

CT による 4-chambers' volumetry と心室 mass の算出

Measurement of four chambers' volumes and ventricular masses by cardiac CT examination

木村 元政
内藤 博昭
太田 光重
小塚 隆弘
鬼頭 義次*
藤田 毅*
岡本 光師**
宮武 邦夫***

Motomasa KIMURA
Hiroaki NAITO
Mitsushige OHTA
Takahiro KOZUKA
Yoshitsugu KITO*
Tsuyoshi FUJITA*
Mitsunori OKAMOTO**
Kunio MIYATAKE***

Summary

Using cardiac computed tomography (CT), the "mean" volume of each cardiac chamber and both ventricular masses were calculated from summation of a sliced volume by ungated scans obtained using rapid sequential scanning covering the whole heart.

1. Estimation of a normal value of each chamber's volume was attempted in 20 patients with ischemic heart disease and with normal heart function. The "mean" volume of the right atrium (RAMV), right ventricle (RVMV), and left atrium (LAMV) was 22.3 ± 6.5 , 40.3 ± 6.5 and 28.7 ± 8.2 ml/m², respectively.

2. In 54 patients with valvular heart diseases, each chamber's volume obtained by CT was compared with the grade of tricuspid regurgitation (TR) estimated by ultrasonic Doppler technique or the grade of mitral regurgitation (MR) by left ventriculography (LVG).

The RAMV (234 ± 119 ml/m²) and the RVMV (101 ± 39 ml/m²) were markedly increased in patients with severe TR (grade 3 to 4) ($p < 0.01$). The LAMV (487 ± 231 ml/m²) was also increased in patients with severe mitral regurgitation (grade 3 to 4) ($p < 0.01$).

3. In 46 patients with valvular heart diseases, the LVMV by CT was well correlated with end-diastolic volume (EDV) obtained by LVG ($r = 0.92$), and the LVEDVs by ECG gated CT and by LVG showed a fairly good correlation ($r = 0.95$).

4. CT examination was performed before and after surgery in 17 patients with MR or TR for evaluation of the change of chamber volumes.

国立循環器病センター 放射線診療部

*同 外科

**同 研究所

***同 内科

吹田市藤白台 5-125 (〒565)

Department of Radiology, *Department of Surgery,

Research Institute and *Department of Internal

Medicine, National Cardiovascular Center, Fujishiro-

dai 5-125, Suita 565

Presented at the 25th Meeting of the Cardiography Society held in Tokushima, October 9-11, 1982

Received for publication February 10, 1983

The mean reduction ratio (MRR) of the RAMV after tricuspid annuloplasty, the LVMV after mitral valve plasty, and the LAMV after left atrial plication was 44%, 41%, and 60%, respectively.

Key words

Cardiac CT Rapid sequential scan Valvular disease Mean volume LV mass

はじめに

CTの心臓領域への応用は、頭部や腹部などの他領域に比べ遅れていたが、最近の rapid sequential scan, dynamic scan, ECG-gated scan の開発とともに、心形態のみならず、左室拡張末期容積 (LVEDV), 左室駆出率, 心拍出量等の算出など、心機能解析の面でも用いられるようになってきた¹⁻³⁾。

以上の特殊な scan 法のうち、rapid sequential scan は、最短の interscan time で scan を繰り返しながらか、scan ごとに table が一定間隔ずつ動いていくもので、造影剤の急速注入を併用すれば、短時間で心臓全体をカバーする画像が得られる。得られた画像は数〜十数心拍の平均的画像であり、心周期では拡張期のほうが長いので、拡張末期像に近い像が得られ、算出される容積も同様に、拡張末期容積に近い値が得られる。

CT では、立体の体積または容積は断面の加算で求められるため、心血管造影像のように立体の平面投影画像から近似する方法に比べ、本質的には体積または容積の算出に適した方法である。

我々は本研究において、rapid sequential scan により得られる各断面の容積を加算し、各心房・心室の心周期における平均容積 (MV: mean volume) ならびに両心室心筋重量 (mass) を求め、主として弁膜疾患において各弁の逆流の程度と各心房・心室の容積との関係について検討した。

対象ならびに方法

対象は 1981 年 10 月〜1982 年 8 月までに CT 検査を施行された心疾患症例のうち、CT 検査前後に心血管造影および超音波ドプラー検査が行わ

れた弁膜疾患症例 54 例、虚血性心疾患 20 例である。また弁膜疾患症例のうち 17 例は、術後約 1 カ月目に再度 CT 検査が施行されている。

使用した装置は GE 製 CT/TX₂ scanner で、rapid sequential scan は scan time 9.6 秒、inter scan time 6.5 秒、slice 幅 10 mm、slice 間隔 10 mm で行い、造影剤 (76% Urografin 80 ~100 ml) の急速注入を併用した (Fig. 1)。

得られた画像 (Fig. 2) から各断面の容積を加算して、それぞれ平均値としての右房平均容積 (RAMV), 右室平均容積 (RVMV), 左房平均容積 (LAMV), 左室平均容積 (LVMV), 左室心筋重量 (LVmass) (Fig. 3), ならびに上大静脈 (SVC) 下大静脈 (IVC) の面積を求めた (Fig. 4)。SVC, IVC はできるだけ右房入口部に近いところを探り、各心房とも心耳を含んで容積を算出した。

なお弁膜症における弁逆流の程度は、大動脈弁閉鎖不全 (AR) は大動脈造影により、僧帽弁閉鎖不全 (MR) は左室造影により、三尖弁閉鎖不全 (TR) は超音波ドプラー法により、おのおの 1/4 ~4/4 に分類した⁴⁾。

結果ならびに考察

1. 虚血性心疾患群における 4-chambers' volume (Fig. 5)

虚血性心疾患 20 例について、心筋梗塞により心拡大を示す症例を含み、正常域よりはずれると思われる左室平均容積以外の容積を算出すると、右房平均容積 = 22.3 ± 6.5 ml/m², 右室平均容積 = 40.3 ± 6.5 ml/m², 左房平均容積 = 32.1 ± 8.6 ml/m², 上大静脈断面面積 = 1.05 ± 0.39 cm²/m², 下大静脈断面面積 = 1.74 ± 0.46 cm²/m² であった。このうち左房平均容積に関しては軽度の僧帽弁閉鎖不全

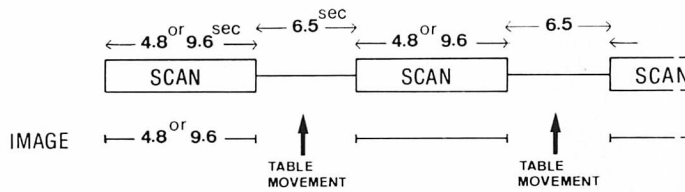


Fig. 1. Program of rapid sequential scanning.

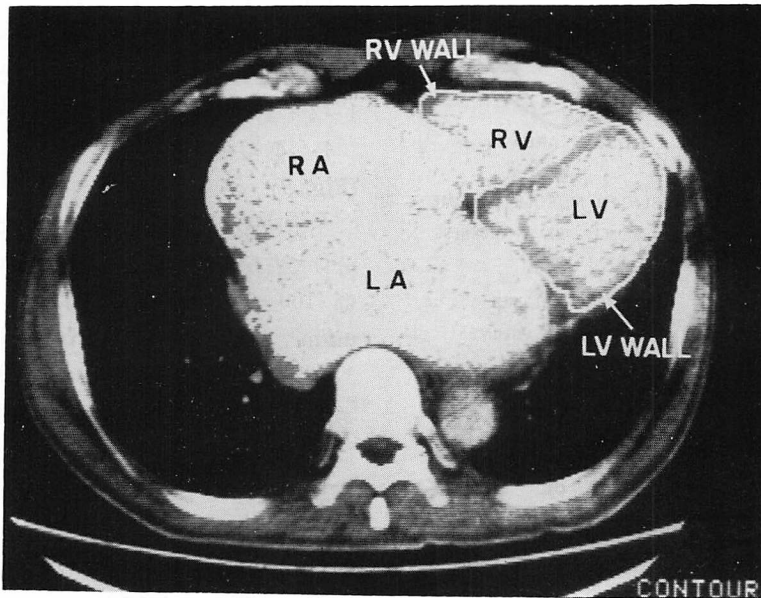


Fig. 2. Ungated image.

This CT is obtained from a case of mitral valve disease. Both atria are enlarged.
 RA=right atrium; RV=right ventricle; LA=left atrium; LV=left ventricle.

(MR)を合併していた症例を含んでいたため、MRを有しない 10 例について算出し直したところ、 $28.7 \pm 8.2 \text{ ml/m}^2$ であった。

これまでの心血管造影による報告値、すなわち 1~14 歳の右心耳を含む右房最大容積 $54.1 \pm 6.4 \text{ ml/m}^2$ (Graham)⁵⁾、1~11 歳の左心耳を除いた左房最大容積 $41.6 \pm 64.81 \text{ ml/m}^2$ (Arcilla)⁶⁾、14~70 歳の左心耳を除いた左房最大容積 $35 \pm 8.7 \text{ ml/m}^2$ (Murray)⁷⁾、成人例での右室拡張末期容積 $81 \pm 12.3 \text{ ml/m}^2$ (Gentzler)⁸⁾ などと比較すると、症例の年齢構成および疾患群に差があり多少問題ではあるが、本研究の CT で求めた平均容積の

うち、右房容積、右室容積はほぼ正常値を示していると思われる。左房容積に関しては肺静脈を多少含み、実際よりやや大き目に算出されている可能性があり、左房容積の正常値は RAMV とほぼ同様な値をとるとと思われる。

2. 弁膜疾患群における 4-chambers' volume

1) 三尖弁閉鎖不全における右房平均容積 (Fig. 6)

超音波ドプラー法で評価した三尖弁閉鎖不全 (TR) を 3 群に分けて右房平均容積との関連をみると、TR (-) 群 $46 \pm 20 \text{ ml/m}^2$ 、TR 1~2/4 群 $91 \pm 37 \text{ ml/m}^2$ 、TR 3~4/4 群 $234 \pm 119 \text{ ml/m}^2$ で

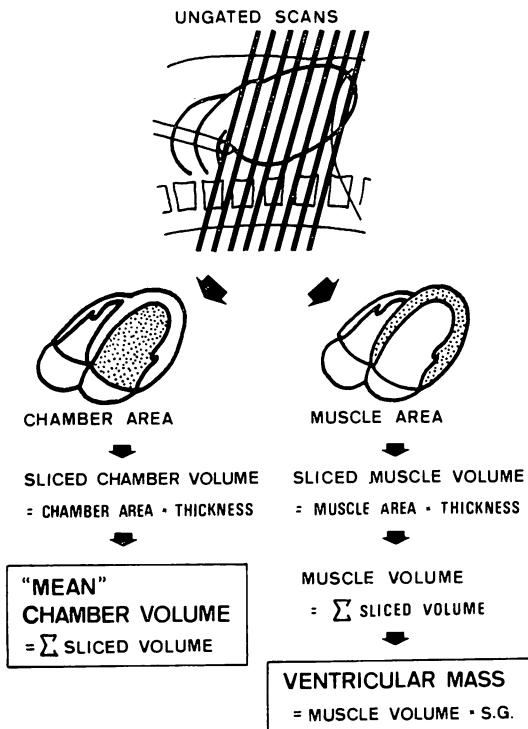


Fig. 3. Method for calculation of "mean" chamber volume and ventricular mass by CT.

TR 3~4/4 群と他群との間に $p < 0.01$ の有意差が認められた。また虚血性心疾患群との間には TR (-) 群で $p < 0.05$, TR 1~2/4 群で $p < 0.01$ の有意差が認められた。

2) 三尖弁閉鎖不全における右室平均容積 (Fig. 7)

TR と右室平均容積との関連をみると, TR (-) 群 $59 \pm 13 \text{ ml/m}^2$, TR 1~2/4 群 $63 \pm 15 \text{ ml/m}^2$, TR 3~4/4 群 $101 \pm 39 \text{ ml/m}^2$ で, TR 3~4/4 群と他群との間に $p < 0.01$ の有意差が認められた。虚血性心疾患群との間には TR 1~2/4 群で $p < 0.05$ の有意差が認められた。

3) 三尖弁閉鎖不全における上・下大静脈面積 (Fig. 8)

TR と上大静脈断面面積との関連をみると, TR (-) 群 $1.17 \pm 0.41 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, TR 1~2/4 群 1.55

$\pm 0.42 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, TR 3~4/4 群 $4.52 \pm 2.39 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ で, TR 3~4/4 群と他群との間に $p < 0.01$ の有意差が認められた。虚血性心疾患群との間には, TR 1~2/4 群で $p < 0.01$ の有意差が認められた。

TR と下大静脈断面面積との関連では, TR (-) 群 $2.10 \pm 0.48 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, TR 1~2/4 群 $2.51 \pm 0.65 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, TR 3~4/4 群 $5.03 \pm 1.39 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ で, TR 3~4/4 群と他群との間に $p < 0.01$ の有意差が認められた。虚血性心疾患群との間には TR 1~2/4 群で $p < 0.01$ の有意差が認められた。

4) 僧帽弁閉鎖不全における左房平均容積 (Fig. 9)

左室造影 (LVG) より評価した MR を 3 群に分けて左房平均容積との関連をみると, MR (-) 群 $160 \pm 109 \text{ ml/m}^2$, MR 1~2/4 群 $191 \pm 129 \text{ ml/m}^2$, MR 3~4/4 群 $487 \pm 231 \text{ ml/m}^2$ で MR 3~4/4 群と他群との間に $p < 0.01$ の有意差が認められた。虚血性心疾患群との間には, MR (-) 群および MR 1~2/4 群ともに僧帽弁狭窄を合併している症例を多く含むため, $p < 0.01$ の有意差が認められた。

3. 左室平均容積, 左室拡張末期容積, 左室心筋重量に対する CT と左室造影法

1) CT による左室平均容積と左室造影法による左室拡張末期容積 (Fig. 10)

弁膜疾患 46 例について, CT で求めた左室平均容積と左室造影により求めた左室拡張末期容積 (LVEDV) との関連をみると, CT では平均容積が求められるため, 造影法より求めた左室拡張末期容積よりも低い値をとるが, 両者は $r = 0.92$ と良い相関を示した。

2) CT と左室造影法による左室拡張末期容積 (Fig. 11)

前述の左室平均容積を左室拡張末期容積へ変換するためには, 左室断面の長径が最長となる断面で gated scan を行い, 求められた平均面積と拡張末期面積の比を体積に換算した値を補正因子として用いる⁹⁾ (Fig. 12)。そのようにして求めた 2

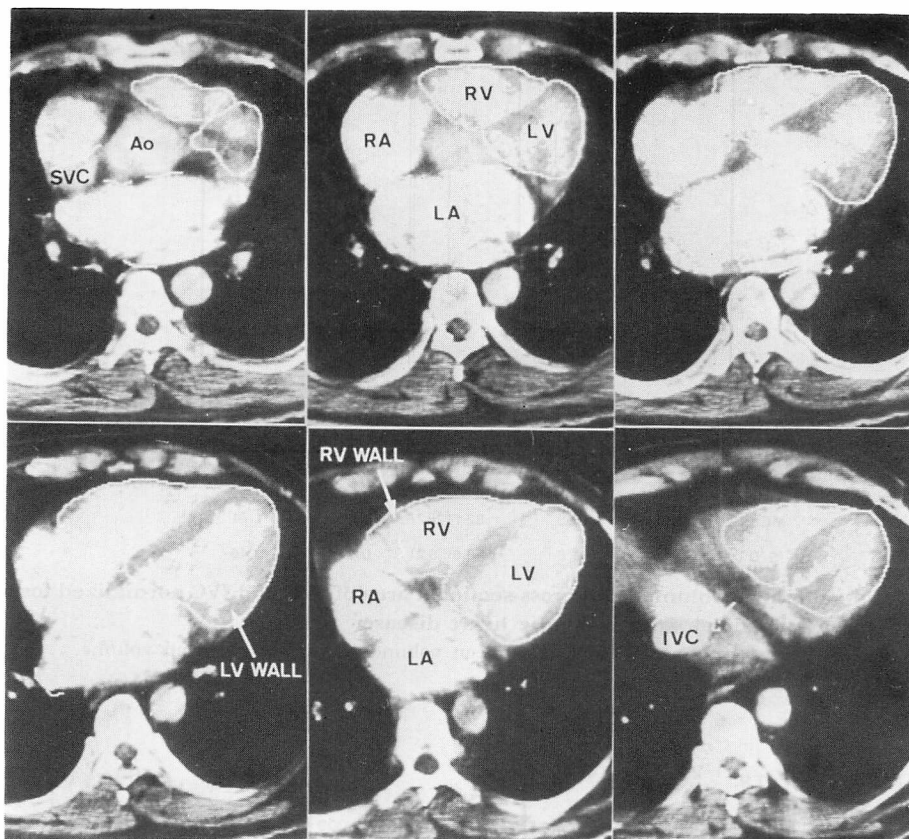


Fig. 4. Rapid sequential images covering the whole heart and great vessels.

AO=ascending aorta; SVC=superior vena cava; IVC=inferior vena cava.

種の拡張末期容積を 40 例について比較すると, $r = 0.95$, $Y = 1.01 X + 13.3$ の関係があり, 両者には極めて近い値を示した.

3) 左室心筋重量 (Fig. 13)

左室心筋重量の計測法としては Rackley らの報告以来, 主として左室造影により求める方法が用いられてきた^{10,11)}. しかし著明な右室肥大を示す症例, 術後などの心嚢液貯留を伴う症例, 心筋症など, 左室心筋壁が非対称性肥大を示す症例にこの方法を用いることは不適当と考えられていた. CT では各断面の加算より求めるためにこれらの不都合がなく心筋重量の算出に本質的に適した方法と思われる.

比較的左室壁厚が均一な 18 例について CT と

左室造影で求めた左室心筋重量を比較すると, $r = 0.90$ と, 両者間に良い相関が得られた.

4) 左室心筋重量 / 左室平均容積 (Fig. 14)

左室に対する負荷のかかり方により症例を 2 分し, AR 3~4/4, MR 3~4/4 を有する症例を容量負荷群, 大動脈狭窄 (AS) を有する症例を圧負荷群として, 左室心筋重量・左室平均容積比を検討した. 容量負荷群では平均容積の増加に伴い心筋重量も増加するので, 両負荷が余りない群との間に有意差がなかったが, 圧負荷群では 1.0 以上の高値を示した. この比は心室における負荷の種類を判定する上に, 適当なパラメーターになりうると思われる.

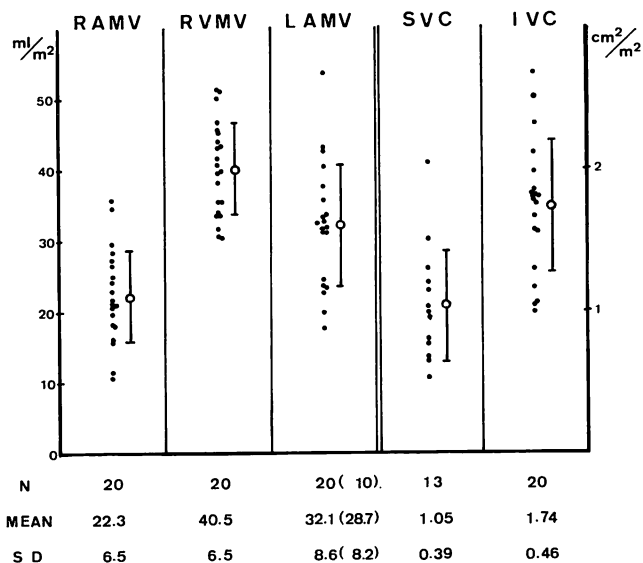


Fig. 5. 4-chambers' volumes and cross-sectional area of SVC and IVC normalized for body surface area in patients with ischemic heart disease.

RAMV=RA mean volume; RVMV=RV mean volume; LAMV=LA mean volume.

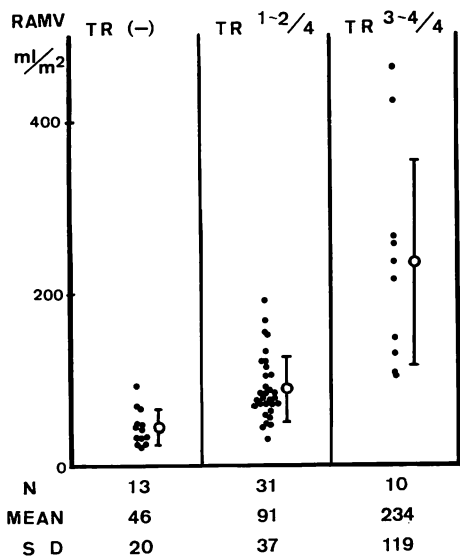


Fig. 6. Correlation between TR and RAMV.

Severity of tricuspid regurgitation is evaluated by ultrasonic pulsed Doppler technique and then classified into 4 grades.

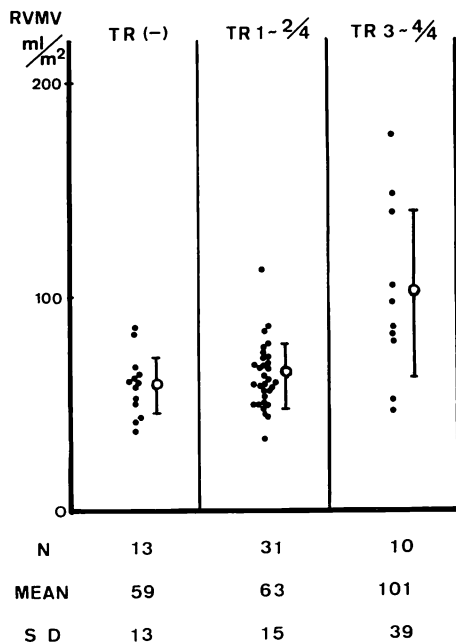


Fig. 7. Correlation between TR and RVMV.

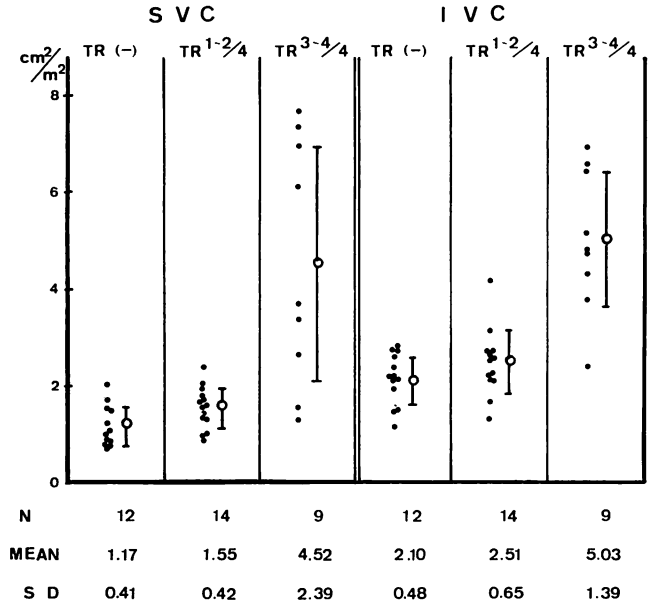


Fig. 8. Correlation between TR and SVC and IVC cross-sectional areas.

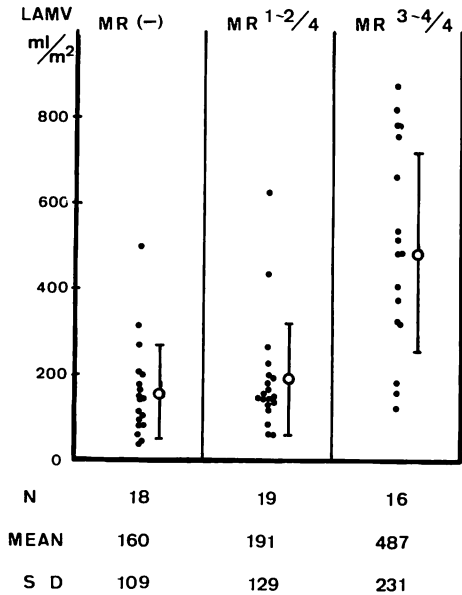


Fig. 9. Correlation between MR and LAMV.
Severity of mitral regurgitation is evaluated by left ventriculography (LVG) and then classified into 4 grades.

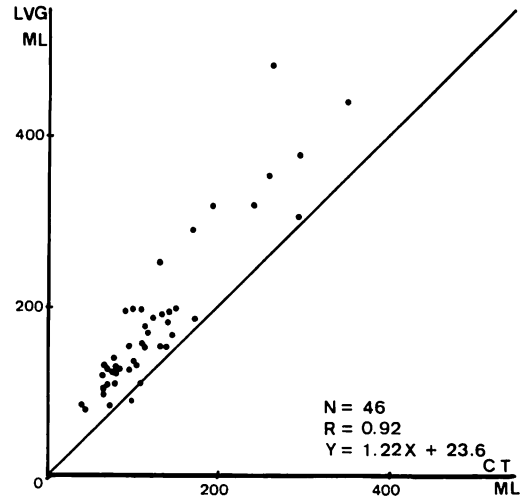


Fig. 10. Correlation between LVMV by CT and LVEDV by LVG.

An oblique line in this and the succeeding figures indicates 45 degree line.

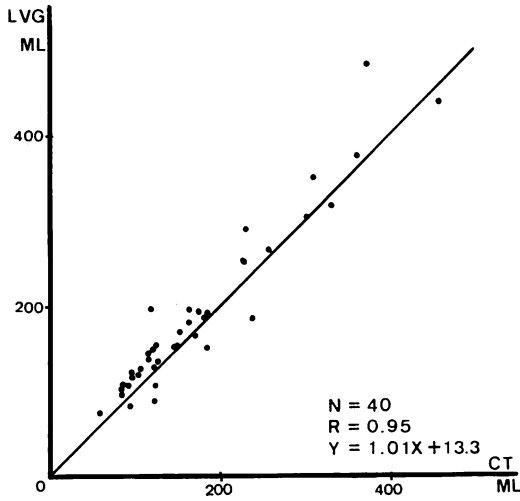


Fig. 11. Correlation between LVEDVs by CT and LVG.

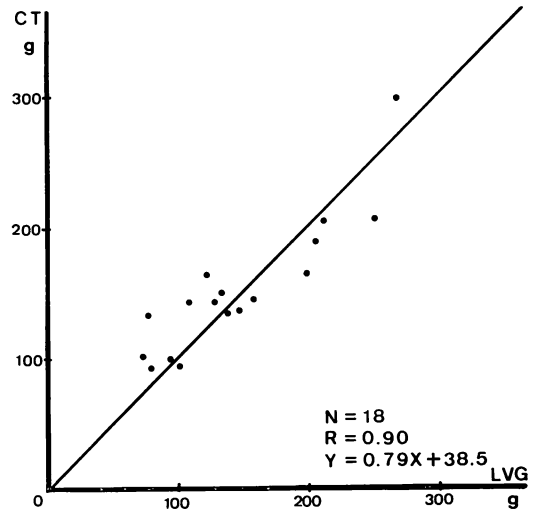


Fig. 13. Correlation between LV mass by CT and LVG.

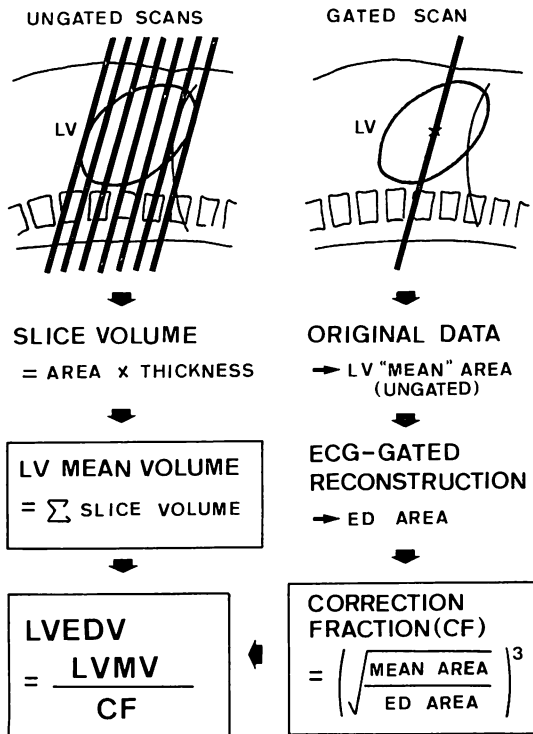


Fig. 12. Method for calculation of LVEDV by CT.

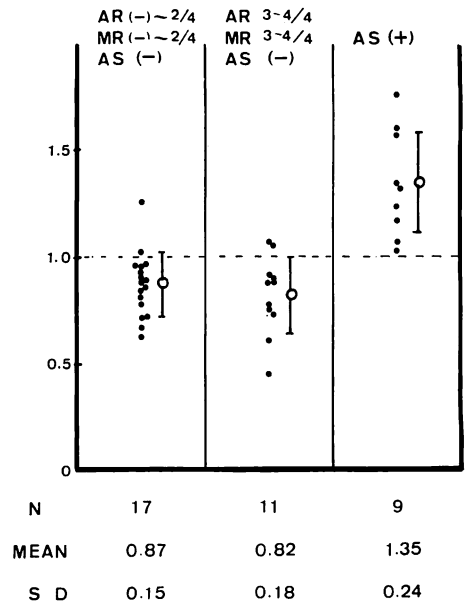


Fig. 14. Ratio of LV mass to LVMV.
AR=aortic regurgitation; AS=aortic stenosis.

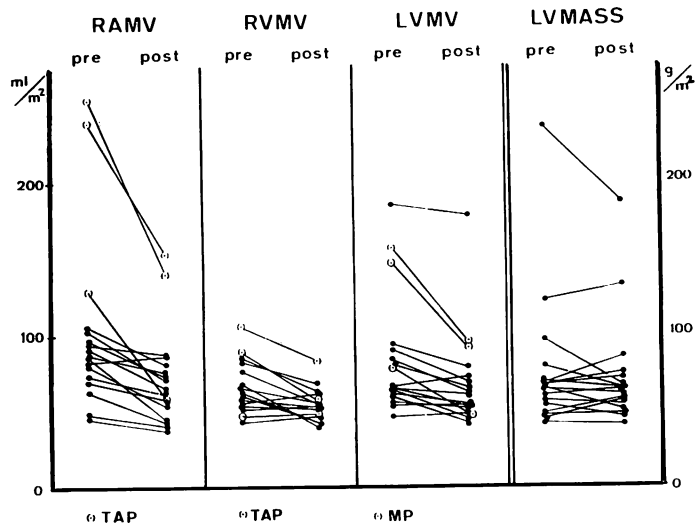


Fig. 15. Changes of RAMV, RVMV, LVMV and LV mass before and after surgery.
 pre=preoperative; post=postoperative; TAP=tricuspid valve annuloplasty; MP=mitral valve plasty.

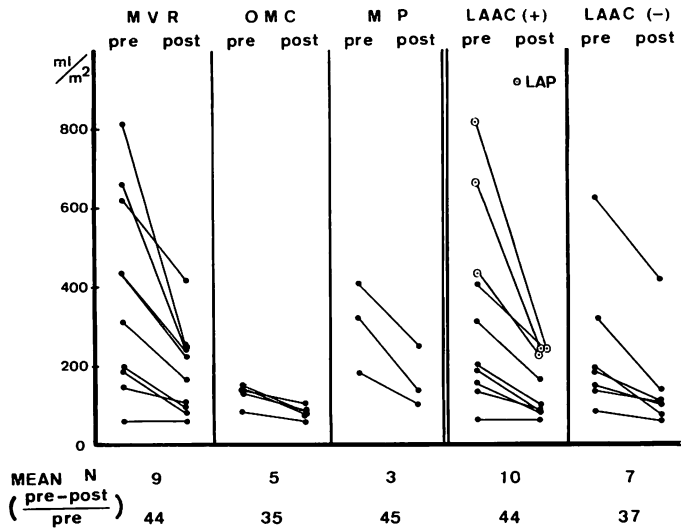


Fig. 16. Changes of LAMV before and after surgery.
 MVR=mitral valve replacement; OMC=open mitral commissurotomy; LAAC=LA appendage closure; LAP=LA appendage plication; MP=mitral valve plasty.

4. 4-chambers' volume の手術前後における比較

手術前後で CT 検査を施行し, 各心房心室の容積が求められている 弁膜疾患 17 例について, その容積の手術前後での変化を術式間で比較してみた。

1) 三尖弁輪縫縮術と右房平均容積 (Fig. 15)

術前 TR 3/4 で右房平均容積が大きく, 三尖弁輪縫縮術 (TAP) を行った 3 例では, 右房容積は平均 44% の縮小を示した。しかし縫縮術を行わなかった例でも約 10~30% の縮小を示した。

2) 三尖弁輪縫縮術と右室平均容積

右室平均容積は縫縮術を行った 3 例で平均 18% の縮小を示したが, 縫縮術を行わなかった例でも約 10~20% 縮小した。

3) 僧帽弁置換術, 交連切開術, 僧帽弁形成術と左室平均容積, 左室心筋重量

術前 MR 4/4 と逆流度が強く僧帽弁形成術 (MP) を行った 3 例では, 左室平均容積は平均 41% の縮小を示したが, 僧帽弁置換術 (MVR), 交連切開術 (OMC) を施行した例でも約 10~15% の縮小を示した。左室心筋重量は平均すると術前後でほとんど変化しなかった。以上の関係は Schuler の大動脈弁閉鎖不全の手術前後での容積と壁厚の変化の報告とよく一致している¹²⁾。

4) 左房縫縮術, 左心耳閉鎖術と左房平均容積 (Fig. 16)

MVR, OMC, MP 例とも平均 35~45% の左房平均容積の縮小を示した。術前左房が巨大で左房縫縮術 (LAP) を施行した 3 例では平均 60% の縮小を示した。しかし左心耳閉鎖術 (LAAC) に関しては, 行った群の左房平均容積縮小率平均 38%, 行わなかった群のそれは平均 37% と, 双方の間に差がなかった。

結 語

CT では立体の体積または容積を断面の加算によって求めるため, 本質的に体積および容積の算出に適した方法である。しかし CT で ungated 画像の加算より求められる平均容積 (MV) は, 各

心室における拡張末期容積 (EDV) および各心房における最大容積よりも小さい値をとるため, 各心房・心室の容積変化の比較的少ない虚血性心疾患群において, CT における平均容積の算出を試みた。得られた数値には, これまでの報告と症例の年齢構成および疾患に差があるため, 若干異なる点も見られたが, 一応, 各心房・心室のおおよその正常値を示していると思われる。

また弁膜疾患群での, 弁逆流の程度と各心房心室容積との比較では, 逆流度が大きいほど容積の増加が著しい傾向が認められた。

また手術前後での, 心房・心室容積の変化の検討では, 行われた手術術式によって容積の変化に差が認められた。

以上, 非観血的に容易に行える点で, 手術前後の検討も含め, 各心房・心室の容積および心筋重量を算出する方法として, CT の rapid sequential scan を用いた 4-chambers' volumetry は有用と思われる。

要 約

CT を用い, rapid sequential scan で心臓全体をカバーする scan を行い, 得られる ungated 画像を加算することにより, 各心房・心室の平均容積 (MV) および両心室心筋重量を算出し, 次の成績を得た。

1. 虚血性心疾患 20 例について, おおよその各心房・心室の平均容積の正常値を求めたところ, 右房平均容積 (RAMV) $22.3 \pm 6.5 \text{ ml/m}^2$, 右室平均容積 (RVMV) $40.3 \pm 6.5 \text{ ml/m}^2$, 左房平均容積 (LAMV) $28.7 \pm 8.2 \text{ ml/m}^2$ であった。

2. 弁膜疾患 54 例について, CT より求めた容積と, 超音波ドプラー法で評価した三尖弁逆流 (TR) の程度, および左室造影 (LVG) より評価した僧帽弁逆流 (MR) の程度と比較すると, TR 3~4/4 群では RAMV $234 \pm 119 \text{ ml/m}^2$, RVMV $101 \pm 39 \text{ ml/m}^2$ と有意な ($p < 0.01$) 増加が認められた。また MR 3~4/4 群では LAMV $487 \pm 231 \text{ ml/m}^2$ と有意な ($p < 0.01$) 増加が認められ

た。

3. 弁膜疾患 46 例について、CT より求めた左室平均容積 (LVMV) および左室拡張末期容積 (LVEDV) と LVG より求めた LVEDV と比較すると、おのおの $r=0.92$, $r=0.95$ と極めて良い相関が得られた。

4. 弁膜疾患 17 例での手術前後の検討では、三尖弁弁輪縫縮術 (TAP) が行われた 3 例での RAMV の縮小率は平均 44%, 僧帽弁形成術 (MP) が行われた 3 例での LVMV の縮小率は平均 41%, 左房縫縮術 (LAP) が行われた 3 例での LAMV の縮小率が平均 60% と他症例より大きな縮小率を示した。

文 献

- 1) Lipton MJ, Hayashi TT, Davis PL, Carlsson E: The effects of orientation on volume measurements of human left ventricular casts. *Invest Radiol* 15: 469-474, 1980
- 2) Naito H, Kozuka T: Evaluation of left ventricular function by cardiac CT: Comparison with left ventriculography. *Resp and Circ* 30: 255-264, 1982 (in Japanese)
- 3) Skiöldebrand CG, Ovenfors CO, Mavroudis C, Lipton MJ: Assessment of ventricular wall thickness in vivo by computed transmission tomography. *Circulation* 61: 960-965, 1980
- 4) Okamoto M, Miyatake K, Kinoshita N, Sakakibara H, Kawazoe K, Fujita T, Ohta M, Kozuka T, Nimura Y: Evaluation of tricuspid regurgitation by the ultrasonic pulsed Doppler technique from a transcutaneous approach. *J Cardiography* 11: 727-740, 1981 (in Japanese)
- 5) Graham TP Jr, Atwood GF, Faulkner SL, Nelson JH: Right atrial volume measurements from biplane cineangiography. *Circulation* 49: 709-716, 1974
- 6) Arcilla RA, Thilenius OG, Chiemmongkoltip P, Ranniger K: Left atrial volume calculation by angiography in children. *Chest* 63: 189-197, 1973
- 7) Murray JA, Kennedy JW, Figley MM: Quantitative angiography II. The normal left atrial volume in man. *Circulation* 37: 800, 1968
- 8) Gentzler RD, Briselli MF, Gault JH: Angiographic estimation of right ventricular volume in man. *Circulation* 50: 324-330, 1974
- 9) Naito H, Arisawa J, Kimura K, Kozuka T, Kito Y, Ohara K, Fujita T, Nagata S, Redington RW: Evaluation of left ventricular morphology and function by cardiac computed tomographic examination. *J Cardiography* 12: 457, 1981 (in Japanese)
- 10) Rackly CE, Dodge HT, Coble YD, Hay RE: A method for determining left ventricular mass in man. *Circulation* 29: 666-671, 1964
- 11) Kennedy JW, Reichenbach DD, Baxley WA, Dodge HT: Left ventricular mass: A comparison of angiographic measurements with autopsy weight. *Am J Cardiol* 19: 221-223, 1967
- 12) Schuler G, Peterson KL, Johnson AD, Francis G, Ashburn W, Dennish G, Daily PO, Ross J Jr: Serial noninvasive assessment of left ventricular hypertrophy and function after surgical correction of aortic regurgitation. *Am J Cardiol* 44: 585-594, 1979