検者の操作はプローブ類の装着と少量の色素注入のみであり、非常に簡便に CBV の測定が可能で、現時点では試作品ながら極めて有用な機器であると思われる。

1. 機器構成

DDG1001はブック型パソコンに連結した本体とプローブ (手指用, 耳用), 色素注入感知用センサーよりなる (図1)。プローブはパルスオキシメトリとしても使用可能である。色素注入感知用センサーは静脈ルート (できれば右房内ルート) の刺入部近くに接続し、色素の注入を感知して測定を開始させるもので、フット・スイッチでも代用できる。色素はインドシアニングリーン (ICG) 10mgを用いる。測定は、プローブ・センサーを装



図1 日本光電社製 DDG1001

着し、静脈ルートより ICG を急速注入して開始する。10~15分後に測定が終了してデータが内蔵プリンターによりプリントアウトされるとともに、パソコン内のハードディスクに保存される。出力データとしては、手入力した患者情報 (身長, 体重, 氏名, 年齢, ヘマトクリット値) と、CO 及び、CBV, K, ICG15分値等がある。血中 ICG 濃度は、高度肝機能障害がない限り30分後には十分に低下するので、その時点で再度の測定が可能となる。

2. 測定原理

脈波分光法 (pulse spectrophotometry) は、パルスオキシメトリの原理のことで、「動脈血の脈動により組織透過光が脈動することを利用して、動脈血中の複数の光吸収物質の相対濃度を測定する方法」(Aoyagi, 1993) である。パルスオキシメトリは660 nm と890 nm の2波長における吸光度から、酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの相

対濃度を測定し、酸化ヘモグロビンの割合 (%) を表示したものである。本装置では、805 nm 及び900 nm の2波長の光を用いている。その理由として、a:両波長での酸化・還元ヘモグロビンの吸光係数の差は十分小で、両ヘモグロビンを同一に扱うことが可能、b:805 nm で ICG の吸光は最大となり900 nm では ICG 吸光がない、の2点がある。この結果、ヘモグロビンの酸素飽和度に関係なく、ICG 吸光の変化を実測できる。そして、ほぼリアルタイムで血中の ICG 濃度が連続測定され、正確な ICG 希釈曲線が描出可能となる。

心拍出量と平均循環時間 (図2) ICG 希釈曲線のうち、初循環部分の面積を積分により求めることで、心拍出量が測定できる。また、初循環部分の重心位置を示す平均循環時間 (mean transit time, MTT) は、注入点から測定部位までの輸送時間を示すもので、プローブ装着部位における実質的な注入点を示している。色素を実際に注入した時点を時間0とする従来法では、プローブ装着部位により初期色素濃度が大きく異なる問題点がある。すなわち、従来法のように注入時点を時間0とした場合、末梢循環の状態やプローブ装着部位により、ICG 希釈曲線の波形出現に早い・遅いが出て測定値に誤差が生じる可能性があった (例えば、プローブを耳介と足の指先に装着して CBV を同時測定した場合、足、耳の順で誤差が大となる)。本装置では、正確な初循環曲線が描出可能で、MTT を正しく計測できるため、MTT をプローブ装着部位における実質的な注入時点、すなわち時間0としてこの問題を解決している。

CBV, K の測定 (図3) 初循環以降の ICG 希釈曲線 (late DDG) を横軸に時間、縦軸に ICG 濃度の片対数とする。少なくとも3~6分間で DDG は直線となり、これを外挿し、平均循環時間における ICG 濃度 (Cd0) を求める。CBV と Cd0 には $CBV = 10 / Cd0$ (ICG 注入量10mgの場合) の関係があり、これより CBV が計算される。また late DDG における直線の傾きから K (正常値 0.15~0.20) が測定できる。

3. 臨床応用

1993年7月~12月に当センター ICU に入室した心臓外科術後患者のうち、同意が得られた59例 (男性35例、女性24例) を対象とし、延160回の

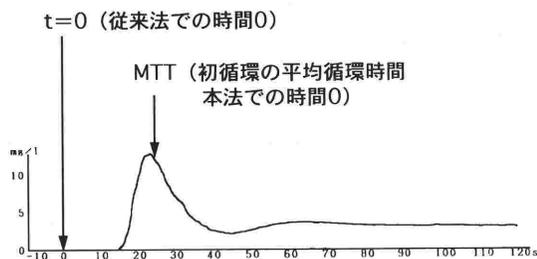


図2 初循環での ICG 希釈曲線
初循環波形から心拍出量と本法での時間0 (MTT, 初循環の平均循環時間) が設定される

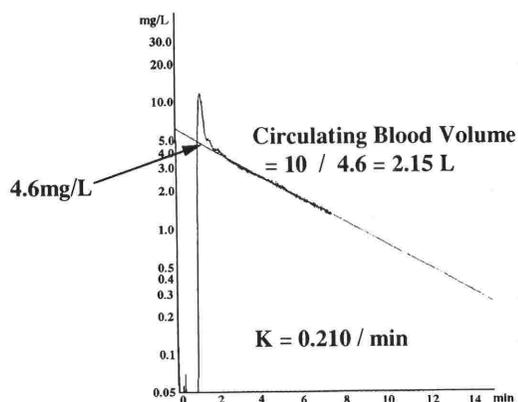


図3 ICG 希釈曲線による循環血液量測定
Y. S M 52y 身長167 cm, 体重57 kg
僧帽弁置換術・大動脈置換術・Maze 術後
無輸血開心術症例で、Ht25.7%の貧血を代償
するため、末梢血管が収縮し、CBV が著名に
減少している。

DDG 測定を行った。患者の年齢は 56.5 ± 22 (mean \pm S. D., 以下同じ) 歳、身長 152 ± 18 cm, 体重 51 ± 16 kg であった。

CBV は CBV 標準値を中心とした分布を示した。CBV・K 共に病態をよく反映し、測定値は信頼してよいと思われた。また再現性もよかった (図4)。無輸血手術症例、血管作動薬投与の前後、さらに特殊な病態を示し術後管理の困難な Fontan 手術例などにおいて、CBV はそれぞれ特徴的な変化を示した。

図3は無輸血にて行った開心術後患者で、測定時のヘマトクリットが25.7%という著明な貧血状態であった。貧血を代償するため、末梢血管が収縮し、CBV は標準値の約6割にまで低下していた。

図5は血管作動薬（OPC18790,アムリノン類似の phosphodiesterase inhibitor で、強心作用と末梢血管拡張作用を有する）投与前・中・後のCBVの変化をみたものである。症例2, 3, 5, 6はいずれも無輸血手術により貧血を呈した例で、薬剤投与前は循環血液量の低下を来していたにもかかわらずCVP, PCWPは正常値であった。これらの患者に本薬剤を投与すると、末梢血管拡張が著明となって、循環血液量は計算上の標準値近くまで増加した。この間血圧の低下も認めた。次に

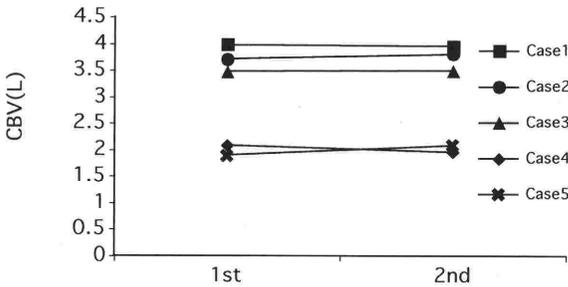


図4 CBVデータの再現性の評価

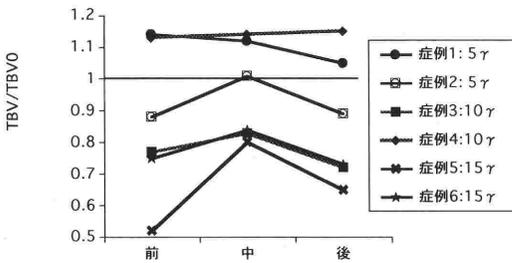


図5 血管拡張薬（OPC18790）による循環血液量の変化

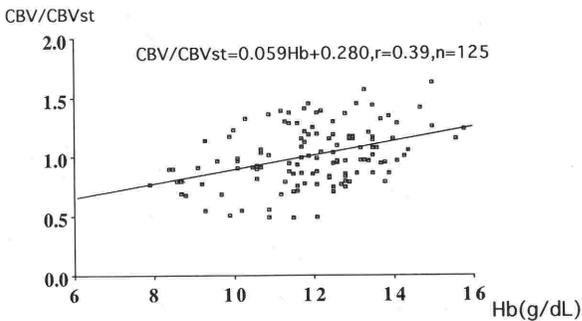


図6 開心術後におけるCBVとヘモグロビンレベルの関係

薬剤投与を中止すると循環血液量はほぼ前値に戻った。一方、薬剤投与前よりCBVが適正レベルであった輸血症例2例ではこのような変化はなかった。このように貧血・hypovolemiaを呈した無輸血開心術後においては、従来のパラメーターでは容量の評価が困難である。さらに安易な血管作動薬の投与は血行動態の激変を惹起させる可能性があることが示唆された。図6にCBVとヘモグロビンレベルの関係を示す。

単心室に対する術式であるFontan術後は、体循環よりの静脈血が心室により駆出されず、CVPと左房圧の圧格差により肺循環が成立する。このため、CVPや左房圧は循環血液量の指標とはまったくならない。通常CVPは高値となり、静脈鬱滞から胸水・腹水の増加、心不全の増悪をみることが多い。この場合、生体がいわゆるFontan circulationに適應するまで長時間を要することになる。本装置によって、Fontan術後においても簡便にCBVが測定できる。また経時的にCBVをみることにより静脈鬱滞の程度の評価、人工呼吸よりの離脱のタイミングを計ることが可能となる

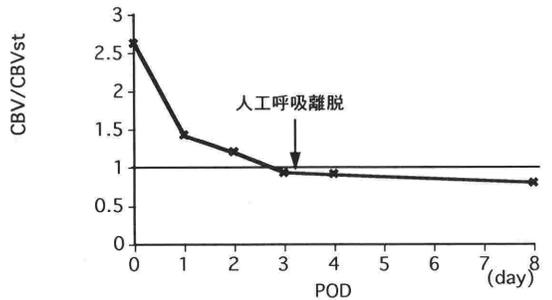


図7 Fontan術後症例のCBVの変化

H. T M 6y 身長111 cm, 体重16.3 kg
CBV: 実測循環血液量, CBVst: 計算上の標準循環血液量

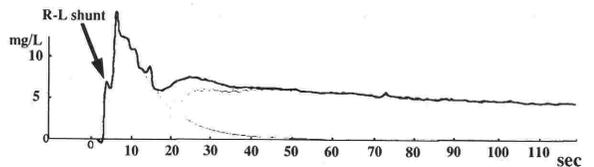


図8 Fontan術後症例におけるR-Lshunt

I. A F 2y 身長85 cm 体重11 kg
初循環の上行脚における上に凸波形はR-Lshuntを示す

(図7). また Fontan 術後は、心房位における圧格差が大きいため、吻合部よりの右-左シャントが生じて低酸素血症の原因となることがある. 本装置は簡便に右-左シャントの存在も診断できる (図8).

以上、臨床例を中心に本装置の有用性を論じた. 本装置はさらに、肺動脈カテーテルの挿入が困難

な小児においても簡便に CO が測定できること、また術後肝障害が進行する周術期肝不全例において、K は肝酵素等の上昇に先立って低下傾向を示し、肝障害の early indicator として有用であること、といった多彩な有用性を持つ. 今後の臨床・研究両面での応用が期待できる機器である.