

《原 著》

先天性心疾患におけるマルチゲート心血液プール・データのフーリエ解析による検討

—(I) 左右短絡疾患、特に心室中隔欠損症を中心にして—

竹田 寛* 前田 寿登* 山口 信夫* 中村 和義*
中川 肇* 田口 光雄* 桜井 実* 青木 謙三*

要旨 左右短絡を有する先天性心疾患を対象に、マルチゲート法により、各画素および両心室の時間アクトイビティ曲線を求め、それぞれフーリエ解析し、一次項の位相角および振幅を算出した。正常人(18例)では、心拍数に関係なく、左右心室の位相角差[D(Phase)]は、平均 1.7 ± 5.8 度、左室振幅に対する右室振幅の比[R(amp)]は、 0.54 ± 0.20 であった。D(Phase)は、心室中隔欠損症(VSD)(22例)で、肺循環体循環血流比(Qp/Qs)に比例して増加し($r=0.899, P<0.001$)、Qp/Qs > 2.0では、18度以上の高度の右室位相角の遅延をみた。R(amp)は、動脈管開存症(9例)では小さく、心房中隔欠損症(11例)では著明に増大したが、VSDでは正常範囲内の値を示した。

各画素ごとの位相角および振幅によるファンクショナル・イメージは、これら疾患の鑑別だけでなく、VSDの位置を判定しうる場合もあり、臨床上有用と思われた。

I. 緒 言

1980年、Adam ら¹⁾の提唱した平衡時法による心血液プール・データを、Fourier 変換法を用いて解析する“位相解析法(phase analysis)”は、心機能を調べる新しい方法として脚光を浴び、この2年間に急速に普及した^{2,3)}。

本法を用いた報告の多くは、主として虚血性心疾患における左心室機能や壁運動の異常の検出^{3~9)}、脚ブロックなどの刺激伝導系の異常時の心室駆出動態の解明^{10~13)}、あるいは心筋症^{14,15)}や慢性肺疾患¹⁶⁾などに関するものが多いが、著者らは、1981年4月以来、先天性心疾患を対象とし

て本法による解析を行い、心臓カテーテル検査、心血管造影所見などと対比しながら、その臨床的有用性に関し検討を続けてきた¹⁷⁾。本稿では、左右短絡を有する先天性心疾患のうち、特に心室中隔欠損症(VSD)を中心として、本法の有する臨床的意義、および他の左右短絡疾患との鑑別診断などについての検討成績を報告する。

II. 対 象

対象は、1981年4月より1982年11月まで、本院放射線科にて、心臓カテーテル検査およびバイプレーン・シネアンジオ装置により心血管造影を行い、診断の確定された61例で心機能に異常を認めない例(以下、心機能正常例とする)18例、および、左右短絡疾患43例より成り、年齢は、7か月から59歳に分布、平均9.3歳であった。

心機能正常18例の内訳は、心血管病変を有しない川崎病12例、VSD 自然閉鎖3例、機能性雜音3例である。左右短絡を有する43例の内訳は、VSD 23例、動脈管開存症(PDA) 9例および心房

* 三重大学医学部放射線科

** 同 小兒科

*** 松阪市民病院小兒科

受付：57年12月6日

最終稿受付：58年4月21日

別刷請求先：津市江戸橋2-174 (番号514)

三重大学医学部放射線科

竹 田 寛

中隔欠損症(ASD)11例で、いずれも単一奇型であり、他の合併奇型は認められなかった。VSDの型は、I型(supracristal VSD)3例、II型(retrocristal VSD)19例、IV型(muscular VSD)1例で、また、ASDは全て二次中隔欠損であった。

心カテーテル検査時、血中酸素飽和度を用いて、体循環肺循環血流比(Qp/Qs)を、大動脈、肺動脈の各平均圧を用いて大動脈肺動脈圧比(Pp/Ps)を求めた。

ASD 11例を除く50例には、心電図上、左あるいは右脚ブロック、WPW症候群などの刺激伝導系の異常を認めなかつた。

また、全例、心カテーテル検査および心血管造影施行前日に、心臓核医学検査が施行された。

III. 方 法

1. データ収集法

^{99m}Tc -人血清アルブシン(HSA)あるいはin vivoで標識された ^{99m}Tc -赤血球 300～500 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$ を急速静注し、血中に平衡状態に達した時点で、以下に示す方法でデータ収集を行つた。患者を仰臥位とし、低エネルギー用汎用コリメータを装着した大型ガンマカメラ(東芝製 GCA 401-5)にて、2倍拡大モードで、患者胸郭に対し、左前斜位30度から80度、頭尾側(craniocaudal)方向に20度から50度の角度をつけ、左右心室が十分に分離できる方向を選んで撮像した。収集モードは、 64×64 マトリックスのフレーム収集法で、R-R間隔を28分割し、約400から600心拍のデータを集め、オンライン・コンピューターシステム(東芝製核医学データ処理装置 GMS 90)に収録した。

2. データ処理法

(1) ファンクショナル・イメージ

すでに報告¹⁵⁾したように、得られた28フレームの各データに対し、Filter Factor=10.2のスムージング処理を行つた後、各画素ごとの時間アクトイビティ曲線(TAC)を求め、各曲線ごとにFourier解析を行い、その第一次周波項における位相角(phase angle)および振幅(amplitude)を算出した。得られた各画素ごとの位相角は、-180度から

+180度までを、振幅は、0から最大値までを、それぞれ16等分し、値の高い方から順に白→赤→黄→緑→青の16色調でカラー表示し、位相および振幅イメージを作製した。

(2) 左右心室のグローバルな位相角および振幅

位相角および振幅イメージより、左右両心室の領域を決定し、それぞれを関心領域として、グローバルな左室および右室の時間カウント曲線を求めた。得られたグローバルな曲線に対し、それぞれ Fourier 解析し、全左室および全右室の基本周波項における位相角、振幅を求めた。これらの値および、右室位相角より左室位相角を減算して得られる左右両心室の位相角の差 [difference of phase angle: D (phase)], さらに、左室振幅に対する右室振幅の比 [ratio of amplitude: R (amp)]などの値を用いて、定量的解析を行つた。

IV. 成 績

1. D (phase) および R (amp) による定量的解析

(1) D (phase) について

Figure 1 に心機能正常者18例を対象として、両心室の位相角と心拍数との関連に関し検討した結果を示す。Figure 1A は、左室位相角と心拍数、1B は、右室位相角と心拍数、1C は、D (phase) の値と心拍数との関係を示している。

左右両心室の位相角は、いずれも心拍数の増加につれて増大し、それぞれ、相関係数、0.894, 0.889 とともに、0.1%以下の危険率で有意の相関が認められた。一方、D (phase) の値は、心拍数の63/分から130/分までの変動にかかわらず、+12度から-7度以内に分布し、心拍数の変動にあまり影響されないことが示された。正常人におけるD (phase) 値の平均値およびその標準偏差は 1.7 ± 5.8 度であった。

Figure 2 にVSD患者23例のうち、Eisenmenger化した1例を除く22例を対象として、Qp/QsとD (phase) 値との関連性に関し検討した結果を示す。D (phase) の値は、Qp/Qs 比が2.0以下では、

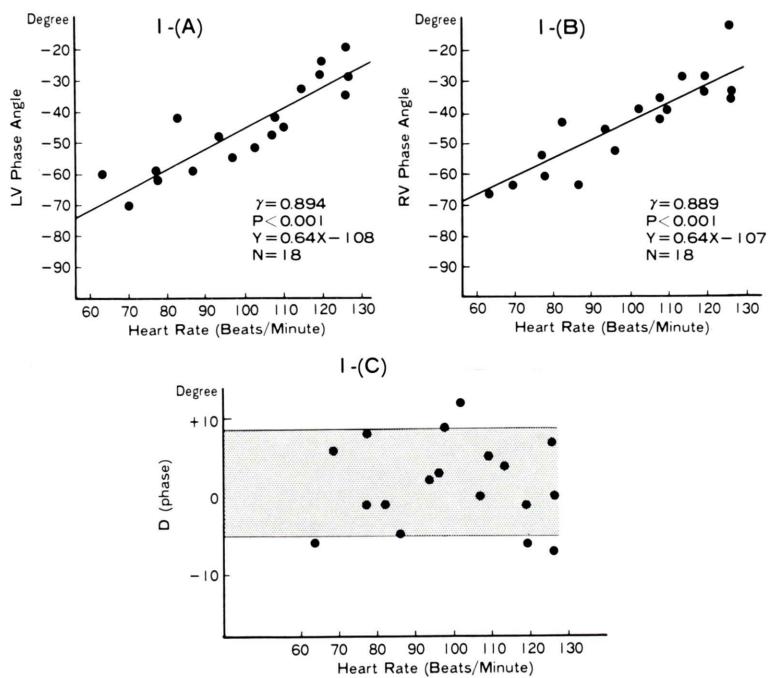


Fig. 1 Relation of ventricular phase angle to heart rate in 18 subjects with normal cardiac functions: (1A) LV phase angle vs. heart rate; (1B) RV phase angle vs. heart rate; (1C) Difference between LV and RV phase angles [D (phase)] vs. heart rate. The shaded zone represents a range within mean value \pm standard deviation.

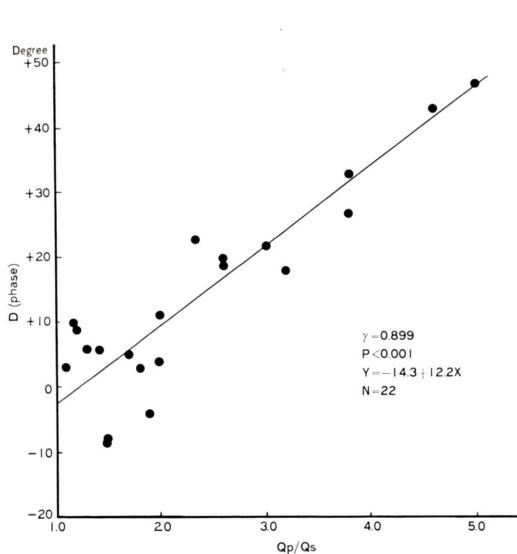


Fig. 2 Relation between D (phase) and Qp/Qs in patients with VSD.

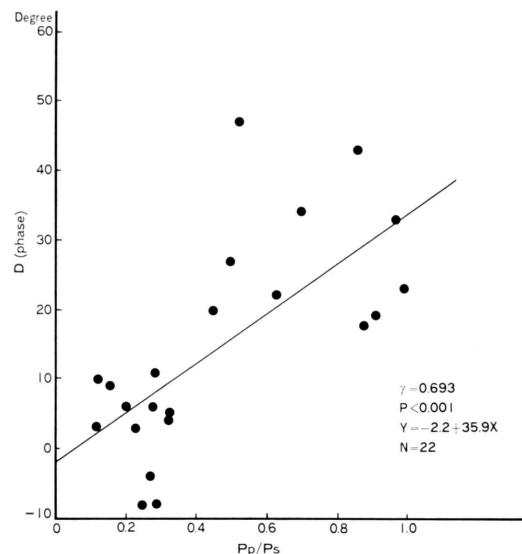


Fig. 3 Relation between D (phase) and Pp/Ps in patients with VSD.

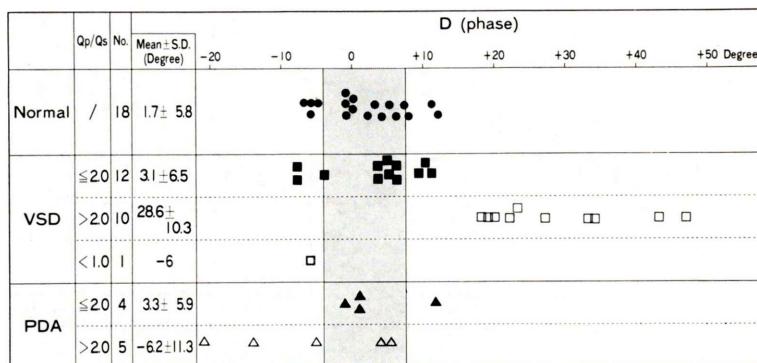


Fig. 4 D (phase) in patients with normal cardiac functions, VSD and PDA. The shaded zone represents the range within mean value \pm standard deviation in cases with normal cardiac functions.

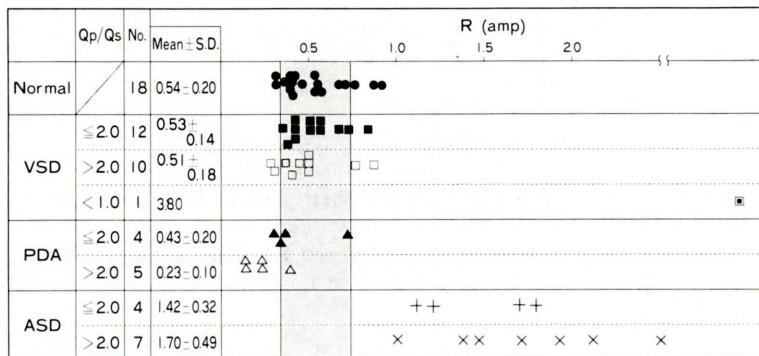


Fig. 5 Amplitude Ratio of RV to LV [R(amp)] in patients with normal cardiac functions, VSD, PDA and ASD. The shaded zone represents a range within mean value \pm standard deviation in cases with normal cardiac functions.

正常範囲内にあるが、Qp/Qs 比が 2.0 を越えると、18度以上となり、Qp/Qs 比に比例して増大することが示された。Qp/Qs と D (phase) の値との間には、相関係数 0.899 で危険率 0.1% 以下で有意の相関が認められた ($Y = -14.3 + 12.2X$)。

Figure 3 に、上述の VSD 患者 22 例における Pp/Ps と D (phase) 値との関連に関し、検討した結果を示す。Pp/Ps 比が 0.4 以下では、D (phase) の値は、正常範囲内にあるが、0.4 を越えると 18 度以上となり、正常値に比べ、有意の増加を認めた。Pp/Ps と D (phase) の値との間には、相関係数 0.693 で、危険率 0.1% 以下にて有意の相関が示された。

さらに、Qp/Qs と Pp/Ps のどちらが、主とし

て D (phase) の値を増大せしめる因子かを調べるため、多変量解析法を用いて、Qp/Qs と D (phase)、Pp/Ps と D (phase) に関し、それぞれの、偏相関係数を求めた。前者の値 0.80 に対し、後者では 0.10 であり、前者において有意に高いことが示された。

次に、VSD および PDA 各群において、Qp/Qs 比が 2.0 以下と 2.0 以上の症例を別にして小群をつくり、各症例ごとの D (phase) の値、および各小群での平均値を、正常群における値と比較した (Fig. 4)。ASD 群は、大半、不完全、あるいは、完全右脚ブロックを有し、それによる右室位相角の遅延を生じるため¹¹⁾ この検討から除外した。

VSD 群における D (phase) 値は、Qp/Qs が 2.0

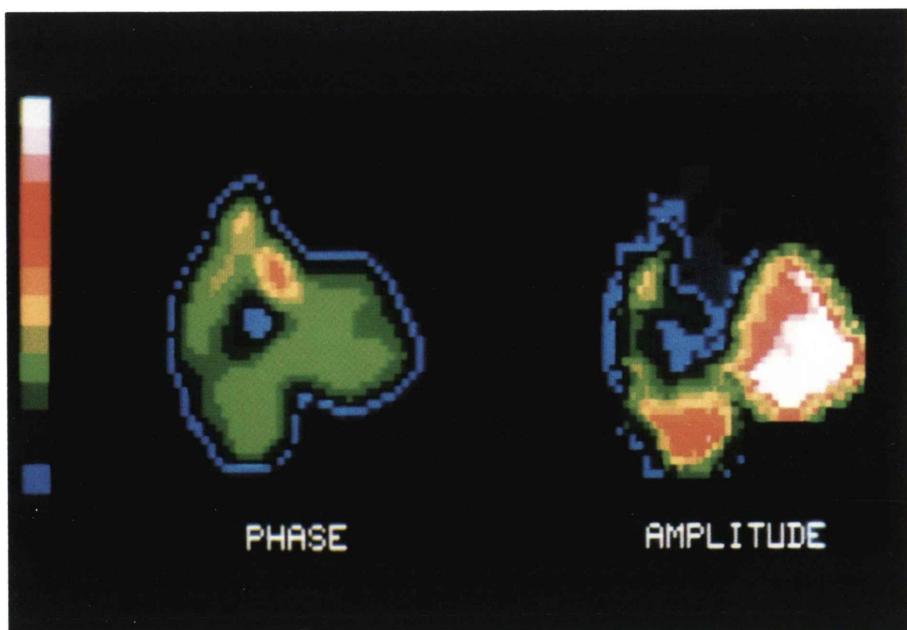


Fig. 6 Phase and amplitude images of a 4-year-old boy with Kawasaki disease. No cardiac lesions could be observed by cardiac catheterization and cine-angiography.

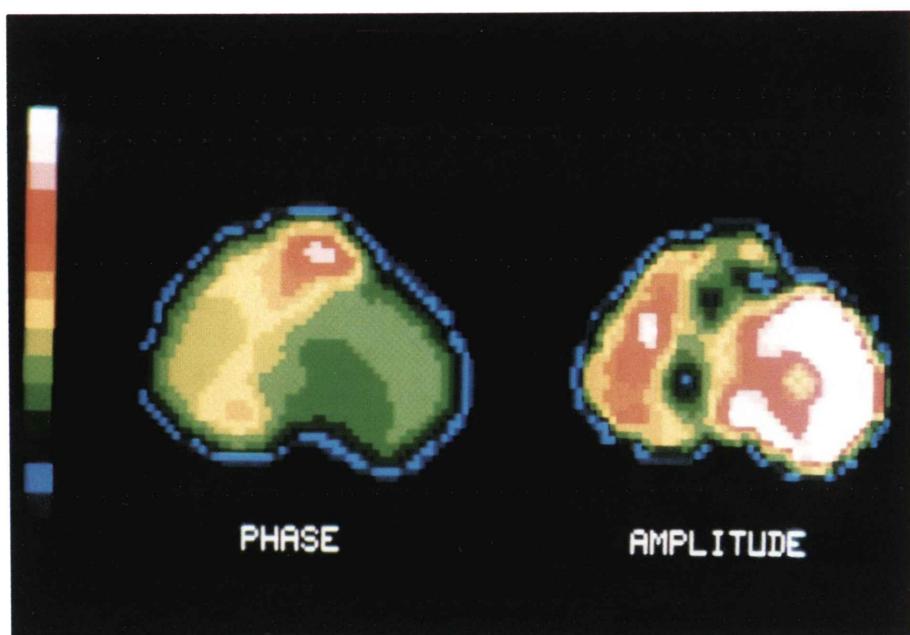


Fig. 7 Phase and amplitude images of a 1-year-old boy with large VSD.

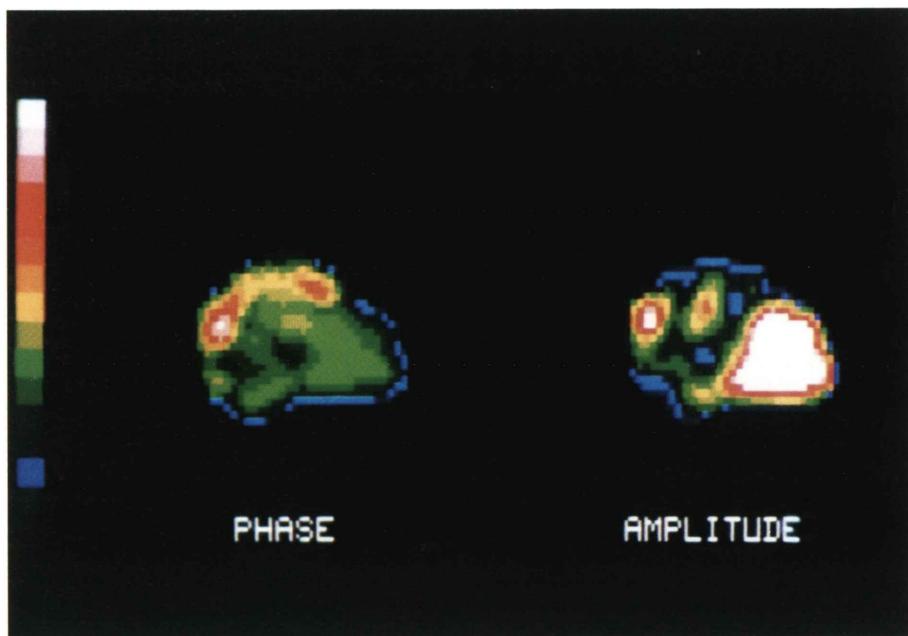


Fig. 8 Phase and amplitude images of a 10-month-old boy with large PDA.

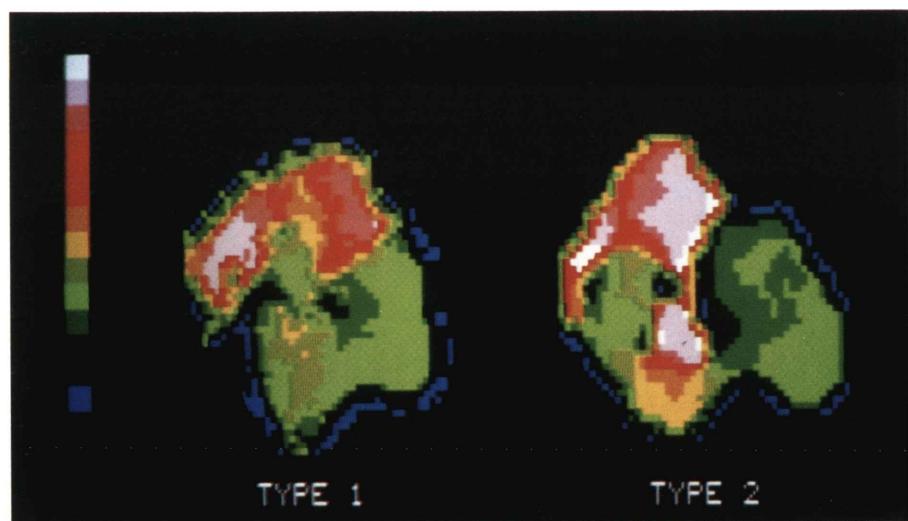


Fig. 9 Types of VSD diagnosed by phase images. In a patient with VSD of type 1, phase delay is visualized mainly at RV outflow tract (left). On the other hand, in a case with VSD of type 2, phase lag can be seen predominantly throughout body and apex of RV (right).

以下の症例では、正常範囲内に含まれるが、 Qp/Qs が 2.0 以上の症例では、全例、著明に増加し、平均値 28.6 ± 10.3 度で、正常値に対し、危険率 0.1% 以下で有意差が認められた。一方、Eisenmenger 化した VSD 症例では、D (phase) 値は -6 度で、正常範囲内にみられた。

一方、PDA 群における D (phase) 値は、 Qp/Qs が 2.0 以下の症例では、正常範囲内に含まれるが、 Qp/Qs が 2.0 以上の症例では、負の値をとるものが多い傾向が認められた。

(2) R (amp) について

Figure 5 に、ASD を含めた全症例における R (amp) の値を、各群別にまとめた結果を示す。

正常群における R (amp) の値は、0.31 から 0.92 と比較的広い範囲に分布し、その平均値および標準偏差は、 0.54 ± 0.20 であった。

VSD 群では、Eisenmenger 化した 1 例を除くと、 Qp/Qs の値の大小にかかわらず、R (amp) 値は正常群と有意差を認めなかった。

PDA 群では、全般に低い傾向があり、特に Qp/Qs が 2.0 を越える群では、低値を示すものが多く、危険率 1% 以下で、正常群に比し有意差を認めた。

他方、ASD 群における R (amp) 値は、いずれの症例も 1.0 以上の明らかな高値を示し危険率 0.1% 以下で正常群に比して有意差を認めた。

2. 位相および振幅イメージによる定性的解析

Figure 6 に、4 歳男児で、心血管病変を伴っていないことが確認された川崎病患者の位相および振幅イメージを示す。位相イメージでは、左右両心室腔ともにほぼ均等な位相角の分布を示し、振幅イメージでは、左室全体および右室心尖部で振幅の増加しているのがみられる。本例における D (phase) 値は +3 度、R (amp) 値は、0.42 であり、いずれも正常値を示した。 Qp/Qs 比が 2.0 以下の VSD および PDA 症例でも、正常例とほぼ同様のイメージが得られた。

Figure 7 に、1 歳男児で、 Qp/Qs 4.6 の大きな左右短絡と Pp/Ps 0.86 の肺高血圧症を示した II 型 VSD 症例の位相および振幅イメージを示す。

位相イメージでは、両心室ともに拡大し、左室位相角に対し、右室内位相角は、心尖部を中心に全域にわたって遅延するのがみられ、振幅イメージでは、右室全体の振幅増加が認められる。本例の D (phase) は +43 度、R (amp) は 0.52 であった。

Figure 8 に、 Qp/Qs が 3.9、 Pp/Ps が 0.63 の PDA を有する 10 か月男児の位相および振幅イメージを示す。

位相イメージにて拡大した左室および小さな右室ともに、ほぼ等しい位相角の分布を示し、振幅イメージでは、拡大した左室の振幅が、右室に比して著明に増大しているのが認められる。本例の D (phase) は +5 度、R (amp) は 0.15 であった。

続いて、VSD の型、すなわち欠損の位置による位相イメージの差について検討した。

Figure 9 の図左には、 $Qp/Qs=2.6$ の I 型 VSD を有する 1 歳女児の、図右には、 $Qp/Qs=2.8$ の II 型 VSD の 11 か月男児の、それぞれ位相イメージを示す。I 型 VSD では、右室流出路を中心位相の遅延がみられるが、II 型 VSD では、右室心尖より体部にかけて位相の遅れが示されている。Figure 7 に示した症例のように、 Qp/Qs 比が 3.0 を越えるような大量の左右短絡を有する症例では、右室全体の位相角が遅延する傾向をみたが、 Qp/Qs 比が 2.0~3.0 程度の短絡量を有する VSD 症例では、その型により、右室流出路あるいは心尖部など、一部に限局した位相の遅れが示される傾向があった。

V. 考 察

小児、ことに乳幼児を対象とした心臓核医学検査は、従来より、第一回循環時法を用いて、左右^{18~20)}あるいは、右左短絡率²¹⁾を求めたりするのが主体であり、左右心室の駆出率などの算出、特に平衡時法による算出法を検討したものはほとんどなく、わずかに、Parrish ら²²⁾の報告を見るに過ぎない。その理由として、検査に対する協力を得ることの困難な小児には、時間のかかる平衡時法は適さない、小児、特に 1 歳前後では、対象が小さく、通常のイメージでは、左右心室を十分

に識別し得ない、成人に比べ、右心系の機能評価を要求されることが多く、右房、右室の分離困難な平衡時法では、利点が少ない、などが考えられる。

そこで、われわれは、次の諸点に留意して小児を対象に、平衡時法によるデータ収集、処理を行い、フーリエ解析を試みた。

1) 1歳前後の乳児や幼児には、原則として^{99m}Tc-HSAを使用し、^{99m}Tc-in vivo標識赤血球は用いなかった。その理由は、後者の場合、前者に比べ、しばしば肝、脾への集積が高く、相対的に心臓イメージが不良となることがあるからである。

2) ガンマカメラによる撮像に際し、データ収集は2倍拡大モードで行い、その左前斜位角度は、あらかじめ超音波法により調べておいた右室拡大の程度に応じて調整し、左右心室が明瞭に分離しうる位置を選んだ。すなわち、右室拡大の著しい場合には、ほぼ90度に近い左前斜位を採用した。

また、頭尾側(craniocaudal)方向の角度も、30~50度とできるだけ大きくし、Bargeronら²³⁾がX線アンジオグラフィーについて“hepatoclavicular position”に近いイメージが得られるよう工夫した。

3) マルチゲート法で得られた心プールデータに対して、filter factor 10.2を有するマップスムージング処理を行ったのち、ファンクショナルイメージを作成した。スムージング処理を行った理由は、画素ごとのデータを処理対象とするファンクショナル・イメージングに際して、常に問題となる低カウント数に帰因する統計的変動による影響を低減するためである。10.2のfilter factorは、統計的変動による影響およびファンクショナルイメージの解像力などを考慮して決定されたものである¹⁵⁾。

このようにして、収集、処理されたデータに対し、フーリエ変換法を用いて解析を行った。本法の特徴は、心房や心室の収縮拡張運動を、その時間的因素(位相角)と、空間的因素(振幅)に分けて評価できる点にあり、たとえば、虚血性心

疾患において、左室局所壁運動の異常を単なる振幅の低下した“hypokinesis”なのか、あるいは、位相のずれを伴った“dyskinesis”なのか、診断するのに利用される¹⁾。この特徴は、先天性心疾患を対象とした場合、次に示すような点に利用されうると思われる。すなわち、本法、特に位相イメージにより、収縮開始時点の異なる心房と心室を明瞭に区別することが可能となり、心房や心室相互の位置関係、およびその大きさ、機能の程度などが明示され、従来の平衡時法による連続イメージでは、ほとんど無力に近かった複雑心奇型の診断に際しても、より明瞭な解剖学的知見が得られるようになる²⁴⁾。

また、たとえ小児においても、左房と左室、右房と右室など房室間の境界が明瞭に示されるため、左右心室の時間カウント曲線を求める場合、より正確な領域決定を行うことができ、算出される駆出率などの値は、より精度の高いものとなる²⁵⁾。

さらに、左右両心室の駆出、流入動態に関して、同時性を有する比較検討を行うことができる。このことは、先天心奇型に特有な病変である右室流出路や肺動脈弁の狭窄、諸種中隔欠損、大血管異常などの場合における左右両心室の血液駆出動態、特にその時間的特性の比較検討法としてきわめてすぐれていると考えられる。

本法により求められた、正常人におけるグローバルな左右心室の位相角は、左右心室ともに心拍数の増加につれて増大する(Fig. 1AB)。

これは、Linksら²⁾によれば、心拍数の増加により、心周期における等容拡張期(diastasis)が短縮するため、心室の時間カウント曲線における拡張期Plateauの部分が短くなり、位相角の増大を来すものとされている。それゆえ、心拍数の異なる症例間においては、左右心室位相角そのものの値は、比較し得ない。しかし、両心室の位相角の差、すなわちD(phase)の値は、Fig. 1に示したように心拍数に関係なく、一定範囲内に分布し、その平均値は、 1.7 ± 5.8 度で、軽度ながら右室位相角が大きい傾向にあった。Fraisら¹¹⁾は、左右心室それぞれの領域内に分布する各画素ごと

の位相角の平均値を、左室および右室位相角とし、正常人における両心室の位相角差を算出しているが、その16人における平均値も 5.2 ± 6.8 度で、同様に右室位相角が大きかったと報告している。いずれにせよ、正常心機能症例では、左右両心室間の位相角差は小さく、かつ心拍数の多少に拘らず引きわめて限局した一定範囲内の値を示すものである。それゆえ、このD(phase)の値をパラメーターとして、種々の疾患における、個々の症例間の比較を行った。

VSD患者においては、Qp/Qs比が2.0以上、Pp/Ps比が0.4以上の場合、D(phase)の値は18度以上となり、正常群における平均値+2標準偏差よりも大きく、有意の右室位相角の遅延が認められ、しかも、D(phase)値は、Qp/Qs、Pp/Psの値と、それぞれ有意の相関を有することが示された。一般に、VSDでは、Qp/Qsの増加に連れて、Pp/Ps値も増大するため、上述のごとく、D(phase)値が異常を示す場合には、Qp/Qs、Pp/Psとともに高値をとる場合が多い。そこで、D(phase)値を大きくするのは、これら2因子のうち、どちらが主要因子であるかを検討した。

1) Qp/QsとPp/Psの値を互いに関連する変数とし、多変量解析法により、それぞれのD(phase)値に対する偏相関係数を求めると、前者において有意に高値が示された。

2) Eisenmenger型VSDでは、Pp/Psが1.2であったにもかかわらずD(phase)の遅延を認めなかつた。

3) われわれの経験した2例の原発性肺高血圧症（いずれもPp/Psは0.6以上）において、D(phase)の値は、それぞれ、+9度、-1度であり、正常群と有意差を認めなかつた。

以上の結果を総合すると、D(phase)値の増大、すなわち、右室位相角を遅延させる要因は、主として、収縮期に左室より右室へ駆出される短絡量であると考えられる。

一方、Qp/Qsが2.0以上のVSD症例では、位相イメージにて、I型VSDでは、右室流出路中心に、II型VSDでは、右室体部中心に、局在性

の位相の遅延が認められた(Fig. 9)。

X線シネ・アンジオ装置により、肝鎖骨位での左室造影を行うと、収縮期にVSDを介して右室内へ駆出される“jet”的方向は、I型VSDでは、上方、すなわち流出路へ、II型VSDでは、下方、すなわち、右室体部から心尖へ向かうことが多く認められ、植原ら²⁶も同様のことを指摘している。上述の位相イメージにおける右室内での偏在性の位相の遅延は、左室より流入する“jet”的方向、その短絡血流による右室内血流駆出動態の変化を示しているものと考えられ、興味深い。今回の検討では、症例も少なく、また、Qp/Qs比が2.0以上でなければ検出し得ないという欠点もあるが、方法、装置などの改良により、より高率にVSDの位置を診断し得るようになると思われ、今後の発展が期待される。

VSDと鑑別を要する疾患に、PDAやASDが挙げられるが、特に新生児期や乳児期において、左右短絡量が多い場合には、それらの鑑別は、容易ではない。とりわけ、PDAとの鑑別は困難で、聴診、単純X線写、心電図、心エコー図などで鑑別がつかず、最終的に、心カテーテル検査、心血管造影などの観血的方法に頼らざるを得ないことも、しばしば経験する。

この点に関してD(phase)およびR(amp)値による検討結果を比較すると、D(phase)値に関してはFig. 4に示したように、PDAでは、Qp/Qsが2.0より大であっても、また肺高血圧症を呈しても、VSDとは異なり、右室位相角の遅延は認められなかった。これは、PDAでは、右室位相角遅延の原因となる心室間の左右血流短絡がないためであると考えられる。

また、ASDでは、高率に右脚ブロックを伴うため、それによる右室位相角の遅延が、D(phase)値に影響する¹¹⁾。われわれの検討例でも、脚ブロックを伴なったASDでは右室位相角は遅延する傾向にあり、特に完全右脚ブロックを合併した場合、その遅延は大きかった。そのため、ASDにおいては、D(phase)値を用いて左右短絡の検討は、脚ブロックの認められぬ症例を対象としな

い限り、行えないと思われる。

一方、フーリエ解析一次項の振幅についての定量的検討において、各心室の振幅値そのものは、Links ら²⁾のいうごとく、一回拍出量に比例するものと近似的に見做し得るが、^{99m}Tc の投与量、患者の体重、検査までの経過時間などに影響され、異なる症例間の比較は困難である。これらの難点を除去し定量的比較検討を行うために左右心室の振幅値の比、R (amp) を左右心室の一回心拍出量の比を示すパラメーターとして採用した。

本来ならば、心機能正常群における R (amp) は、1.0 に近い値をとるべきものと思われるが、実際は、0.31 から 0.91 と比較的広い範囲の分布を示した。この原因には、いろいろの要因が考えられるが、たとえば左室と右室の解剖学的構造の差とか、あるいは、ガンマカメラと、左室および右室との距離が人によって異なるなど、ジオメトリーの影響も大きいと思われる。しかし、Fig. 5 に示したように、たとえ、正常値が広い範囲に分布しても、短絡量の多い PDA では、さらに減少し、一方 ASD では、いずれも 1.0 以上と著明に増加し、両者ともに統計学的に正常群との間に有意差が証明された。

また、VSD 群は、Qp/Qs が大であっても、正常群と差がなかった。これらの成績は、VSD では、左右両心室の、PDA では左室のみの、ASD では右室のみの心拍出量がそれぞれ増加するという、これらの左右血液短絡を有す各疾患の血行動態の特徴を反映したものと考え得る。

したがって、R (amp) 値を三者の鑑別に利用することは可能と思われ、D (phase) による検討とを総合すると、次のとき結論が得られる。すなわち、短絡量の大きい (Qp/Qs > 2.0) VSD, PDA, ASD の鑑別は、D (phase) が 18 度以上で、R (amp) が正常範囲内 (0.54 ± 0.20) にあれば VSD, D (phase) が正常ないし負の値を示し、R (amp) が減少 (0.33 以下) しておれば PDA, D (phase) 値に関係なく、R (amp) が 1.0 以上であれば、ASD が、それぞれ最も強く疑われるものと思われる。

なお、定量的解析によって確認し得たこれらの

特徴は、各症例における位相角および振幅イメージの視覚的定性的判断によっても十分にとらえ得るものである。

今回の検討は、いずれもフーリエ級数の一次項を用いて行ったものであるが、これらの現象の病態生理学的な意義を求めるうとする場合には、フーリエ級数の二次項以上を用いて近似したデータにより解析する必要がある¹⁵⁾と思われ、今後、さらに検討を重ねて行きたいと考えている。

本法は、小児、特に新生児、乳児などにおいても、安全かつ正確に施行でき、VSD 患者における病態の把握や重症度の判定、あるいは、PDA や ASD との鑑別など、いずれも比較的容易に行うことができ、臨床的有用性が高いものと思われる。

本論文の要旨は、第22回核医学会総会において発表した。

文 献

- Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (Gated) Radionuclide Ventriculography. *Cardiovasc Radiol* **2**: 161-173, 1979
- Links J, Douglass KH, Wagner HN: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood-pool studies. *J Nucl Med* **21**: 978-982, 1980
- 外山比南子、村田 啓、飯尾正宏：位相分析法による第一回循環時および平衡時マルチゲートイメージの解析。画像診断 **1**: 81-88, 1981
- Walton S, Yiannikas J, Jarritt PH, et al: Phasic abnormalities of left ventricular emptying in coronary artery disease. *Br Heart J* **46**: 245-253, 1981
- 玉木長良、向井孝夫、石井 靖、他：Phase analysis による左室局所壁運動の定量的評価——位相分布ヒストグラムによる検討——。核医学 **18**: 1241-1248, 1981
- Botvinick E, Dunn R, Frais M, et al: The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation* **65**: 551-560, 1982
- Ratib O, Henze E, Schön H, et al: Phase analysis of radionuclide ventriculograms for the detection of coronary artery disease. *Am Heart J* **104**: 1-12, 1982
- 玉木長良、向井孝夫、石井 靖、他：平衡時心 RI アンギオグラフィーによる運動負荷時の局所壁運動の定量化の試み——位相解析法および局所駆出分画法の意義——。核医学 **19**: 209-216, 1982

- 9) 田淵博己, 村田 啓, 外山比南子, 他: 心筋梗塞症の局所壁運動の分布——フーリエ解析とチエビシエフ解析の比較——. 核医学 **19**: 919-927, 1982
- 10) Swiryn S, Pavel D, Byrom E, et al: Sequential regional phase mapping of radionuclide gated biventriculograms in patients with left bundle branch block. Am Heart J **102**: 1000-1010, 1981
- 11) Frais MA, Botvinick EH, Shosa DW, et al: Phase image characterization of ventricular contraction in left and right bundle branch block. Am J Cardiol **50**: 95-104, 1982
- 12) Botvinick EH, Frais MA, Shosa DW, et al: An accurate means of detecting and characterizing abnormal patterns of ventricular activation by phase image analysis. Am J Cardiol **50**: 289-298, 1982
- 13) Swiryn S, Pavel D, Byrom E, et al: Sequential regional phase mapping of radionuclide gated biventriculograms in patients with sustained ventricular tachycardia: close correlation with electrophysiologic characteristics. Am Heart J **103**: 319-332, 1982
- 14) 小西得司, 洞山典久, 浜田正行, 他: 肥大型心筋症運動負荷による左心機能の検討: フーリエ解析による心プールシンチの局所機能の検討. 心臓 **13**: 1581-1590, 1981
- 15) 前田寿登, 竹田 寛, 中川毅, 他: マルチゲート法心プールデータについてのフーリエ解析応用による心 Functional imaging. —基礎的検討およびその応用について—. 核医学 **19**: 765-776, 1982
- 16) 高橋恒男, 桂川茂彦, 柳澤 融: 位相解析法による各種心疾患のマルチゲート心プール像の評価. 核医学 **19**: 239-244, 1982
- 17) Takeda K, Maeda H, Yamaguchi N, et al: Right ventricular emptying performance in congenital heart disease assessed by temporal Fourier analysis of gated blood-pool study. In Proceedings of the Third World Congress of Nuclear Medicine and Biology. Paris, 1982, p 408-411
- 18) Maltz DL, Treves S: Quantitative radionuclide angiography. Determination of Qp: Qs in children. Circulation **47**: 1049-1056, 1973
- 19) 前田寿登: Iterative deconvolution analysis 法による radionuclide angiography の解析. 核医学 **18**: 473-485, 1981
- 20) Fujii AM, Rabinovitch M, Keane JF, et al: Radionuclide angiographic assessment of pulmonary vascular reactivity in patients with left to right shunt and pulmonary hypertension. Am J Cardiol **49**: 356-361, 1982
- 21) Peter CA, Armstrong BE, Jones RH: Radionuclide quantitation of right-to-left intracardiac shunts in children. Circulation **64**: 572-577, 1981
- 22) Parrish MD, Graham Jr TP, Born ML, et al: Radionuclide evaluation of right and left ventricular function in children: Validation of methodology. Am J Cardiol **49**: 1241-1247, 1982
- 23) Bergeron Jr LM, Elliott LP, Soto B, et al: Axial cineangiography in congenital heart disease. Radiology **56**: 1075-1083, 1977
- 24) 竹田 寛, 前田寿登, 山口信夫, 他: 先天性心疾患におけるマルチゲート・心プールデータのフーリエ解析による検討 [II] ファロー四徴症を主とした複雑心奇形の診断. 核医学 (投稿予定)
- 25) Douglass KH, Links JM, Alderson PO, et al: Temporal Fourier analysis in the selection of right ventricular regions of interest. J Nucl Med **21**: 46, 1980 (abst)
- 26) 植原敏勇, 内藤博昭, 太田光重, 他: 肝鎖骨位左室造影による心室中隔欠損 (VSD) の部位診断. 日本医学放射線学会雑誌 **40**: 767-778, 1980

Summary

Fourier Analysis of Multi-gated Blood-pool Data in Patients with Congenital Heart Disease

—(1) Assessment of Disease with Left to Right Shunt, Especially Ventricular Septal Defect—

Kan TAKEDA*, Hisato MAEDA*, Nobuo YAMAGUCHI*, Kazuyoshi NAKAMURA*,
Tsuyoshi NAKAGAWA*, Mitsuo TAGUCHI*, Minoru SAKURAI** and Kenzo AOKI***

**Department of Radiology*

***Department of Pediatrics, Mie University School of Medicine*

****Department of Pediatrics, Matsusaka Municipal Hospital*

The ventricular emptying performance in patients with congenital heart disease with left to right (L-to-R) shunt was investigated by temporal Fourier analysis of multi-gated cardiac blood-pool data. Functional images are constructed with parameters of each pixel's phase angle and amplitude at fundamental frequency. Using global time-activity curves of both ventricles, phase angle and amplitude of left and right ventricles (LV and RV) were computed. Values of interventricular phase difference [D (phase)] and amplitude ratio of RV to LV [R (amp)] were calculated in individual cases.

In 18 subjects with normal cardiac function, mean (\pm standard deviation) values of D (phase) was 1.7 ± 5.8 degree and that of R (amp) was 0.54 ± 0.20 , respectively regardless of heart rate. In 22 patients of ventricular septal defect (VSD) with L-to-R shunt, D (phase) became larger in proportion to the ratio of pulmonary to systemic

blood flow (Qp/Qs) ($r=0.899$, $p<0.001$). Especially, in those with large L-to-R shunt ($Qp/Qs > 2.0$), significant RV phase lag over 18 degrees was recognized and types of VSD might be possible to be differentiated by phase images. In 9 patients with patent ductus arteriosus (PDA), no RV phase delay was seen.

Mean value of R (amp) was considerably smaller in patients with PDA and significantly larger in 11 patients with atrial septal defect (ASD), as compared with that of subjects with normal cardiac functions. However, cases with VSD took the values within normal range.

This method is highly valuable for pathophysiologic investigation and differential diagnosis of congenital heart disease with L-to-R shunt.

Key words: multi-gated blood-pool data, Fourier analysis, congenital heart disease, left-to-right shunt.