

機器紹介

肺血管外水分量測定装置

—Lung water computer—

石部 裕一*

はじめに

肺水腫の診断は、主として胸部レントゲン写真の読影、血液ガスや血行動態の測定それに臨床症状などの間接的な方法にもっぱら依存しているが、これまで定量的診断法を目指していくつかの方法が考案されている¹⁾。その中でも二重指示薬希釈法は測定理論が確立されており²⁾、比較的侵襲が少なく、しかも定量性が優れていることから臨床応用が期待されている。1979年 Lewis らにより熱-ICG 二重指示薬希釈法が開発され臨床に応用されたが、二つの指示薬の検出部位が異なるため測定誤差が生じること、一回の測定に20-40 ml の血液吸引が必要で、感染や凝血の危険性があることなどが臨床使用上の制約因子となっていた。これに対し色素に変わり Na を血管内指示薬とする熱-Na 二重指示薬希釈法^{3), 4), 5)}では、二つの指示薬希釈曲線を血管内センサーで同時に検出するので、血液吸引の必要がなく、指示薬が生理的なもので反復測定出来る点など実用性が高い。ここでは熱-Na 二重指示薬希釈法による肺血管外水分量測定装置 Lung water computer MTV-1100 (日本光電)について解説する。

測定原理と測定法

肺に毛細血管壁によって隔てられる血管内腔と血管外腔を想定し、肺毛細血管壁を透過しない指示薬 (Na, 色素など) と肺毛細血管壁を透過し肺血管外腔へも拡散する指示薬 (熱など) による単一注入法による指示薬希釈法を行い、各々の指示薬の注入点から検出点までの平均循環時間 (MTT_{thermo} , MTT_{Na}) と心拍出量 (\dot{Q}_T) の積から各

指示薬の拡張スペースを求め、熱の拡散スペースから Na の拡散スペースを差し引いて、 $\dot{Q}_T \times (MTT_{thermo} - MTT_{Na})$ として肺血管外スペースを算出する²⁾。従って本法で測定した値は、実際には血管外熱平衡容量 extravascular thermal volume (ETV) と称すべきものであり、真の意味での肺血管外水分量だけを反映するものではない。Effros によれば⁶⁾、ETV と pulmonary extravascular tissue volume (PETW), pulmonary extravascular water volume (PEWV) の間には、

$$PETW = ETV \times (d_b \cdot S_b / S_e)$$

$$PEWV = ETV \times (d_b \cdot S_b \cdot f / S_e)$$

d_b : 血液の密度

S_b : 血液の比熱

S_e : 血管外組織の比熱

f : 血管外組織の水分含有率

の関係が成り立ち、これに Gray らのデータ ($d_b = 1.050$, $S_b = 0.879$, $S_e = 0.912$, $f = 0.788$) を代入すると、

$$PETW = 1.012 \times ETV$$

$$PEWV = 0.808 \times ETV$$

となる。したがって理論上は、ETV は PETW に良く一致し、PEWV を約20%過大評価することになる。肺水腫が進行し間質の水分量が増すと S_e は1に近づくので、 $PETW \approx PEWV \approx 0.923 \times ETV$ となり、ETV が PETW を過大評価する割合は減少してくる。しかし、熱の拡散は肺血管外組織だけに留まらず心筋や縦隔組織などにも及ぶので、右房で注入し腹部大動脈で検出する場合 ETV は PETW を約20%過大評価することも留意しなければならない。

実際の測定にあたっては右房に挿入したカテー

*国立大阪南病院麻酔科

テルから 0°C に冷却した 3% NaCl 溶液 10 ml を急速に注入し、大腿動脈に留置した専用のラングウオータカテール (エレキヤス) によって熱希釈曲線と Na 希釈曲線を検出し、Lung water computer のマイクロプロセッサにより ETV と cardiac output を自動計算させる。このとき左心系で測定される熱希釈心拍出量は右心系での心拍出量より約10%大きくなる。

測定精度と再現性

イヌで肺血管外水分量 (PEWV) 及び肺血管外組織重量 (PETW) を実測し、熱-Na 二重指示薬希釈法で測定した ETV と比較すると、表 1 に示すように、対照群とオレイン酸による軽度肺水腫群では ETV 値は PETW 値の1.19倍、PEWV 値の1.44~1.46倍といずれも過大測定したのに対し、オレイン酸による高度肺水腫では PETW 値の0.94倍、PEWV の1.05倍とほぼ両測定値は一致した³⁾。これらの結果は前項の理論値と一致するものであった。また対照群の PETW 値の平均 +2SD 以上を実測法の肺水腫の診断基準とし、base-line の ETV 値の平均 +2SD 以上を熱-Na 法の肺水腫の診断基準として、熱-Na 法の肺水腫診断精度を検討すると、sensitivity=80.8%, specificity=100%, positive predictive value=100%, negative predictive value=83.3% と満足できるものであった。ヒトで本法の測定値と実測値 (ピアス法) を比較した大貫らの報告 (第一回肺水腫定量法研究会 京都 1989) では、症例数が少ないが、良い相関は証明されていない。

測定値の再現性は、動物実験でも³⁾、臨床例でも⁷⁾ 良好であった。

臨床応用

著者らは開心術後回復期患者の心臓カテール検査時に本法により Lung water (ETV) を測定した。胸部レントゲン写真に異常を認めない5例の ETV 値は平均 9.6±1.4 ml/kg 体重、異常を認めた4例では 13.2±1.4 ml/kg 体重で両群間に有意差を認めた。また ETV は mPAP および PCWP との間に正の相関関係を認めた。

山本らは⁸⁾、パラコート中毒の肺水腫形成機序の解明のため、生存例4例、死亡例5例について本法により ETV を経時的に測定し、生存例では ETV は変化しないが、死亡例では早期から ETV が著明に増大することを示し、PAP, PCWP, COP などの測定から、パラコート中毒の肺水腫形成は血管透過性亢進によるものであることを証明した。

その他本法の臨床応用例の一部は、第一回肺水腫定量法研究会抄録記録集 (肺水腫定量法研究会編:事務局長鹿児島大学医学部救急部内) を参照していただきたい。

結 語

本法施行上の唯一の問題点は、動脈内カテール留置という侵襲性にある。高張食塩水注入による副作用はこれまで認められていない。適応を厳選して応用されるならば、本法は、ARDS などの病因、病態生理の解明、治療法の研究、治療効果判定などに極めて有用な情報を提供する手段と

表 1 正常肺と水腫肺での肺内水分量の測定結果—二重指示薬希釈法と実測法の比較

Group	N	Double indicator method		Direct method		Ratio	
		ETV (ml/kg) Base-line	ETV (ml/kg) Edema	PETW (ml/kg)	PEWV (ml/kg)	$R_1 = \frac{ETV}{PETW}$	$R_2 = \frac{ETV}{PEWV}$
control	10	8.27±1.51	***	7.05±1.10	5.82±1.19	1.19±0.22	1.44±0.28
mild edema	10	9.24±2.67	11.33±2.75	9.67±1.84	8.21±1.55	1.19±0.29	1.46±0.34
severe edema	10	7.80±2.16	17.12±5.92	18.65±7.52	16.71±6.82	0.94±0.14	1.05±0.16
total	30	8.54±2.23	***	***	***	1.11±0.25	1.32±0.32

ETV: extravascular thermal volume

PETW: pulmonary extravascular tissue weight

PEWV: pulmonary extravascular water volume

二重指示薬希釈法は熱とナトリウムを用いる方法、直接法は Pearce, Yamashita 法の Noble, Severinghaus 変法を用いて測定し、それぞれ体重で除して標準化した。二重指示薬希釈法による測定値 (ETV) は、肺血管外組織重量 (PETW) とよく一致した。

Mild and severe edema were induced with the intravenous injection of 0.03 and 0.1 ml/kg of oleic acid respectively.

なろう。

参考文献

- 1) Staub, N. C.: Clinical use of lung water measurements Report of a workshop. *Chest* 90: 588-594, 1986.
- 2) Meier, P., Zieler, K. L.: On the theory of the indicator dilution method for measurement of blood flow and volume. *J. Appl. Physiol.* 6:731-744, 1954.
- 3) 石部裕一, 末包慶太, 中村正人ほか: 熱とナトリウムを用いる二重指示薬希釈法による肺血管外水分量測定の実験的研究. *麻酔* 35: 373-378, 1986.
- 4) 石部裕一, 末包慶太, 榎田高士ほか: 熱とナトリウムを用いる二重指示薬希釈法の基礎的検討. *呼吸* 5: 337-342, 1986.
- 5) Effros, R. M.: Lung water measurements with the mean transit time approach. *J. Appl. Physiol.* 59:673-683, 1985.
- 6) Noble, W. H., Severinghaus, T. W.: Thermal and conductivity dilution curves for rapid quantitation of pulmonary edema. *J. Appl. Physiol.* 32: 770-775, 1972.
- 7) 山本五十年, 有嶋拓郎, 上山昌史ほか: 熱 Na 二重指示薬希釈法による肺水腫モニタリングの再現性と侵襲性. *救急医学* 13: 709-710, 1989.
- 8) 山本五十年, 澤田祐介, 上山昌史ほか: パラコート中毒における肺水腫形成機序—熱 Na 二重指示薬希釈法による肺血管外水分量測定 of 解析より—. *呼吸と循環* 37: 517-522, 1989.

* * * * *

* * * * *

* * * * *