心タンポナーデにおける血行動態
—特に左室弛緩期指標について—

防衛医科大学校第一内科（主任 中村治雄教授） 荒川 宏

概要 心タンポナーデにおける弛緩期の左室循環動態を実験的、臨床的に検討した。弛緩期の指標として等容性弛緩期左室圧下降脚時定数 (T_{bf})、漸近線 (P_{bf})、 $P_{bf}=0$ 時の時定数 (T_{in})、等容性弛緩期時間 (IRT) を測定し、心タンポナーデの重症度は1回心拍出量 (SV) または1回心拍出係数 (SI) で表わした。実験的に心タンポナーデでは奇脈、左室収縮期圧の低下、SVの減少、 P_{bf} の上昇、 T_{bf} 、 T_{in} およびIRTの延長を認めた。臨床的にはSIの減少とともに T_{bf} 、 T_{in} 、IRTは延長し、 P_{bf} は上昇した。IRTを心拍数で補正するとその変化は著明になった。以上の結果から、左室弛緩期指標は心タンポナーデの重症度を推定するのに有用と思われた。

〔日内会誌 76:1680~1689, 1987〕

はじめに

心タンポナーデでは貯留した心膜液により心内腔の拡張が制限されている。左心室も拡張期を通じ充満が制限されており、拡張期の急速充満がみられないことは心室圧のearly diastolic dipの消失により示されている¹⁾。この左室拡張期の急速充満速度は、房室間圧較差のほかに充満に先行する左室弛緩速度によっても影響を受ける²⁾³⁾。加えてラットを用いた遊離心筋モデルでの実験によると左室弛緩速度は収縮末期心筋長によって規定されることが知られており⁴⁾、左室収縮末期径は心タンポナーデにおいて左室拡張末期径と同様に短縮している⁵⁾⁶⁾。以上の点から心タンポナーデ時に左室弛緩速度に変化が生じている可能性が考えられるが、この点に関する詳細な報告はみられないようである。それゆえ今回、かかる観点から心タンポナーデにおける血行動態、特に弛緩期動態について実験的、臨床的に検討した。

実験的検討

1) 対象および方法

体重8~12kgの雑種成犬7頭をketamine hydrochloride 10mg/kg筋肉注射に続いて α -

chloralose 100mg/kg静脈内注射で麻酔したのち、気管内挿管しHarverd人工呼吸器に接続した。左第5肋間より開胸したのち心外膜に小切開を加えNo. 7 polyethylen catheterを心膜内へ留置した。小切開は6.0 polypropylenで縫合し縫合部およびその周囲を生体用接着剤 (Aron-alpha A) で心膜液が漏れないように被い、実験中も漏出のないことを確認した。

左室内圧 (LVP) はmicromanometer-tipped catheter (Miller PC350) を左頸動脈より挿入して測定した。大動脈圧 (AOP) は7F pig-tail catheterを大腿動脈より上行大動脈へ挿入しYHP1286 pressure transducerで測定した。心拍出量 (CO) は5F Swan-Ganz catheterを左頸静脈より肺動脈へ挿入して熱希釈法で測定し、1回心拍出量 (SV) を求めた。圧波形、心電図、LVPの一次微分 (dp/dt) はいずれもYHP4588A多素子記録装置に紙送り速度25mmおよび200mm/secで記録し、左室収縮期圧 (LVSP)、peak negative dp/dt (dp/dt_{min})、大動脈切痕圧 (DNP) を求めた。等容性弛緩期左室圧下降脚時定数 (T) は $\ln(P - P_{bf}) = \ln(P_0 - P_{bf}) - t/T$ の式からbest fit法⁷⁾によ

〔昭和62年4月16日受稿〕

Ventricular relaxation indices and hemodynamics during a relief of cardiac tamponade.

Koh ARAKAWA, The First Department of Internal Medicine, National Defense Medical College, Tokorozawa (Director: Prof. Haruo Nakamura)

表 1. 心膜液排液時の血行動態の変化

	Pericardial fluid removed (mℓ)								control
	0 (Max)	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	
N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
H R (beats/min)	147±23	164±26	171±30	170±31	167±34	164±35	165±35	162±34	163±30
P P (%)	16±4*	11±6*	7±3*	7±3*	5±3	4±2	3±2	4±2	3±2
L V S P (mmHg)	88±26*	107±18*	123±17*	125±17*	130±18	131±18	131±20	132±17	134±17
D N P (mmHg)	83±30*	104±22*	118±17	118±18	123±18	124±18	125±19	123±17	128±11
S V (mℓ/beat)	4.2±0.6*	5.3±1.0*	7.1±1.6*	8.1±1.3*	8.8±1.3*	9.3±1.9	9.1±2.3	9.5±1.5	9.8±1.8
T _{in} (msec)	52.6±17.2*	37.8±7.6*	30.8±5.2*	28.5±5.1*	27.1±4.9*	26.1±5.8*	25.1±5.1*	23.9±5.0	22.8±5.0
T _{bf} (msec)	42.9±14.8*	35.6±9.0*	30.9±9.6*	30.3±9.4*	29.3±9.0	28.7±9.2	28.9±10.2	28.5±10.6	27.3±9.9
P _{bf} (mmHg)	5.6±4.9*	3.0±6.4*	-1.9±9.2*	-2.6±7.5*	-2.7±6.7*	-3.9±6.3*	-5.4±8.0	-6.4±9.0	-7.0±8.4
I R T (msec)	107±17*	98±16*	84±17*	78±16*	74±13*	66±13	65±11	63±12	62±13
E _o (msec)	75±14*	74±14*	65±11*	61±10	60±9	58±9	58±10	57±12	58±12
E T (msec)	142±22	138±24	136±26	140±32	142±36	148±36	148±34	150±33	148±31

Data are means ± S.D. * P<0.05 vs control

Abbreviations: N = number of dogs; H.R. = heart rate; P.P. = pulsus paradoxus;

LVSP = left ventricular systolic pressure; D.N.P. = aortic diastolic notch pressure; S.V. = stroke volume;

T_{in}, T_{bf} = time constants of isovolumic left ventricular pressure decay obtained by Weiss' method and the best

fit method; I.R.T. = isovolumic relaxation time; E_o = onset of the ejection; E.T. = ejection time; P_{bf} = asymptote.

り時定数(T_{bf})と漸近線(P_{bf})を求めた、また $P_{bf}=0$ と仮定したWeiss法により時定数(T_{in})も同時に求め検討した。ejection timingの指標としてR波より駆出の始まりまでの時間を計測した、peak positive dp/dt (dp/dt_{max})の時点が左室駆出の始まりと一致するので⁹⁾、本実験においてはR波より dp/dt_{max} までの時間(E_o)として求めた、奇脈(PP)は $PP(\%) = (\text{呼吸時収縮期血圧} - \text{吸気時収縮期血圧}) / \text{呼吸時収縮期血圧} \times 100$ の式を用い、Reddyら¹⁰⁾に従い10%以上を病的とした、M-mode心エコーは犬を右側臥位にし右第4または第5肋間より3.5MHz transducerをあてて記録した、心エコーはAloka SSD-110を用い紙送り速度100mm/secで記録し、心エコー図上に同時にLVPと dp/dt を記録した、 dp/dt_{min} の時点は左室駆出終了を示す指標¹¹⁾のひとつとされているので、等容性弛緩期時間(IRT)は dp/dt_{min} より僧帽弁開放点(MVO)までの時間を用いた、さらに dp/dt_{max} から dp/dt_{min} までの時間を左室駆出時間(ET)として求めた。

心タンポナーデの作製は心膜内へ37℃の生理的

食塩水を10ccずつ注入して行ない、各計測は10cc毎に行なった、生理的食塩水の注入は生理的食塩水注入前(control)のSVが半分になるまで行なった、なお心膜内への生理的食塩水の注入後は、ヒステリシス現象を避けるため排液や排液後に再び追加注入することを避けた、計測はYHP personal computer 9825Aおよびdigitizer9864Aを用いて行ない、測定値は10心拍を平均した値を用いた、統計処理はpaired t-testで行ない $p < 0.05$ 以下を有意とし、数値は平均±標準偏差で表した。

2) 結果 (表 1)

全例で心膜内へ生理的食塩水を注入することによりSVの減少を認め、10%以上の病的奇脈が出現し心タンポナーデを作製しえた、各犬でSVが50%に減少する時の心膜液注存量は異なっていた、これは個体差のほかに心膜の切開の大きさ、縫合状態により心膜の緊張度が異なるためと考えられた、そこでSVが心膜液注入前の約50%に減少した時を最大注存量(Max)、Maxから各時点の注存量を差し引いたものを排液量としMax時より10ccずつ排液したと想定して各指標を検討した。

図1. 心膜液排液量とSV, T_{in} , T_{bf} , P_{bf} , IRTの変化

図1に心膜液排液量とSV, T_{in} , T_{bf} , P_{bf} , IRTの関係を示した。SVは心膜液を10, 20ccと排液するにつれて増加した。Max時から40cc排液までのSVはcontrolより有意に低値であったが、50cc排液後のSVはcontrolと有意差を認めなかった。 T_{in} , T_{bf} はMax時にcontrolより有意に延長し、 P_{bf} は上昇していた。心膜液を排液するに従い T_{in} , T_{bf} は短縮し、controlと有意差のない値になったのはそれぞれ70cc, 40cc排液後からであった。排液前後のTの変化度(ΔT)は ΔT_{in} 29.8 ± 15 msecに対し、 ΔT_{bf} 15.6 ± 8.2 msecと T_{in} の方が T_{bf} より有意に大であった。また上昇していた P_{bf} は60cc排液後

よりcontrolと有意差のない値になった。IRTはMax時にcontrolより有意に延長し心膜液排液によりIRTは短縮を認め、controlと有意差のない値を示したのはSVと同様に50cc排液後からであった。心拍数は20cc排液後から減少傾向を認めたが、心膜液排液中の心拍数は有意の変化を認めなかった。病的奇脈はMax時に認め20cc排液後より消失した。LVSPは表1に示すごとく、心膜液を排液するに従い増加しcontrolと有意差がなくなったのは40cc排液後からであった。Max時のDNPはcontrolに比べ低下していたが、排液により上昇し20cc排液後のDNPはcontrolと有意差はなかった。EoはMax時ではcontrolに比べ延長していた。心膜液排液によりEoは短縮しcontrolと有意差がなくなったのは30cc排液後からであった。ETについては心タンポナーデでcontrolに比べ短縮する傾向を認めた。

臨床的検討1

心タンポナーデ時における弛緩期指標の変化:

1) 対象および方法

心膜液貯留を認め診断と治療の目的をかねて心膜穿刺を行なった9人を対象とした。平均年齢59才、男性4例、女性5例、心膜液貯留の原因は全例癌性心膜炎で洞調律であった。検査の目的を説明し口答で患者および家族から了解を得た後、本研究を行なった。なお緊急の心膜穿刺が必要な症例、全身状態が悪く検査に耐えられない症例、もしくは心疾患の既往のある例は対象から除外した。

測定項目は実験的検討とほぼ同様である。心臓カテーテル室においてX線透視下でmicro-manometer-tipped catheter (Miller PC370又はPC485A)を左室内へ挿入した。LVPは心電図やdp/dtとともに、YHP4588A多素子記録装置に紙送り速度25, 200mm/secで記録した。 T_{in} , T_{bf} , P_{bf} は前述のごとく求めた。なお T_{in} はRousseauら¹²⁾に従いdp/dt_{min}から40msecまでを T_1 , 40~80msecまでを T_2 としbiexponential fittingさせ T_1 , T_2 についても検討した。COは熱希釈法で測定し1回心拍出係数(SI)を求めた。M-mode心エ

図2. 心タンポナーデ時と心膜液排液後の血行動態の実例

コーはToshiba SSH4 OAを用い通常のごとく左胸骨縁より行ない僧帽弁がよく描出されるところで記録した。M-mode心エコーの記録は紙送り速度100mm/secで行ない、心エコー図上にLVPとdp/dtを同時に記録した。等容性弛緩期は実験的検討と同様にdp/dt_{min}からMVOまでの時間として求めた。IRTは心拍数の影響を受けるとの報告¹³⁾もあるので心拍数で補正し、corrected IRTすなわちIRT/√RR (RR=1心拍の時間)も求め検討した。患者はセミファロー位に保ち、心膜穿刺を剣状突起下よりSeldinger法にて経皮的に行なった。まず19Gエラスター針で心膜穿刺を行なった後ガイドワイヤーを挿入し、ガイドワイヤーの誘導下に7F Gensini catheterを心膜内へ留置した。排液は原則として初回と2回目は50ml、それ以後は100mlずつ排液し排液されなくなるまで行なった。計測はYHP personal computer 9825Aとdigitizer 9864Aを用い10心拍の平均値を用い、統計処理にはpairedまたはunpaired t-testを用いた。

2) 結果

臨床的特徴：呼吸困難は9例中8例に認められた。10%以上の病的奇脈は7例に認めた。病的奇脈を認めないが呼吸困難を訴えた1例のSIは17.3ml/beat/m²と著明に減少していた。1例は710ccの心膜液を排液できたにもかかわらず病的奇脈も呼吸困難も認めなかった。この例は心タンポナーデとはせず、臨床的に心タンポナーデを呈した8例を対象とした。

血行動態と弛緩機能：9例中3例で心エコー図上僧帽弁開放点の描出が悪く測定に耐えられないため、IRTの計測は行なわなかった。代表例を図2に示した。心膜液排液後、病的奇脈の消失、著明なSIの上昇、血圧、P_{bf}の低下、T_{in}、T_{bf}およびIRTの短縮を認めた。全症例の心膜液排液中のSI、IRT、IRT/√RR、T_{in}、T_{bf}、P_{bf}の変化を図3に示す。心膜液排液に伴いSIは増加、P_{bf}は低下し、T_{in}、T_{bf}とIRT、IRT/√RRは短縮した。IRTとIRT/√RRは同様の変化を示したがIRT/√RRの方が変化度は大きかった。

図3. 心膜液排液中における各症例の血行動態, 弛緩期指標の変化 (I)

次にIRTと $IRT/\sqrt{RR}$ をそれぞれ3段階に分けてSIを検討したところ, IRT 80msec以下ではSI $48.1 \pm 12.8 \text{ ml/beat/m}^2$, 81~100msecでSI $34.9 \pm 7.2 \text{ ml/beat/m}^2$, 101msec以上で, SI $25.0 \pm 6.2 \text{ ml/beat/m}^2$ と低下し, IRT/ $\sqrt{RR}$ 120 msec以下で, SI $48.0 \pm 12.4 \text{ ml/beat/m}^2$, 121~140msecで, SI $34.1 \pm 6.3 \text{ ml/beat/m}^2$, 141 msec以上でSI $23.9 \pm 5.3 \text{ ml/beat/m}^2$ と, SIはIRTおよびIRT/ $\sqrt{RR}$ の延長に伴い有意に減少した(図4).

心タンポナーデ時のT値は T_{in} , T_{bf} のいずれも 61.0 ± 16.0 , $47.5 \pm 8.2 \text{ msec}$ と延長し, 排液によりそれぞれ 30.5 ± 4.5 , $36.0 \pm 4.3 \text{ msec}$ に短縮した. 心膜液排液によるTの変化度は T_{bf} に比べ T_{in} で大であった. P_{bf} は心タンポナーデ時に $6.8 \pm 6.1 \text{ mmHg}$ に上昇していたが, 排液により -4.9 ± 1.7

図3. 心膜液排液中における各症例の血行動態, 弛緩期指標の変化 (II)

mmHgへ有意に低下した(図5).

T_{in} の延長を等容性弛緩期の前半(T_1)と後半(T_2)に分けて検討を加えた. 心タンポナーデ時の T_1 は $58.7 \pm 11.3 \text{ msec}$, T_2 は $98.5 \pm 34.8 \text{ msec}$ であり, T_1 と比べ T_2 の著明な延長を認め左室圧下降は等容性弛緩期のうち後半部がより緩やかであった. 心膜液排液後には T_1 は $36.7 \pm 3.7 \text{ msec}$, T_2 は $30.8 \pm 4.8 \text{ msec}$ となった(図6).

臨床的検討2

心タンポナーデと各疾患でのIRTの比較:

1) 対象および方法

心タンポナーデと各疾患でのIRTを比較するに

図4. 心膜液貯留時におけるSIとIRTおよびIRT/ $\sqrt{RR}$ の関係 図5. 心タンポナーデ時と心膜液排液後の T_{ln} , T_{bf} , P_{bf} の関係

Abbreviations: CT=cardiac tamponade, Post CT=after pericardiocentesis.

あたり等容性弛緩期の開始を心タンポナーデでは dp/dt_{min} を用いたが、他疾患では非侵襲的に心音図上第2音大動脈成分(II A)を用いるので dp/dt_{min} とII Aのtimingについて検討した。虚血性心疾患6例においてmicromanometer-tipped catheterで測定したLVP上にYHP21050Aで心音図を同時記録し、 dp/dt_{min} とII Aの時間差を求め、さらに心房ペースングを行ない心拍数の影響(安静時, 90, 110, 130bpm)についても調べたところ、 dp/dt_{min} はII Aより平均 7.5 ± 5 msec遅れ、II Aより dp/dt_{min} までの時間は心拍数の影響を殆ど受けない

* $P < 0.05$ vs T_1 図6. 心タンポナーデ時と心膜液排液後の T_1 , T_2 の変化

Abbreviations: CT=cardiac tamponade, Post CT=after pericardiocentesis.

かった。 dp/dt_{min} を等容性弛緩期の開始として用いた場合IRTはII Aより測定した場合と比べ短縮しており、IRTの延長を評価する場合過小評価する傾向にあることが分かった。そこで臨床的にも、心エコー図上も異常を認めない正常群(NL)25例、厚生省特発性心筋症調査研究班の診断基準を満たす肥大型非閉塞および閉塞性心筋症(HCM)12例、Doppler心エコー上2度以上の逆流を認めた大動脈弁閉鎖不全(AR)6例、陳旧性心筋梗塞9例(OMI)においてIRTを測定した。M-mode心エコーはToshiba SSH40Aで行ない紙送り速度

図7. 各疾患のIRTとIRT/√RR

Abbreviations: NL=normal. HCM=hypertrophic cardiomyopathy. AR=aortic regurgitation. OMI=old myocardial infarction.

100mm/secで記録し、IRTはII AよりMVOまでの時間として求めた。統計処理にはunpaired t-testを用いた。

2) 結果 (図7)

心タンポナーデと各疾患でのIRTを比較すると正常群に比べHCM, AR, OMI, 心タンポナーデのIRTは有意に延長していた。ついで心タンポナーデのIRTはAR, OMIに比べ有意に延長しているがHCMとは有意差がなかった。一方心拍数で補正したIRT/√RRを用いると心タンポナーデはHCM, AR, OMIとは重複せず有意に延長していた。

考 案

心タンポナーデは心膜圧の上昇により心室の拡張期充満が制限され、拡張期心室容積が減少し、心拍出量が低下した状態であることは知られている。しかし心タンポナーデ時において充満に先行する弛緩については、ほとんど研究されていない。それゆえ本研究では左室弛緩期の指標について検討した。左室弛緩期の指標としては数多くあるが、心タンポナーデでは血圧や心拍数の影響を受けにくく、簡便に測定できる指標が望ましい。そこで比較的影響を受けにくいとされる等容性弛緩期左室圧下降脚時定数(T)および非侵襲的に計測可能

図8. 正常(A)と心タンポナーデ時(B)の T_{in} , T_{bf} , P_{bf} の関係

な等容性弛緩期時間(IRT)について検討した。

等容性弛緩期左室圧下降脚時定数(T)について本研究では実験的にも臨床的にも心タンポナーデの際 T_{in} , T_{bf} のいずれも延長していた。 T_{in} の変化度は T_{bf} のそれより大であり、心タンポナーデのより早期から T_{in} のほうが延長した。これは P_{bf} が心膜内圧や胸腔内圧の影響を受けることと関係があると考えられる。すなわち T_{bf} と T_{in} の関係において通常 P_{bf} は負の値をとって図8Aのように $T_{bf} > T_{in}$ の値をとる。一方 P_{bf} が正の値をとると図8Bのように $T_{bf} < T_{in}$ の関係が得られる。心タンポナーデ時には T_{bf} が延長し P_{bf} が負から正の値になるので、 T_{in} は T_{bf} より著明に延長すると考えられた。

実験的には僅か最初の10~20mlの排液によりSVは著明に増加した。SVの変化に伴い奇脈の減少、LVSPの上昇を認めた。病的奇脈は10ml排液後に消失し、LVSPは30ml排液後にcontrolの値と同値となった。一方 T_{in} は60ml排液時までcontrolに比べ有意に延長していた。開胸という条件下ではあるが、心膜液貯留時には血圧の低下、病的奇脈の出現、SVの減少に比べ早期に T_{in} は延長すると考えられた。今回の検討に加えなかったが、定性的に心エコー図上右房のcollapseがsensitiveで

specificな心タンポナーデの指標¹³⁾と言われている。Robertら¹⁴⁾の実験によれば、心拍出量が20%減少した時にすでに右房のcollapseが認められるという。今回の検討で T_{in} はSIが約15%程度減少した時点より有意の延長を認めるので右房のcollapseに匹敵する鋭敏な指標と思われた。

弛緩に影響を与える因子には種々の要素があげられる。Wiegerら⁴⁾は一定の収縮末期心筋長における弛緩は心筋短縮量や前負荷の影響をほとんど受けないが、収縮末期心筋長が小さくなると遅くなると報告している。Cohnら¹⁵⁾も心室容積を制御できる摘出灌流拍動心を用いて dp/dt_{max} と dp/dt_{min} のisoproterenolに対する反応を検討したところ、心室レベルでも収縮末期容積すなわち収縮末期心筋長が小さいと dp/dt_{min} で表される弛緩は遅くなると結論している。Gaaschら⁷⁾が前負荷を変化させた際に後負荷が変化しない様な実験系で検討したところ、Tは前負荷の影響を受けなかったと述べている。後負荷の増大はTを変化させないか、または延長させる⁷⁾¹⁶⁾。同じ収縮期圧でもejection timingなどで示されるsystolic loading conditionが変わるとTも変化し、ejection timingの遅延がTを短縮させる¹⁷⁾。そのほか収縮性の増大や心拍数の増加はTを短縮させる。心タンポナーデ時にはAOPやDNPで表わされる後負荷は減少、Eoは遅延、収縮性は不変⁵⁾または増大¹⁾、心拍数は増加しているがTは延長した。従って後負荷、ejection, timing、収縮性、心拍数等の影響は心タンポナーデ時のTの延長には関与していないと考えられた。心タンポナーデ時には前負荷が極端に減少している状態でSIを保つために左室拡張容積の減少とともに収縮末期容積も減少⁵⁾¹⁶⁾しているので、Tの延長は収縮末期容積の減少によると考えられた。

等容性弛緩期時間 (IRP) について

IRTを本検討ではII Aまたは dp/dt_{min} の時点からMVOまでの時間として求めた。 dp/dt_{min} の時点は収縮末期を表す計測点として使用されている¹¹⁾¹⁷⁾。II Aと dp/dt_{min} の時間差を検討すると dp/dt_{min} はII Aより約7msec遅れていた。したがって

II AからMVOまでの時間で求めたIRTより dp/dt_{min} から求めたIRTのほうが若干短縮することになる。

実験的検討においてIRTは T_{in} より若干遅れて変化し、SVの変化と同時に延長を認めた。したがって観血的に T_{in} を測定しなくてもIRTを測定することにより心膜液が貯留した際のSVの低下を予知または推定することが可能であり、心タンポナーデの指標として有用であると考えられた。IRTは心拍数の影響をあまり受けないとされているが心拍数の増加に伴い短縮する傾向がある¹⁸⁾。心拍数による補正を加えると、 $IRT/\sqrt{RR}$ で示されるcorrected IRTの延長は心タンポナーデでより著明になった。著者の調べた正常者のIRTは 66 ± 13 msecで、Lewisら¹⁹⁾の 58 ± 11 msecとほぼ同値であった。IRTの延長するHCM、ARのIRTの値もLewisらの報告とほぼ同値を示した。心タンポナーデ時のIRTは、等容性弛緩期の開始点をII Aで求めた方法に比べ短縮する方法をとっているにもかかわらず、他疾患に比べ延長していた。また $IRT/\sqrt{RR}$ を用いるとその値はHCM、AR、OMIの各疾患群と重複せず、臨床的には心拍数で補正した $IRT/\sqrt{RR}$ が有用であると思われた。心タンポナーデ時には心音が減弱すること、呼吸困難のため呼吸音により心音が記録しにくいことより心音図上の第2音の同定が困難となることがあるので、このような場合心音図の替わりに心エコー図上の大動脈弁閉鎖点を用いればIRTの測定は可能と思われる。実験的検討では比較的急性な、臨床例は慢性心タンポナーデであることから急性でも慢性心タンポナーデでもIRTが延長するが、この指標は緊急に心膜液の排液が必要な心タンポナーデの診断より、慢性心膜液貯留例で経時的に測定し状態の変化を予知するのに適していると思われた。

IRTの延長に影響を与える因子として、①大動脈切痕圧(DNP)の低下、②等容性弛緩期左室圧下降速度(dp/dt_{min})の減少、③左房圧(LAP)の上昇、④左室駆出時間(ET)の短縮があげられる¹⁸⁾²⁰⁾。またWeisfeldtら¹⁸⁾によればSVの減少は

dp/dt_{min}の減少とLAPの低下の結果IRTは延長すると言う。心タンポナーデにおいてもSIが減少するとIRTは延長し、SIとIRTの関係は彼らと同様な結果であった。IRTが心タンポナーデ時に延長する理由に関して、DNPが心タンポナーデ時に低下していること、今回測定しなかったがLAPは心タンポナーデ時に上昇することからDNPとLAPの変化はむしろIRTを短縮させることになる。心タンポナーデではTが延長し弛緩速度が遅くなっているため、心タンポナーデ時のIRTの延長は等容性弛緩期左室圧下降速度が関与したものと思われる。特にT₁の延長よりT₂の延長が著明であったので、等容性弛緩期後半の左室圧下降がより緩やかになっていることがLAPの上昇にもかかわらずIRTを延長させているものと推察される。そのほか心タンポナーデでは心電図のR波からdp/dtまでの時間の延長とETの短縮傾向を認めた。これは前負荷の減少を反映していると考えられ、IRTの延長の一因にETの短縮も関与している可能性が考えられた。

結 論

心タンポナーデにおける弛緩期の左室循環動態を実験的、臨床的に検討した。弛緩期の指標として等容性弛緩期左室圧下降脚時定数(T)、等容性弛緩期時間(IRT)を測定した。Tは漸近線(P_{br})を考慮したbest fit法(T_{br})とP_{br}=0と仮定した方法(T_{in})の二法で求めた。

1) 実験的には心膜液貯留量があるレベルを越すと、1回心拍出量(SV)は初めて心膜液貯留量の増加に従い減少した。

2) 心タンポナーデでは病的奇脈の出現、収縮期血圧の低下、SVの減少、P_{br}の上昇、T_{br}、T_{in}およびIRTの延長が認められた。

3) 病的奇脈の出現、収縮期血圧の低下、T_{br}の延長はSVの減少のあとで認め、P_{br}の上昇、T_{in}の延長はSVの減少より先行した。

4) 臨床的には心膜液貯留例9人で検討し、心タンポナーデ時には1回心拍出係数(SI)の減少とともにP_{br}の上昇、T_{br}、T_{in}およびIRTの延長を認めた。

5) 心タンポナーデ時のIRTは正常者に比べ延長し、その程度は大動脈弁閉鎖不全および陳旧性心筋梗塞のIRTの延長より大であった。

6) IRTを心拍数で補正すると(corrected IRT)IRTの延長は著明となり、心タンポナーデのcorrected IRTは肥大型心筋症よりも大であった。心膜液貯留例で弛緩期の指標の延長にともない1回心拍出係数は減少し、非侵襲的に測定できる等容性弛緩期時間は心タンポナーデの重症度を推定できる有用な指標となると考えられた。

文 献

- 1) Shabetai R, et al: The pericardium and cardiac function. Prog Cardiovasc Dis 22: 107, 1979.
- 2) Ishida Y, et al: Left ventricular filling dynamics: Influence of left ventricular relaxation and left atrial pressure. Circulation 74: 187, 1986.
- 3) 田内 潤, 他: 拡張期左室流入血流動態に及ぼす左室弛緩特性の影響: 超音波パルスドップラー法による検討. J Cardiography 13: 301, 1983.
- 4) Wiegner AW, et al: Isometric relaxation of rat myocardium at end-systolic fiber length. Circ Res 43: 865, 1978.
- 5) Grose R, et al: Left ventricular volume and function during relief of cardiac tamponade. Circulation 66: 149, 1982.
- 6) Pegram BL, et al: Changes in left ventricular internal diameter with increasing pericardial pressure. Cardiovasc Res 9: 707, 1975.
- 7) Gaasch WH, et al: Myocardial relaxation: Effects of preload on the time course of isovolumetric relaxation. Circulation 73: 1037, 1986.
- 8) Yellin ED, et al: Left ventricular relaxation in the filling and nonfilling intact canine heart. Amer J Physiol 250: H620, 1986.
- 9) Sasayama S, et al: Dynamic changes in left ventricular wall thickness and their use in analyzing cardiac function in the conscious dog; a study based on a modified ultrasonic technique. Amer J Cardiol 38: 870, 1976.
- 10) Reddy PS, et al: Cardiac tamponade: Hemodynamic observation in man. Circulation 58: 265, 1978.
- 11) Abel FL: Maximal negative dp/dt as an indicator of end of systole. Amer. J. Physiol 240: H676, 1981.

- 12) Rousseau MF, et al: Impaired early left ventricular relaxation in coronary artery disease. Effects of intracoronary nifedipine. *Circulation* 62: 764, 1980.
 - 13) Gillam LD, et al: Hydrodynamic compression of the right atrium: A new echocardiographic sign of cardiac tamponade. *Circulation* 68: 294, 1983.
 - 14) Robert D, et al: Relative value of right atrial collapse and right ventricular diastolic collapse in the diagnosis of cardiac tamponade. Can 2-dimensional echocardiography detect early tamponade? *Circulation* 70(Suppl II): 102, 1984.
 - 15) Cohn PF, et al: Maximal rate of pressure fall (peak negative dp/dt) during ventricular relaxation. *Cardiovasc Res* 6: 263, 1972.
 - 16) Raff GL, et al: Volume loading slows left ventricular isovolumic relaxation rate. Evidence of load-dependent relaxation in the intact dog heart. *Circ Res* 48: 813, 1981.
 - 17) Hori M, et al: Altered loading sequence as an underlying mechanism of afterload dependency of ventricular relaxation in heart in situ. *Jpn Circ J* 49: 245, 1985.
 - 18) Weisfeldt ML, et al: Hemodynamic determinants of maximum negative dp/dt and period of diastole. *Amer J Physiol* 227: 613, 1974.
 - 19) Lewis BS, et al: Isovolumic relaxation period in man. *Amer Heart J* 100: 490, 1980.
 - 20) Sabbah HN, et al: Proposed mechanism for depression of maximal rate of left ventricular pressure fall (peak negative dp/dt) during regional myocardial ischemia. *Cathet Cardiovasc Diagn* 12: 182, 1986.
-