

## 心室造影より右室容積計算を行う 4種のコンピュータソフトウェアについての比較検討

青墳 裕之, 池田 弘之, 中島 弘道, 澤田まどか

千葉県こども病院循環器科

Key words :

右室容積, 心室造影, 右室容積解析ソフトウェア, Graham法, Simpson法

### Comparison of Right Ventricular Volume Calculations from Cine-angiographic Data Obtained with Different Types of Computer Software

Hiroyuki Aotsuka, Hiroyuki Ikeda, Hiromichi Nakajima, Madoka Sawada

Division of Cardiology, Chiba Children's Hospital, Chiba, Japan

**Background:** Most pediatric cardiac centers use computer software to calculate right ventricular volume from cine-angiographic data. The aim of this study was to compare the methods used for computation and the results obtained with different types of software.

**Methods:** Four types of computer software (latest versions) were included in this study. First, we examined the basic algorithm and each of the processes used for calculation. Second, we computed pediatric right ventricular volume in 20 cases using each type of software, and compared the results.

**Results:** The basic algorithms for all types of software were based on Graham's method, which is based on Simpson's rule. Although there were small variations in the methods of ventricular tracing or calibration, the mean difference in computed volume data was 0.0-1.0 ml, which was considered small for right ventricular volume (4.2-91.6 ml). Correlation coefficients of computed data sets were at least 0.999 for combinations of any two types of software.

**Conclusions:** The basic method for all types of software was based on Graham's method, and the differences in calculated right ventricular volume were considered small in the clinical setting.

#### 要 旨

**背景:** 多くの小児循環器施設では心室造影から右室容積を計測するためにコンピュータソフトウェアを用いている。それらの計算方法および計算結果について比較検討することを目的とした。

**方法:** 最新バージョンのコンピュータソフトウェア4種類を対象とした。初めに基本的計算式および計算の各過程について検討した。次に小児の右室容積20例を、各ソフトウェアを用いて計測し、計算結果を比較した。

**結果:** すべてのソフトウェアにおいて基本的計算式はSimpson法に基づいたGraham法に準拠していた。トレース法、スケールの使用法などにおいては差異がみられたが、計測値の差の平均は0.0~1.0mlであり、対象とした右室容積(4.2~91.6ml)と比較すると小さいと考えられた。またいずれの2種のソフトウェアを用いても計測結果の相関係数は0.999以上であった。

**結論:** いずれのソフトウェアも基本的にはGraham法によって計算されており、ソフトウェアによる右室容積計測結果の差は臨床使用においては小さいと考えられた。

#### 緒 言

右室容積特性の評価は小児心臓病の診療において非常に重要であり、右室容積は血管造影により計測されることが多い。しかし右室は形態学的に複雑であるた

め、その計測にはいかなる仮定によりいずれのアルゴリズムを使用するか、また同じ計算原理によっても、トレースそのもの、スケール、造影剤の影響など多数の誤差要因が存在する。さらに容積計算に使用するコンピュータソフトウェアによる差も考えられる<sup>1)</sup>。特に

平成15年8月20日受付

平成15年11月17日受理

別刷請求先: 〒266-0007 千葉市緑区辺田町579-1

千葉県こども病院循環器科 青墳 裕之

施設間でデータを比較する際にはそれらの誤差要因、程度を明確にしておくことが必要である。

右室容積を計算するアルゴリズムに関しては、心奇形の臨床においては古くからSimpson法に基づいたGrahamらの提唱した方法<sup>2)</sup>が広く採用されてきた。その理由の一つは、右心室容積の正常値に関する論文<sup>3-6)</sup>には同方法に準拠して計測を行っているものが多いからであろう。この方法の理論的根拠はそれ以前にChapmanら<sup>7)</sup>が左室容積計測に関して提唱しているものであり、心室を水平に分割したうえでその断面を楕円と仮定し、微小な円柱として最上部から最下部までSimpson法により近似積分を行う方法である。

日本の小児循環器関連の施設では、コンピュータソフトウェアを用いて、Simpson法により右室容積を計算している場合が多いようであるが、それらのソフトウェアの種類、計算の基本的アルゴリズム、方法論の比較、計算結果の差については知られていない。そこで現在日本国内で入手可能な右室容積計測用の主要ソフトウェア4種を対象に、それらについて比較検討することが本研究の目的である。

なお本研究をスタートした2002年5月の時点のバージョンにおいて、株式会社エルクコーポレーションおよび株式会社カテックスのソフトウェアには方法論的誤りがあり、筆者らがおのおののメーカーの方に話をしてプログラムの修正をさせていただいた経緯がある。その後現在では、いずれも基本的方法に問題がないと考えられるバージョンに修正された。今回検討したのはその修正されたバージョンである。この経過、および現バージョンと古いバージョンの計測結果の比較等については最後に付記として記載する。

## 方 法

今回対象とした心室造影から右室容積計算を行うソフトウェアは、次の4種である。東京女子医科大学附属日本心臓血管研究所循環器小児科にて以前より使用されてきたBASICにて記述されたソフトウェア(以下HIJ)、My Volumetry(ユタ大学小児科、吉儀雅章先生の作成されたソフトウェア、以下YOSHIGI)、CAW2000、RV Versior(エルクコーポレーション、以下ELK)、Heart II(カテックス社、以下CATHEX)である。

日本国内では右室容積計測用のソフトウェアとしては、大半の施設においてこのうちのいずれかが用いられている。なお今回対象としたバージョンはELK: 1.7.2.16、CATHEX: 1.3.10である。

それらについて次の検討を行った。

## 1. 検討1: 計算等の方法についての比較検討

### 1) 基本的計算方法

基本的アルゴリズムについてはGrahamらの論文<sup>2)</sup>に準拠した方法を基準と考えた。その理由は前述の通り多くの右室容積の正常値に関する論文が同方法に準拠しているためである。同方法は正側2方向右室造影を水平(横隔膜面に平行)に10分割し、正面像における分割線の長さ $X_0, X_1 \dots X_{10}$ 、側面像における同長さ $Y_0, Y_1 \dots Y_{10}$ を求め、右室の水平断面を楕円と仮定し、Simpson法に基づいて頭側端から尾側端まで楕円の面積を近似積分する方法である。計算式は

$$V = \frac{\pi h}{3} \left( \frac{1}{4}(x_0 \times y_0 + x_{10} \times y_{10}) + \frac{1}{2}(x_2 \times y_2 + x_4 \times y_4 + x_6 \times y_6 + x_8 \times y_8) + (x_1 \times y_1 + x_3 \times y_3 + x_5 \times y_5 + x_7 \times y_7 + x_9 \times y_9) \right)$$

である( $h$ : 分割された各分割の高さ)。基本的にこの方法に準拠しているか否か検討した。なおELKはレポートの結果欄にGraham, Multislice, area-lengthなど数種の計算結果が表示されるが、今回対象としたのはそのうちGrahamとして表示される計算結果である。

### 2) 方法の詳細な部分についての比較

トレースの方法、スケールの使用方法、高さの設定法その他について比較検討した。

## 2. 検討2: 実例の計測による計測結果の比較検討

日齢0日~13歳(平均4歳6カ月)の心奇形症例10例(疾患内訳は大血管転換症2例、総肺静脈還流異常症2例、Fallot四徴症3例、右室二腔症、大動脈縮窄症、心室中隔欠損各1例、術前例と術後例が含まれる)を対象とした。右室造影による拡張末期および収縮末期の正面、側面血管造影像を用い、計20容積について検討した。各造影像をELKによりトレースした。このソフトウェアはトレース予定ポイントをクリックすると、クリックしたポイントの間がスプライン補完を用いてなめらかな曲線として結合され、その曲線は画像上に記録される。次に正面・側面のおのおの別個に記録された1cm四方の方眼によるグリッド像について、ELKにより画像上の右室に近い位置にグリッド上5cm角の正方形となる4点をマーキングした。トレース線の印された心室画像および4点が印されたグリッド像をデジタル画像保存(ELK, CATHEXおよびYOSHIGI用)または紙に印刷し(HIJ用)、それぞれのソフトウェアで新規に計測

Table 1 Right ventricular volumes of a patient calculated with software and with calculator by the author

Software	YOSHIGI	HIJ	ELK	CATHEX
Volumes calculated with software	30.87	29.94	29.95	29.83
Volumes calculated with calculator by the author	31.00	29.94	29.94	29.80

(ml)

した。すなわち各ソフトウェアにより前記のトレース線を再度トレースし、またマーキングの入ったグリッドを用いて新規にキャリブレーションを行い容積計測を行った。

CATHEXおよびYOSHIGIは線上をクリックしてトレースするが、クリック間隔はモニター画面上2~3mm程度と可及的に細かくし正確性を期した。ELKの場合も同様に短い間隔でクリックし、スプライン補完された曲線が元のトレース線とずれる場合は適宜修正した。HIJはマウスをドラッグしてトレースするため可及的にトレース線からずれないようにした。グリッドによるスケールの入力には保存画像にすでにマーキングされている5cm角の正方形をクリックして使用(HIJ, YOSHIGI, ELK), または前述の4点のうち左の上下2点の midpoint から右の上下の2点の midpoint までの長さを5cmとして登録して行った(CATHEX)。ELKでは分割数を任意に設定可能であるが10と設定し、また高さは正面と側面の高いほうまたは平均をとるか選択が可能であるが、後者に設定した。

計算された容積結果は、どのソフトウェアにおいても、Grahamの論文<sup>2)</sup>に基づき、cast studyと造影による計算結果を一致させるための係数0.649を乗じて比較した。なお計測はすべて著者Aにより行い比較した。またYOSHIGIを用いて検者内および検者間誤差についても検討した。

### 3. 統計

計算結果について4ソフトウェアによる各結果群に対しrepeated measures ANOVAにより分散分析を行い、Tukeyの方法により多重比較を行った。また2つのソフトごとの結果の比較には、一次回帰およびpaired t-testを行い、後者により計測結果の差、差の標準誤差、差の95%CI, p値  $p < 0.05$ を有意とした<sup>3)</sup>を示した。またおのおのソフトウェアによる計算結果をYOSHIGIによる計算結果で除した値について検討し、箱ひげ図により示した。検者内および検者間誤差についてはpaired t-testにより平均の差およびその95%CIを計算した。

## 結 果

### 1. 検討1の結果

#### 1) 基本的計算方法

いずれのソフトウェアもトレースを行うと自動的に水平に10分割されるようになっており、レポートまたは別ファイルには上述のX0...X10, およびY0...Y10の各長さ、および正面および側面それぞれより算出した高さが表示される。無作為に抽出した1症例の拡張末期容積について、これらの数字から筆者がGrahamらの論文<sup>2)</sup>に基づいた式により計算した結果(高さは正面と側面の平均値を用いた)と、各ソフトの結果レポートに記される計算結果をTable 1に示した。その結果、HIJ, ELK, CATHEXでは結果は非常に近い数字となった。YOSHIGIでは0.13mlの差がみられたが、これは結果レポートに示されている高さがYOSHIGIでは小数点以下2桁までであり、他のソフトウェアでは3~6桁であることが関係していると思われる。すなわち、YOSHIGIの場合もより細かい数字をコンピュータ内に持っており、その数字をもって計算を行っているのに対し、筆者の検算では小数点3桁以下が四捨五入された数字で計算を行っているためであると思われる。よっていずれもおのおの計測値から容積を計算する過程には基本的に誤りはないと思われる。なお一般に最上部と最下部の横径は接線となるため、通常X0, X10, Y0, Y10は0となるが、HIJ, YOSHIGI, CATHEXでは上記の4値は強制的に0とすることで、加算されないようにプログラムされている。一方ELKでは実数となることもあり、その場合実数として加算されるようになっている。

#### 2) 方法の詳細な部分についての比較検討

オペレーティングシステム: ELK, CATHEXはWindows上でのみ使用可能であるが、YOSHIGIはWindows版とMacintosh版がある。ELKは以前Macintosh版があったとのことであるが、現在は販売中止となっている。いずれもデジタル画像が読み込み可能であり、すべてコンピュータ上で計測が可能である。HIJはBASIC

Table 2 Comparative regression analysis of right ventricular volume calculated by four types of software

Y	X	Slope	Intercept	r	SEE	p
YOSHIGI	ELK	1.02	0.46	0.9997	0.58	<0.0001
HIJ	ELK	1.00	0.03	0.9998	0.46	<0.0001
CATHEX	ELK	0.98	0.74	0.9988	0.74	<0.0001
YOSHIIGI	CATHEX	1.03	-0.26	0.9996	0.69	<0.0001
HIJ	CATHEX	1.01	-0.66	0.9990	1.05	<0.0001
HIJ	YOSHIGI	0.98	-0.41	0.9997	0.53	<0.0001

SEE: standard error of the estimate

で書かれているため、Windows上で直接走らせることはできない。またプロジェクターへの投影画像を紙などにトレースし、それをデジタイザーを用いてコンピュータに取り込む作業がさらに必要となる。また紙をデジタイザーに置くときに、画像の向きが元画像と異ならない(傾かない)よう注意する必要がある。

トレースの方法: HIJはドラッグ、YOSHIGIはクリックによりトレースするが、クリックの間は直線で結合される。CATHEXはそのいずれの方法も選択できる。一方、ELKはクリックによるが、点の間はスプライン曲線により結合される。この場合始点と終点が半月弁の左右のように離れていると、その間も直線ではなくスプライン曲線でつないでトレースが閉じられるようになっている。その結果、実際にトレースした曲線と、ソフトウェアにより曲線的に閉じられたトレース曲線の間にずれが生ずることがあり、注意が必要である。このため始点と終点は非常に近い位置でトレースを終了する必要がある。

またHIJはトレース開始点または終点のより高いほうの点と最下点までの垂直距離を高さとするようになっているため、トレースの開始点または終点は右室の最上部でなければならない。

スケールの使用方法: YOSHIGIはグリッド上、正方形の位置にある4点入力、CATHEXは指定した長さの2点入力、ELK、HIJはそのいずれも選択可能となっている。しかし同じ正方形の4点入力であっても、HIJはその四角形の4辺の長さの平均値を長さとして認識するが、YOSHIGIはその囲む四角形の面積を、指定した面積として取り込み、長さに変換しているとのことである(吉儀先生私信)。ELKはグリッドのゆがみに合わせることも可能な曲線により4点をつなぎ、その面積を指定した面積値として認識しその値を長さに変換しているとのことである。

高さの採用法: 実例では高さはしばしば正面と側

面で異なって計測されてしまう。そこでHIJ、CATHEX、YOSHIGIではその平均値を高さとして採用しているが、ELKは平均「または」より長いほうの「いづれ」が選択可能となっている。

分割数: HIJ、YOSHIGI、CATHEXともに原法に従い10分割となっているが、ELKは10~32の間で自由に選択可能となっている。

## 2. 検討2の結果: 実例の計測による計測結果の比較検討について

対象とした20容積値の範囲はELKによれば最大91.6ml、最小4.2ml、平均30.5mlであった。

4種のソフトウェアによる計測結果はrepeated measures ANOVAによるとYOSHIGIと他の3ソフトウェアとの間に有意差( $p < 0.01$ )のある群間変動を認めた。しかし2ソフトウェアごとに結果を一次回帰した結果はTable 2のごとくで、すべての組み合わせで相関係数は0.999以上と高かった(Fig. 1)。また計算結果の差の絶対値および95%CIはYOSHIGIと他の3ソフトウェアの間で他の3ソフトウェア間よりやや大きいものの、全体としては非常に小さい値であった(Table 3)。各ソフトウェアによる個々の計測結果をYOSHIGIによる計測データで除した値の分布を箱ひげ図として表したものがFig. 2である。平均±標準偏差はHIJ:  $0.963 \pm 0.021$ , ELK:  $0.963 \pm 0.013$ , CATHEX:  $0.977 \pm 0.016$ と、計測結果の比率はいずれもわずかに1より小さいものの1に近く、またそのばらつきも小さいと考えられた。

YOSHIGIを用いて行った検者内誤差および検者間誤差についての検討結果はTable 4に示した。

## 考 案

### 1. 基本的計算方法について

多くの小児循環器関連の施設で採用されている右室容積の正常値に関する論文において、その計測法は、

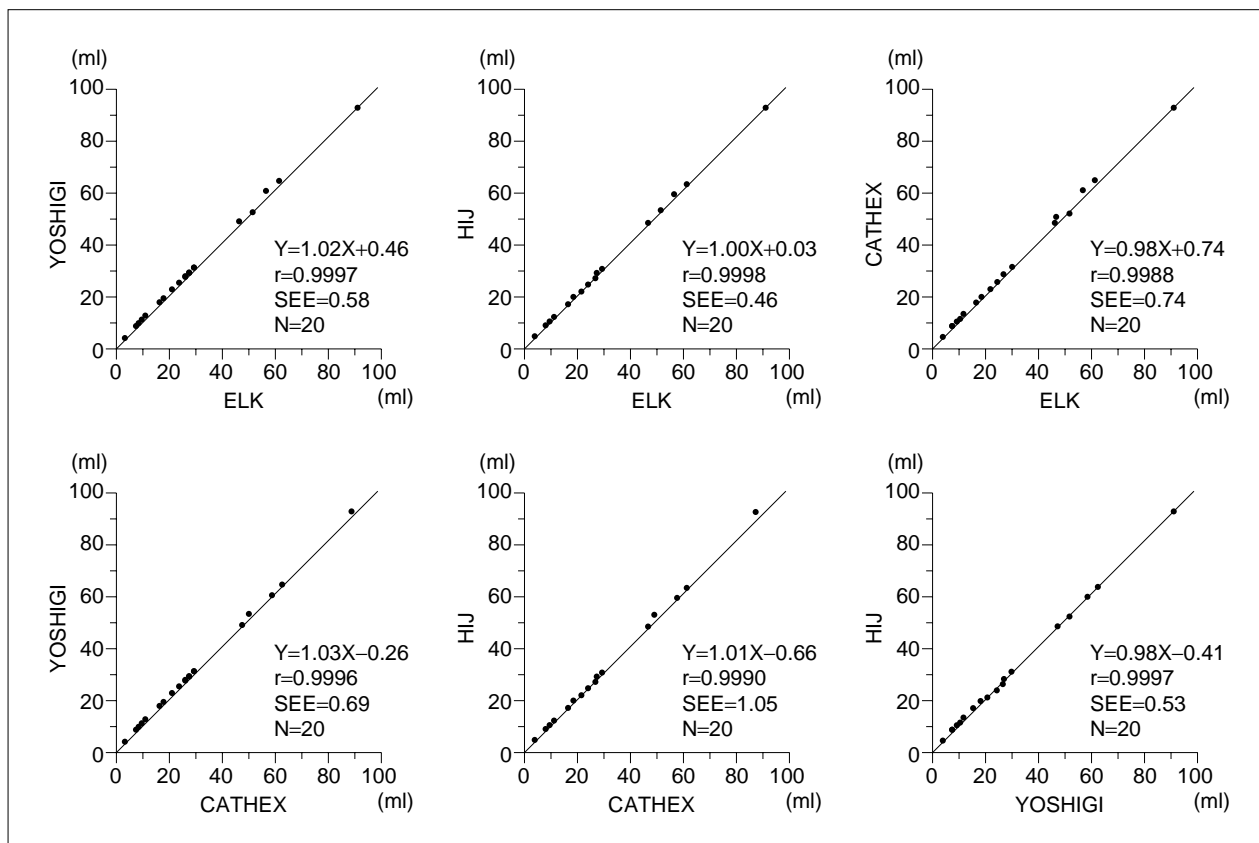


Fig. 1 Comparison of right ventricular volumes calculated by different software.

- A ELK and YOSHIGI.
- B ELK and HIJ.
- C ELK and CATHEX.
- D CATHEX and YOSHIGI.
- E CATHEX and HIJ.
- F YOSHIGI and HIJ.

A	B	C
D	E	F

Table 3 Comparisons of two means (paired t-test)

Software a	b	Differences (a-b)		95% CI		p-value
		Mean	Standard error	Lower	Upper	
YOSHIGI	ELK	0.9685	0.1521	0.65	1.287	<0.0001
HIJ	ELK	-0.028	0.1016	-0.2407	0.1847	0.7859
ELK	CATHEX	-0.2035	0.2561	-0.7396	0.3326	0.4367
YOSHIGI	CATHEX	0.765	0.2240	0.2962	1.234	0.0029
HIJ	CATHEX	-0.2315	0.2386	-0.731	0.268	0.3442
YOSHIGI	HIJ	0.9965	0.1489	0.6848	1.308	<0.0001

CI: confidence interval

(ml)

正側2方向撮像によるSimpson法によるものが多い<sup>1)</sup>。特にNakazawa<sup>3)</sup>, Nakano<sup>4)</sup>, 秋場<sup>6)</sup>論文においてはGraham論文に準拠した方法による計測であると明記されている。以上のことより前記の正常値などを使用して心室機能評価を行う場合、右室容積の計測方法は同論文

に準拠したSimpson法によるのが一つの標準と考えられる。この方法のオリジナルはChapmanらの左室容積計測に関する論文<sup>7)</sup>であると思われるが、分割数を10としたこと、投影方向を正側としたこと、x0, y0, x10, y10の計測値も計算に含めた点がChapmanらの方法と異なっ

Table 4 Inter- and intraobserver differences

	Difference		95% CI	
	Mean	Standard error	Lower	Upper
Interobserver difference	1.135	0.281	0.5469	1.723
intraobserver difference	-0.315	0.1991	-0.7317	0.1017

CI: confidence interval (ml)

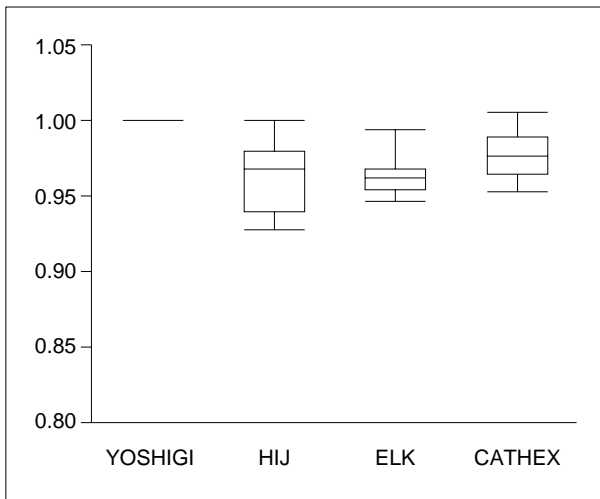


Fig. 2 Right ventricular volume calculated with each kind of software divided by the volume obtained with YOSHIGI software (box and whisker plot).

ている。これらの点を含め、今回右室容積計測用各ソフトウェアの基本的方法を検証した。

その結果、いずれのソフトウェアも水平(横隔膜とほぼ水平な面)に10分割となっており、高さやx0...x10, y0...y10などのレポートに表示された計測値による、筆者の再計算値は、各ソフトウェアにより計算されてくる容積計算値とほぼ等しく、この計算過程には問題ないと思われた。なお通常水平な分割線は最上部と最下部では接線となることから、YOSHIGI, ELK, CATHEXではX0, X10, Y0, Y10の値はChapmanらの方法のごとく常に0となるようプログラムされているが、ELKのみ実数としても計算に入るようになっている。実際には最上部または最下部に完全に水平な部分が、長い範囲にわたり存在するような場合以外、大きな差は生じないと考えられる。

分割数に関してはいずれもGraham論文に準拠し10分割となっており、ELKのみ分割数を変えられるようになっているが、筆者らの別の検討によると右室容積をSimpson積分法により計算した場合、分割数を6分割以上とすると積分法としての誤差はすでに1%以下であ

り、分割数を10以上に増やしても積分としての精度はほとんど変わらない<sup>8)</sup>。そこで分割数は原法や他のソフトとの整合性を考えると10でよいと思われた。

## 2. 方法の詳細な部分についての比較

トレースの方法は、クリックしてその間を直線で結んで多角形とする(polygon)、ドラッグする、クリックした点をスプライン曲線で補完、の3通りがみられた。スプライン曲線で結ぶ方法は比較的思い通りの曲線を描くことが可能であり使用感は良かった。polygonも細かくクリックしていくと十分曲線に追従が可能であった。なおトレースの開始点、終点に関して注意が必要なソフトウェアもみられたが、マニュアルが不備な場合もあり、使用に際して注意を要する。

キャリブレーションの入力方法は非常に重要である。画像のゆがみにより、拡大率は上下方向と左右方向で異なる可能性を考えると、1本の長さでキャリブレーションを行うよりも4点を入力して平均化したほうがより良い方法であると思われる。ただしその4点の入力を長さ値に変換する方法には差がみられたが、いずれがよいのかは不明である。

正面と側面で高さ値が異なる場合の処理は、各ソフトのごとくその平均値をとる方法が妥当と思われる。ELKはより長いほうを使用するように選択することも可能であるが、長いほうを採用する方法には妥当性はないと思われた。

## 3. 実例の計測による計測結果の比較について

今回の比較ではどの2ソフトウェアを比較しても、計算値の相関係数は非常に高く、また4.2~91.6mlまでの広い範囲にわたる計測であることを考慮すると、平均の差、およびその95%CIは非常に小さい値であると考えられた。この結果からは、各ソフトウェアによる計測結果の一致率は非常に高いと理解してよいと思われた。計算された絶対値の比率に関する検討においては、2種のソフトウェアごとの計測結果の一次回帰式の比較から、計測値の絶対値が最も大きい値となると推測されたYOSHIGIのデータを仮の基準として検討を

行った。その結果は同ソフトウェアによる計算結果がやや大きく、他の3種が平均値で2~4%程度それより小さいという結果であった。しかしこの差は、実用上問題ないレベルと考えられた。なおこの差の原因については、トレースされた線から水平線の長さへのコンピュータ上のデジタル変換過程の違いなどが推測されるが、今回の検討ではそこまでの分析はできなかった。

なお検者内および検者間誤差についての検討は、今回YOSHIGIソフトウェアのみしか行えなかった。この結果によりいずれのソフトウェアも再現性が良いと結論づけることはできないが、少なくともクリックして直線で結ぶタイプのトレース法の場合(YOSHIGIとCATHEXがこれに該当する)、トレースによる誤差は少なくデータには再現性があるといえることができる。

#### 4. 日本におけるその他の右室容積計測ソフトウェアについて

今回検討した4ソフトウェア以外には、ピー・エス・ピー社よりCardio Logic RVという右室容積解析ソフトが販売されており、検討させていただいたが、同製品はELKのCAW2000、バージョン1.7.2.16と外見も中身もまったく同じものであった。

### 結 語

右室容積計測における臨床では、トレースそのものの、造影剤の影響、キャリブレーションの方法などによる誤差が大きいと推測される。さらにGraham法自体の抱えるアルゴリズムとしての問題点(断面を楕円と仮定)も大きい。しかしそれらを可能な限り統一したところで、いざ最終的にデータを計算するソフトウェアによる差はいかなるものかという疑問に対し、今回の検討により幸いその差は非常に小さいことが示された。よって今後それ以前の過程についての方法の統一化、ガイドラインの作成などについて検討が必要であると考えられた。

### 付 記

筆者らが本研究を開始した2002年5月において、ELKはバージョン1.7.2.6、CATHEXは1.2.00であった。いずれも基本的な計測方法部分に問題がみられた。すなわち本来は右室トレース像を水平に分割するべきところ、プログラム上トレース開始点から最も遠い点を探し、それを長軸とし、それと垂直な方向に分割を行い横径計測を行っていた。よって画面上斜めに分割されていた。この結果、正面・側面で分割線が対応せず、

Graham論文<sup>2)</sup>で仮定している、径 $X_n$ と $Y_n$ による楕円からなる円柱を仮想したSimpson積分法が成り立たないため、理論的に誤った方法と考えられた。斜めに分割する方法の根拠についてメーカーに問い合わせたところ、いずれのメーカーも論文に基づいた方法ではないとのことであり、左室容積計測用のarea-length法のプログラムを書き換えて作成したために出来上がった(通常area-length法では心尖部または大動脈弁の中央からの最大径を長軸として求めているので、Simpson法でも同じように長軸を求め、それと直行した分割線を作成した)方法のようである。また高さや各 $X_n$ 、 $Y_n$ などの計測値がレポート上に示されなかったため、ユーザーが検算を行えないという不便さもみられた。

筆者らはELK社およびCATHEX社に斜めの分割は理論的誤りであることを指摘し、Graham論文に準拠して分割方向を水平とし、初期設定で分割数を10とすること、また各計測値( $X_n$ 、 $Y_n$ 、高さ)を必要に応じてユーザーが確認できるようにソフトウェアを修正することを提案した。何回かの修正を経て完成したものが本論文において検討に用いたバージョンである。

今回の検討に使用した画像データを、ELKの古いバージョンである1.7.2.6と今回使用した修正後のバージョン1.7.2.16で計算して比較した(Fig. 3A)。前者をY、後者をXとして一次回帰を行ったところ、回帰式は $Y = 0.49X + 1.36$ 、 $R = 0.950$ 、 $SEE = 3.68$ であった。計測値Yの計測値Xに対する比率は0.32~0.78、平均0.56と著しく小さい値となっていた。また計測値の差( $X - Y$ )は平均14.241ml、標準誤差は12.057、95%CIは8.599~19.884であった。このバージョンは分割方向の問題以外にも、個々の長さや高さの計測値から容積を計算する過程にもプログラム上の誤りがあったとメーカーから聞いている。現在のバージョン1.7.2.16ではその計算過程の部分は修正され、分割方向を以前のバージョンのように斜めとした場合の計算値が、あえてMULTISLICEという項目でレポートに表示されるようになっている。しかしこの方法は前述のように方法としての論拠がなく、このMULTISLICEによるデータを臨床で使用する必要性はまったく見当たらない。また上述のように1.7.2.6以前のバージョンは計算過程にも誤りがあったため、この1.7.2.16におけるMULTISLICEとGraham法の計算結果を比較しても、Graham法による正しいデータと古いELKのソフトウェアによるデータを比較することにはならない。

以上のようにELKの1.7.2.6以前のバージョンで計測したデータは極端に小さい値となっているため、過去それを使用して計算されたデータについては、新しい

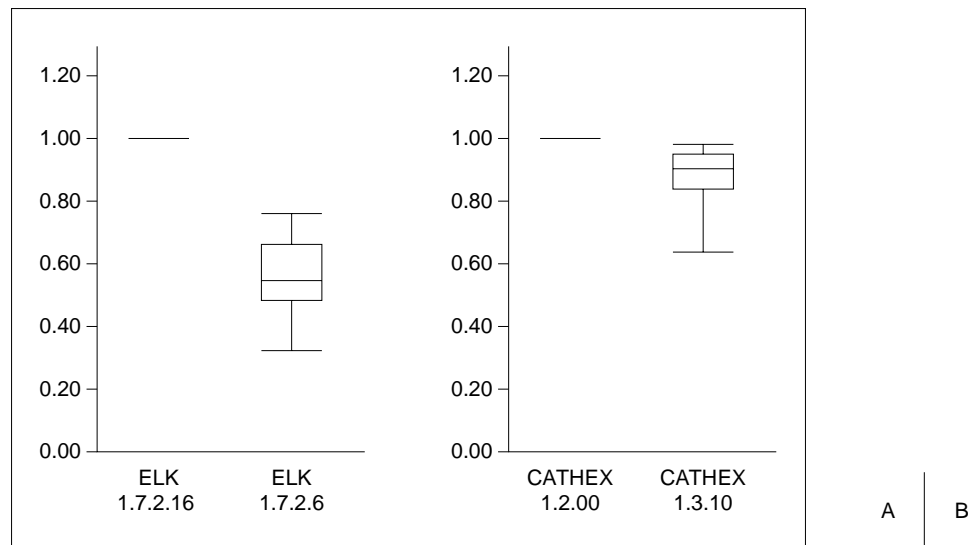


Fig. 3 Comparisons of right ventricular volume calculated with previous and latest versions (see text)(box and whisker plot).

バージョンのGraham法により再度計算し直す(見直す)ことをお勧めする。幸い再トレースの必要はなく、保存してあるファイルを新しいバージョンのソフトウェアで開くだけで正しい数値がレポートに報告される。

またCATHEXのソフトウェアについても同様に、古いバージョン1.2.00と現在の1.3.10の両方で同じトレースを計算し比較した。古いバージョンによる計算値をY, 新しいバージョンによる計算値をXとし一次回帰を行うと $Y = 0.89X + 0.32$ ,  $R = 0.99$ ,  $SEE = 2.343$ となり, 個々の計算値YのXに対する比率は0.63~0.99, 平均0.89であった(Fig. 3B)。すなわちGraham論文に準拠した方法と比較し, 平均で約11%小さい値となった。差 $(Y - X)$ の平均は2.875ml, 標準誤差は0.7252ml, 差の95%CIは1.357~4.393であった。なおこのCATHEXにおける新旧バージョンによる計測比較は同社の湯沢 勝氏に計測を依頼し, 結果を筆者が分析したものである。CATHEXの場合, 再度スケールを入れ直したとのことなので, その関係で誤差が大きくなっている可能性もある。

#### 謝 辞

本稿を終えるにあたり, 多大なご協力をいただいた, ユタ大学小児科 吉儀雅章先生, 株式会社エルクコーポレーション システム開発事業部 池田祐一氏, および株式会社カテックス 湯沢 勝氏に深謝いたします。

#### 【参考文献】

- 1) 清境裕之, 村上智明, 石川司朗, ほか: 小児心臓血管サイズの正常回帰式について 既報論文の集積と各回帰式の比較 . 日小循誌 2003 ; 19 : 421-430
- 2) Graham TP Jr, Jarmakani JM, Atwood GF, et al: Right ventricular volume determinations in children. Normal values and observations with volume or pressure overload. *Circulation* 1973; 47: 144-153
- 3) Nakazawa M, Marks RA, Isabel-Jones J, et al: Right and left ventricular volume characteristics in children with pulmonary stenosis and intact ventricular septum. *Circulation* 1976; 53: 884-890
- 4) Nakano H, Saito A, Ueda K: Biplane cineangiographic estimation of right atrial, right ventricular, left atrial and left ventricular volumes in normal infants and children. *Annals Paediatrici Japonici* 1979; 25: 184-188
- 5) 岸本英文, 広瀬 一, 中埜 肅, ほか: 心血管造影法により計測した左右心室容積ならびに房室弁, 半月弁輪径の正常値について . 心臓 1985 ; 17 : 711-716
- 6) 秋場伴晴, 石原 融, 佐藤哲雄: 小児の左右心室容積特性 冠動脈病変を有しない川崎病既往児における検討 . 日児誌 1983 ; 87 : 1549-1556
- 7) Chapman CB, Baker O, Reynolds J, et al: Use of biplane cinefluorography for measurement of ventricular volume. *Circulation* 1958; 18: 1105-1117
- 8) 清境裕之, 池田弘之, 中島弘道: Simpson法による右室容積計算の誤差についての数学的検討 . 日児誌 2003 ; 107 : 247