
 話 題

心 機 能 の 指 標

清 水 禮 壽

心機能を表現するものの1つに、横軸に左心室拡張終末期圧 (LVEDP) をとり、縦軸に左心室一回仕事量をとった一連の Frank-Starling 曲線群からなる Sarnoff の心機能曲線がある。心不全や麻酔剤投与時には、この心機能曲線は右下方に移行する。このことは、輸血輸液のような preload や血圧上昇のような afterload に対して、心不全や麻酔剤投与時には、心予備力が減少していることを意味する。一方、強心剤の投与や交感神経の刺激は Sarnoff の心機能曲線を左上方に移行させる。心機能曲線をこのように移行させる要因は、preload の関数である Frank-Starling の mechanism とは別個に働いている inotropic mechanism すなわち contractility の増減にあるとされている。したがって、心収縮機能を力学的な面から論ずる場合には、この二つの mechanism を考慮する必要がある。心疾患や麻酔剤などによって contractility がどのような影響を受けるかを知ることが実際問題として重要になって来る。

左心室収縮の基本的性質の一面を反映するものに、左心室内圧上昇率 dp/dt がある。これは、左心室内圧の時間的変動を微分回路を用いて電氣的に微分することにより記録出来る。一般的に、麻酔剤は dp/dt の減少を、強心剤は dp/dt の増大をもたらす。しかし dp/dt は contractility ばかりでなく、preload, afterload および心拍数などの変動によっても増減する。すなわち dp/dt は Frank-Starling の mechanism やその他の因子の影響を受ける。したがって dp/dt のみから contractility の変動を知るには、心臓に流入する血液量 (preload) は pump により既定し、大動脈圧 (afterload) は機械的に一定に調整し、心拍数は pacing によって一定に保つことの出来るような実験モデルを作製して、 dp/dt の変動をみればよい。しかし、これでも多くの場合 LVEDP が変動してしまうので、厳密には左心室内腔に balloon などを入れて、LVEDP を一定に調整する必要がある。このような複雑なモデルによらずに、Frank-Starling の mechanism を除外して、contractility を知る指標として、心電図の R 波から dp/dt が最大値になるまでの時間 $\Delta t-dp/dt_{\max}$ や $dp/dt/IIT$ (isometric time-tension index) などが用いられている。IIT (integrated isometric tension) とは、心電図の R 波から $dp/dt_{\max}$ に至るまでの時間の 1.5 倍の時間に対応する左心室内圧曲線下の面積である。この面積を測定するわずらわしさをさけて、IIT の代りに $dp/dt_{\max}$ に対応する時点の左心室内圧 IP (instantaneous pressure) を用い、 $dp/dt_{\max}/IP$ とする指標もよく用いられる。心機能障害や麻酔剤投与時には $\Delta t dp/dt_{\max}$ の延長や $dp/dt_{\max}/IIT$ および $dp/dt_{\max}/IP$ の減少がみられる。ただし、これらの指標は afterload の影響を受ける欠点があるといわれているが、 $dp/dt_{\max}/IP$ は LVEDP や afterload の変化の影響を比較的うけないともいわれている。

心筋に load がかかっていないと仮定したときの心筋収縮要素の最大収縮速度 $V_{\max}$ (contractility) に近いものを intact heart において比較的簡単に求める方法として、左心室内圧を用いて force-velocity vector loop を描かせる方法がある。これは、X-Y oscilloscope の X 軸に左

心室内圧 P を、 Y 軸に dp/dt の P に対する比 $dp/dt/P$ を入力信号として入れることによって描かれる。 $dp/dt/P$ は左心室内圧を対数アンプの入力側に入れ、その出力信号 $\ln P$ を微分することによって得られる ($d \ln P / dt = dp/dt / P$)。 K を直列弾性要素に関する係数とすると $dp/dt / k \cdot P$ が収縮要素の収縮速度をあらわすことは数学的に導びかれる。したがって、この loop は force-velocity relation をあらわすともいえるので、その最初の下行 slope を Y 軸の方へ外挿し ($P \rightarrow O$)、それが Y 軸と交わる点の $dp/dt / k \cdot P$ を求めれば、これが V_{max} に近いものをあらわす。心機能障害および麻酔剤投与時にはこの V_{max} は低下し、 β -adrenergic stimulant, glucagon, dibutyryl CAMP などの投与では増大する。ただし、この方法で求められる V_{max} は preload の影響を受けるといわれている。そこで左心室内圧から LVEDP をひいたものを developed pressure とし、上記の P の代りにこれを用い、同様に対数及び微分処理を行なって X - Y oscilloscope 上に force-velocity curve を描かせると preload に影響されない V_{max} が得られる。

上に列挙した心機能の指標は、左心室カテーテル法と比較的簡単な computer とから必要に応じて on-line real time に求めることができる¹⁾⁵⁾。

最近では、左心室カテーテル法によらずに、肺動脈バルーンカテーテル (Swan-Ganz catheter)、心電図、心音図、脈波、動脈血圧などを用いて、左心室 dp/dt を間接的に求める試みがなされている。これは、mean electromechanical $\Delta p / \Delta t$ といわれているものであり、 Δp は動脈拡張期圧から肺動脈拡張終末期圧 (PAD) または肺毛細血管浸入圧 (PCW) をひくことによって得られる。PAD 及び PCW は left ventricular filling pressure (LVFP) の指標ともなり得る。 Δt は心電図の Q 波から頸動脈脈波または動脈圧波形の incisural notch までの時間 (total systolic time ; TST) から、脈波または動脈圧波形の立ち上がりから incisural notch までの時間 (left ventricular ejection time ; LVET) をひくことによって得られる。Incisural notch は心音図の第二音 (S_2) の最初の大きな刺激とよく一致するので、TST はまた QS_2 とあらわされ、 $\Delta t = QS_2 - LVET$ としても求められる。この Δt は preejection period (PEP) といわれているものであり、心拍数に対する補正は Weissler 法によって行なう³⁾。G. Diamond らは²⁾、左心室内圧 dp/dt と $\Delta p / \Delta t$ とがよく相関することを認め、急性心筋硬塞の患者について、 $\Delta p / \Delta t$ が 500mmHg/sec 以上あるものは生存率が高く、500mmHg/sec 以下のものは死亡率が高いことを報告している。C. M. Agress ら³⁾ も $\Delta p / \Delta t / LVFP$ という指標を用いると、これが急性心筋硬塞の患者の左心室機能障害の程度を正確に反映するとのべている。最近筆者は、dibutyryl cyclic AMP 5~10mg/kg を投与すると、 β -blocker の投与を受けている患者でも $\Delta p / \Delta t / LVFP$ が有意に上昇することを知った。間接的に左心室機能を知るこの方法は、侵襲も少なく、安全であり、状態の悪い患者の術中術後の循環管理に適切な情報を提供するものである。

また、超音波 echocardiography を用いて、全く非観血的かつ容易に左心室一回拍出量を測定したり、心筋の作業状態を知る指標を求めたりする試みもなされている⁴⁾。筆者も現在、輸血輸液を含めた術中術後の循環管理に超音波 echocardiography を用いることを意図している。

- 1) 清水禮壽：麻酔剤と心収縮機能第5回麻酔と Réanimation セミナー講演集 1974 (日本アップジョン株式会社内)
- 2) Diamond, G., et al: Mean Electromechanical $\Delta p / \Delta t$. Amer. J. Cardiol. 30 : 338, 1972
- 3) Agress, C. M., et al: An Indirect Method for Evaluation of Left Ventricular Function in Acute Myocardial Infarction. Circulation 46 : 291, 1972
- 4) Fortuin, N. J., et al. Evaluation of Left Ventricular Function by Echocardiography, Circulation 46 : 26, 1972
- 5) Brody, W. R., et al: Real-time Analysis of Myocardial Contractility. Surgery 74 : 291, 1973