

# 右心不全のモニタリング

谷口達典 坂田泰史

大阪大学大学院医学系研究科循環器内科学

## ● はじめに

長年にわたり、左室の形態・機能に関する研究が多くなされてきた一方で、右心系に関する研究は遠ざけられてきた。これは、左心不全では肺うっ血により症状が急激に進行し死に瀕するのに対し、浮腫や腹部膨満などの右心不全症状は緩やかに出現してくるということや、右室が左室に比べ複雑な構造や生理学的特性を有していることに起因しているものと考えられる。しかし、近年左心不全患者において右心機能に関連する指標が予後や運動耐容能を規定する重要な因子であることが続々と報告され、右心への取り組みが見直され始めてきている。本稿では、まず右心不全や右室の構造・生理機能について整理し、その後右心不全の評価法について概説する。

## ● 右心不全とは？

右心不全とは、「心臓の構造的、もしくは機能的障害により右室前方への血液の拍出や充満が障害される臨床症候群」と定義される<sup>1)</sup>。右室と左室の心拍出量は等しいと考えられるため、右室の前方障害は左室の前方障害と同様、いわゆる低心拍出症候群(low output syndrome ; LOS)として現れる。逆に後方障害は、左心不全と異なり、肺以外の臓器、すなわち肝、腎、腸管、四肢などにうっ血をきたす。症状としては、体重増加、四肢末梢の浮腫、悪心・嘔吐、下痢、食欲低下などの消化器症状、腹部膨満などがあり、肝腫大により右季肋部痛を訴えることもある。LOSを伴う場合は、全身倦怠感や傾眠傾向などがみられる。両心不全において、左心不全と右心不全を厳密に区別することは難しいが、急激な呼吸困難の

ため緊急受診を余儀なくされる左心不全に対し、右心不全では症状の出現が緩徐であり、体液貯留を顕著に伴った状態で日常診療時間内に医療機関を受診することが多い。

## ● 右室の構造と生理機能

右室は正面から見ると三角形に左室を覆っており、短軸断面では三日月状を呈している。内部は大きく3つの部位に分けられ、それぞれ三尖弁を含む流入部、心尖部、肺動脈への流出部である漏斗部で構成されている。右室の役割は静脈還流を受け取り、肺動脈に送ることである。そのため、右室心筋の収縮は流入部に始まり、流出路まで連続的に伝播し、蠕動運動のような動きで血液を動脈へ拍出している<sup>2)</sup>。また、右室壁収縮の特徴は短軸方向よりも長軸方向の収縮が強い。短軸方向優位の収縮を示す左室と異なり、右室の短軸方向に小さい収縮でも、大きな内膜表面積-容積比を考慮すると、左室と同じ心拍出量を拍出することが可能である。図1は後負荷の増大に伴う、右室および左室心拍出の変化を示しているが、右室は後負荷の増大により一回拍出量が顕著に減少している<sup>3)</sup>。これは右室収縮が心筋独自の収縮性に加え、左室と比較し後負荷の影響を強く受けるということを示している。

また、右室は中隔を介し左室と互いに影響し合っている。この影響を心室間相互作用(Ventricular interdependence)という。右室の拡大や後負荷の増大は中隔を偏移させ、心外膜による左室の圧迫をきたす。これら両方の変化は左室形態を変え、前負荷や収縮性を低下させ得る<sup>4)</sup>。動物モデルにおいてであるが、右室の拡大が見られない際には、左室の収縮

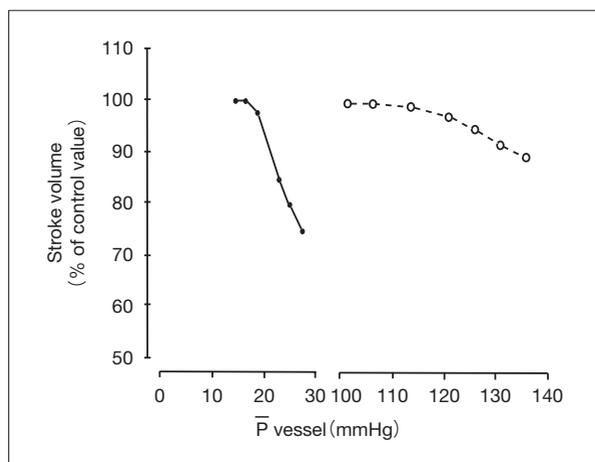


図1 後負荷増大に伴う右室および左室一回拍出量の変化

(文献3より引用改変)

が右室の収縮期圧の上昇に20~40%寄与することも報告されている。

## ● 右心不全の評価

右心不全診療における初期目標は、1) 原因疾患の検索、2) 右室の機能評価、3) 重症度の評価、4) 臓器障害(腎障害や肝障害)の程度を検索することである。

### 1) 右心不全の原因疾患

右心不全が単独に起こる原因疾患としては、三尖弁疾患、肺動脈弁疾患、右室梗塞、心筋炎、心筋症、心房中隔欠損などの先天性心疾患、肺性心、肺血栓塞栓症、収縮性心膜炎などがあげられる(表)が、最も多いのは左心不全に続発するものである。

### 2) 右室の機能評価

心エコー検査は右心不全の診断や右室の機能評価において非常に重要である。右心疾患を示唆する所見としては、右室・右房拡大、三尖弁閉鎖不全、肺高血圧などがある。収縮能としては、収縮期三尖弁輪移動距離(tricuspid annular plane systolic excursion; TAPSE)が簡便で、再現性のある指標として

表 右心不全の機序と病因

機序	病因
圧負荷	左心不全(最多) 急性肺塞栓症 肺高血圧 右室流出路狭窄 二右室
容量負荷	完全大血管転移症 三尖弁閉鎖不全 肺動脈閉鎖不全 心房中隔欠損 静脈還流異常 カルチノイド症候群
虚血, 梗塞 心筋障害	右室虚血, 梗塞 心筋症 不整脈源性右室異形成
流入障害	三尖弁狭窄 上大静脈狭窄
先天異常	Ebstein 奇形 ファロー四徴症 両大血管右室起始症
心膜疾患	収縮性心膜炎

利用されている。TAPSEは16mm以下の場合に右室収縮能低下と判断されるが、角度や、容量依存性に留意する必要がある。RV fractional area change (RVFAC)は心尖四腔断面像における、拡張末期から収縮末期にかけての右室内腔面積の変化率であるが、35%以下で右室収縮能の低下とされる。また、Tei-indexは右心系の収縮能と拡張能を合わせた機能を評価することができるといわれている<sup>5)</sup>。その他、組織ドプラ法での右室収縮性指標として三尖弁輪速度波形のS', IVA (isovolumic acceleration), 2D speckle tracking法や3Dエコー法での右室収縮評価などが報告されているが、ルーチンで利用できるほどの十分なデータの報告はなく、日常臨床ではまだ参考値としての利用がよい。右室の拡張能に関しては、確立された指標は現在のところない。拡張障害の結果である平均右房圧(right atrial pressure; RAP)を指標とすることも考えられるが、RAPは血管内容量にも規定されるため、特に急性

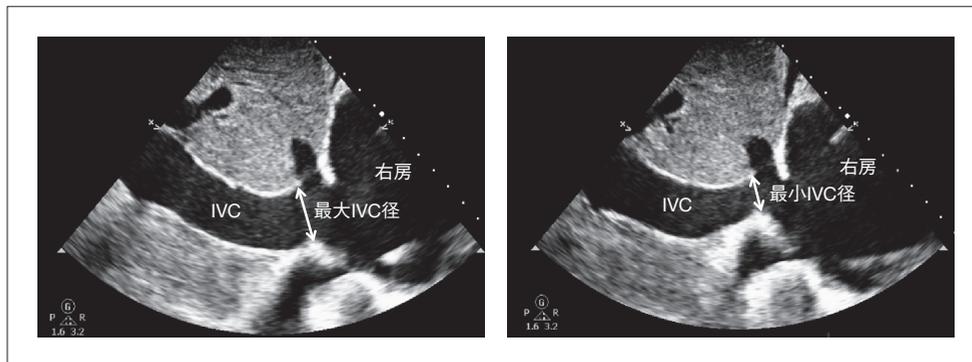


図2 最大下大静脈(IVC)径と最小 IVC 径による右房圧の推定

心不全症例においては十分に除水を行った状態での RAP(dryRAP)を使用しなければならない。

MRI は右室容積や駆出率を計測するうえではゴールドスタンダードとなっている。最近では、Gulati らは DCM において MRI で計測した右室駆出率が 45% 以下の症例は死亡もしくは心移植の予測因子であることを報告した<sup>6)</sup>。ただし、急性期に MRI で右室機能を測ろうとすることは現実的でなく、その場合は上記の心エコー検査などで代用すべきである。

### 3) 右心不全の重症度評価

前方障害、すなわち前述の LOS 症状が出現していると考えられる場合は、有無をいわず重症であると考えられる。一方、左室の後方障害の重症度が平均左房圧や肺動脈楔入圧の上昇に現れるように、右室の後方障害は RAP に反映されると考えられる。RAP はうっ血、特に体うっ血を判断するうえで最も重要な因子である。RAP を実際に測定するためには、中心静脈カテーテルの留置や Swan-Ganz カテーテルの挿入が必要であるが、これらは侵襲的な検査のため、現在ではルーチンに行うことは勧められていない。本邦ではあまり認知度が低い印象があるが、頸静脈波は右心不全のみならず心不全を診断・治療するうえで簡便で非常に有用な身体所見である。Drazner らは、頸静脈圧の上昇を認める左室収縮不全を伴う患者は、それを認めない患者に

比べ、心予後が悪いことを報告した<sup>7)</sup>。また、肝頸静脈逆流、下腿浮腫なども右心不全を示す重要な所見であるため、これらも同時に観察することが望ましい。

心エコー検査で得られる下大静脈(IVC)径や呼吸性変動も RAP を非侵襲的に推定することができる有用な指標である(図 2)。Pellicori らは、693 人の慢性心不全患者において、最大 IVC 径が NT-proBNP とともに独立した予後規定因子となっていることを報告した<sup>8)</sup>。ただし、IVC からは RAP を半定量的にしか推定することはできない。また、体格の小柄な日本人などにおける研究はなく、そのカットオフ値が異なる可能性があるなどの問題点が残る。われわれは最近 Transient elastography を用いて、右室充満圧を精度よく推定することができることを報告した(図 3)<sup>9)</sup>。Transient elastography 法は元々 Fibroscan® というデバイスを用いて肝硬度(liver stiffness; LS)を測定し、肝硬変を非侵襲的にステージングする方法であるが、心不全時に偽陽性を認めることが報告されていた。これにより、LS をフォローすることで適切な心不全管理を行える可能性がある。

経三尖弁圧較差(tricuspid regurgitation pressure gradient)も肺高血圧の程度を推定し、右室負荷を評価するうえで非常に有用、かつ簡便な指標であり、治療の効果判定にも使用できる。また、左室の変形度、または中隔動態を観察することにより肺高血圧

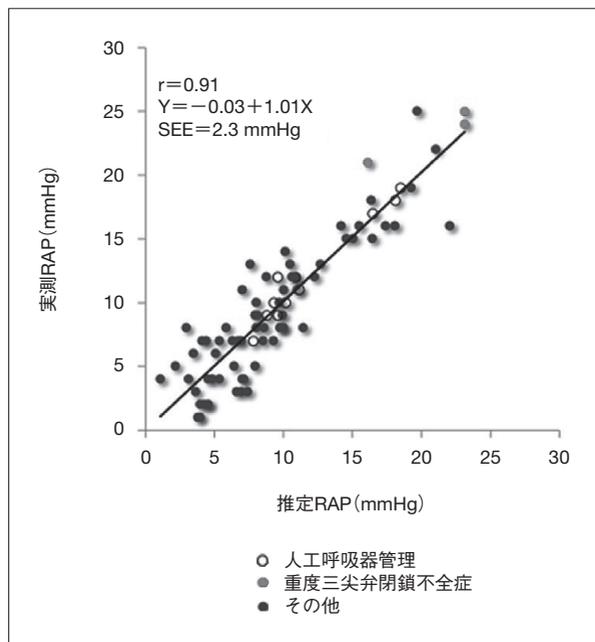


図3 実測RAPと肝硬度(liver stiffness; LS)による推定RAPの関係

(文献9より引用改変)

の重症度を判定することが可能である。

ただし、これらの身体所見や非侵襲的検査では評価が困難な場合やこれらの結果から重症であると判断された場合には、ただちにSwan-Ganzカテーテルを挿入し、実測RAP、肺動脈圧、肺血管抵抗などを把握しながら治療しなければならない。その際には実際の圧波形を観察することが重要である。右房圧はa波、c波、v波、x谷、y谷からなるが、a波の上昇は右室の拡張期コンプライアンスの低下を反映し、三尖弁狭窄症、Ebstein奇形、肺高血圧症でみられる。巨大a波は右房収縮と右室収縮が同時に起きたときにみられ、房室ブロック、上室性期外収縮、ペースメーカーなどでみられる。v波の増高は三尖弁閉鎖不全症、心房中隔欠損症などでみられる。肺動脈圧も間接的にはあるがしばしば右心不全の重症度を反映する重要な指標となり得る。

#### 4) 右心不全に伴う臓器障害の程度

右心不全においては、主に肝、腎、腸管において

臓器障害がみられる。うっ血肝(passive liver congestion)で最も頻繁にみられる異常検査所見は胆道系( $\gamma$ -GTP、ALP、ビリルビン)の肝酵素異常であり、心拍出量の高度の低下を伴わない限りトランスアミナーゼの上昇は軽度に留まることが多い。久保らの133人のDCM患者における肝機能異常に関する報告では、頻度は高いがその程度は大きくなく、主に心係数が1.5 L/分/m<sup>2</sup>以下の症例に限られていたことを報告した<sup>10</sup>。また、Poelzlらは、心不全患者において総ビリルビン値、ALP、 $\gamma$ -GTPは独立して、頸静脈怒張や末梢性浮腫、そして三尖弁逆流などの右心不全の徴候と相関があったとした<sup>11</sup>。腎うっ血も近年心不全において注目を浴びている病態であり、Mullensらは急性心不全患者145人における研究で、入院中の腎機能障害は中心静脈圧に最も規定されているとした<sup>12</sup>。また、肺高血圧患者における観察ではあるが、尿酸値、BNPなども患者の予後を規定する重要な因子であることがいわれている<sup>13,14</sup>。右心不全ではしばしば腸管浮腫により蛋白漏出性胃腸症(protein losing gastroenteropathy; PLGE)を伴うことがあり、低アルブミン血症を呈する。これは体うっ血に起因する胃や腸管の浮腫が原因と考えられており、アルブミン値も心不全の予後予測因子であることがいわれている<sup>15</sup>。

#### ● おわりに

右室の役割は体うっ血をきたさずに、肺循環、そして左心系へと十分な血液を送り出すことである。そういった意味でも右室充満圧は右心不全をモニタリングするうえで非常に重要な指標である。心不全の診療では、まだ左室にのみ注目し、右室の評価がおろそかにされることが少なくない。たしかに究極的にはFontan循環で示されるように右室が存在していないとしてもある一定期間の間、生命を維持するという意味では十分なかもしれない。しかし、長期予後となるときさまざまなエビデンスで示されるように右室の重要性を認識できる。また、特に重症心不全においては右室の機能をよく評価したうえで

心不全治療にあたらなければならない。今後、知見が蓄積されるに従い、右室機能がより正確に簡便に評価できるようになれば、心不全の治療方針決定に大きく活かされることが期待できる。

## 文 献

- 1) Hunt SA, Abraham WT, Chin MH, et al : 2009 Focused update incorporated into the ACC/AHA 2005 Guidelines for the Diagnosis and Management of Heart Failure in Adults A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines Developed in Collaboration With the International Society for Heart and Lung Transplantation. *J Am Coll Cardiol* 2009 ; **53** : e1-e90
- 2) Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN, Murphy DJ : Right ventricular function in cardiovascular disease, I : anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 2008 ; **117** : 1436-1448
- 3) MacNee W : Pathophysiology of cor pulmonale in chronic obstructive pulmonary disease : part one. *Am J Respir Crit Care Med* 1994 ; **150** : 833-852
- 4) Santamore WP, Dell'Italia LJ : Ventricular interdependence : significant left ventricular contributions to right ventricular systolic function. *Prog Cardiovasc Dis* 1998 ; **40** : 289-308
- 5) Tei C, Dujardin KS, Hodge DO, et al : Doppler echocardiographic index for assessment of global right ventricular function. *J Am Soc Echocardiogr* 1996 ; **9** : 838-847
- 6) Gulati A, Ismail TF, Jabbour A, et al : The Prevalence and Prognostic Significance of Right Ventricular Systolic Dysfunction in Nonischemic Dilated Cardiomyopathy. *Circulation* 2013 ; **128** : 1623-1633
- 7) Drazner MH, Rame JE, Stevenson LW, Dries DL : Prognostic importance of elevated jugular venous pressure and a third heart sound in patients with heart failure. *N Engl J Med* 2001 ; **345** : 574-581
- 8) Pellicori P, Carubelli V, Zhang J, et al : IVC diameter in patients with chronic heart failure : relationships and prognostic significance. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013 ; **6** : 16-28
- 9) Taniguchi T, Sakata Y, Ohtani T, et al : Usefulness of transient elastography for noninvasive and reliable estimation of right-sided filling pressure in heart failure. *Am J Cardiol* 2014 ; **113** : 552-558
- 10) Kubo SH, Walter BA, John DH, et al : Liver function abnormalities in chronic heart failure. Influence of systemic hemodynamics. *Arch Intern Med* 1987 ; **147** : 1227-1230
- 11) Poelzl G, Ess M, Mussner-Seeber C, et al : Liver dysfunction in chronic heart failure : prevalence, characteristics and prognostic significance. *Eur J Clin Invest* 2012 ; **42** : 153-163
- 12) Mullens W, Abrahams A, Francis GS, et al : Importance of venous congestion for worsening of renal function in advanced decompensated heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2009 ; **53** : 589-596
- 13) Nagaya N, Uematsu M, Satoh T, et al : Serum uric acid levels correlates with the severity and the mortality of primary pulmonary hypertension. *Am J Respir Crit Care Med* 1999 ; **160** : 487-492
- 14) Nagaya N, Nishikimi T, Uematsu M, et al : Plasma brain natriuretic peptide as a prognostic indicator in patients with primary pulmonary hypertension. *Circulation* 2000 ; **102** : 865-870
- 15) Ambrosy AP, Vaduganathan M, Huffman MD, et al : Clinical course and predictive value of liver function tests in patients hospitalized for worsening heart failure with reduced ejection fraction : an analysis of the EVEREST trial. *Eur J Heart Fail* 2012 ; **14** : 302-311