

樹脂に限られるため、心臓により近い感触の理想的なレプリカを作るためには、「注型」工程によって任意の樹脂で造形しないとできないことが判明しました。このことを各企業に依頼しましたが、現在共同開発している京都の K 社も含めてすべて断られ、約 2 年間開発が止まりました。

私が大阪に異動してしばらくした 2009 年に京都の K 社の社長が再度訪問し、新しい「真空注型」の技術を紹介してくれました。そしてこの技術を使って CT の画像データから一度心臓レプリカを試作させてほしいという申し出がありました。最初は半信半疑でしたが、正常成人の CT データから心臓モデルを作成依頼したところ、本来の心臓とは程遠いとはいえ、心臓の内部構造がある程度再現できたものが出来上がり、これなら改良すれば何とかなるという感触を得ることができました。その後は 3 次元画像処理および造形注型での試行錯誤を繰り返し、また技術開発のための公的補助金の獲得にも成功し、3 年後の 2012 年には超軟質精密心臓レプリカを世に出すレベルにまで到達しました。CT 装置に時間分解能の限界（約 100msec）があるため、動きが速い弁や腱索などの構造を忠実に再現することはできませんが、心臓外部の構造や大血管だけでなく、内部構造や欠損孔の位置と大きさなど、新生児乳児においても再現できるレベルになりました。そのような中、K 社は 2013 年秋に政府主催の「第 5 回ものづくり日本大賞内閣総理大臣賞」を受賞し、心臓レプリカは社会的にも注目され実用化に向けて大きく前進するようになりました。現在では迅速化と低コスト化を目指した技術開発と保険収載を視野に入れた対策を進めています。将来はこの技術を発展させ、外科手術シミュレーション、患者の病態に応じた手術法の選択と新しい手術手技の開発、カテーテル治療やロボット手術の練習用シミュレーター、医学教育、患者説明ツールなどの応用を予定しています（図）。



図：筆者（左）および小児心臓外科市川肇部長（右）

毎日新聞 2013.12.4 記事「医工連携:3D 心臓で手術予習「精密模型」で救え、子どもの命」より承諾を得て転載

昨今の 3D printer の普及と相まって各種コンピューターシミュレーションおよび臓器レプリカの開発も各方面で進んできました。これらの患者個別化医療の技術が更に進んで、どこの病院でも日常診療で安心して簡単に使える日が一日でも早く来るよう、私たちがさらに努力を続けたいと思っています。

#### おわりに

最初にお話しした無脾症のお子さんですが、次の手術を待機するさなか、3歳時に自宅で容態が急変し、大学病院に搬送されましたが救命できませんでした。病理解剖が終わってお別れする際、お母様が「先生、これからもがんばって、この子のような重い心臓病のこどもが当たり前のように助かる時代を築いてください」、と言われた言葉が今でも耳からは離れません。最近になり右側相同を含む内臓錯位の診断および外科治療法が確立し、多くの子供たちが救命されるようになりましたが、同時に長期生存で様々な問題が発生することも明らかになり、手術法の改良など解決すべき課題は山積しています。心臓レプリカプロジェクトは技術的にも社会的にもまだまだ道半ばですが、今後も目的とゴールをしっかりと見据えて研究を行うことが必要だと考えています。


## A Novel 4-D Image Reconstruction of Congenital Heart Disease Using Non-rigid Registration Technique of MSCT Images

**Isao Shiraishi,!**

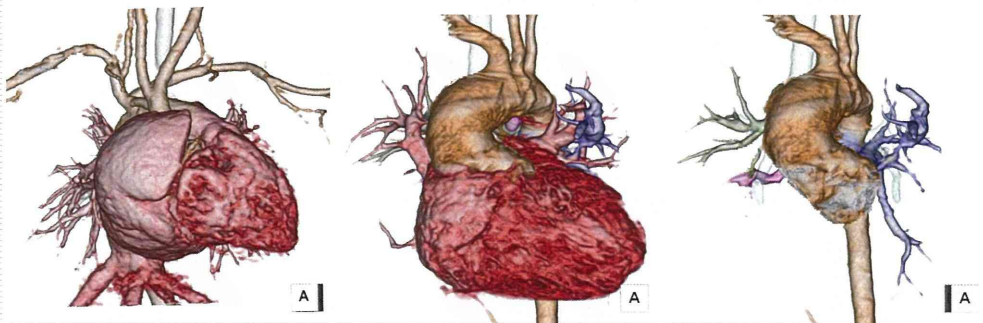
**Kenichi Kurosaki, Suzu Kanzaki, Hajime Ichikawa.!**


Department of Pediatric Cardiology, !  
Pediatric Cardiac Surgery, Radiology.!  
National Cerebral and Cardiovascular Center!  
5-7-1 Fujishirodai, Suita, Osaka, JAPAN 565-8565!




 National Cerebral and Cardiovascular Center

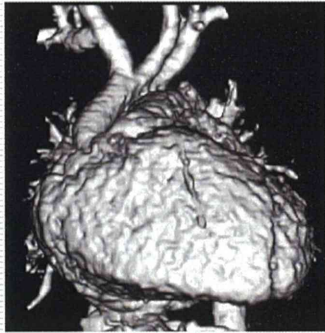
## Three-dimensional Image Reconstruction of MSCT ! in Congenital Heart Disease



 Three-dimensional image reconstruction of MSCT images have allow us to visualize clear and realistic anatomical views of congenital heart disease.

 National Cerebral and Cardiovascular Center

## A Conventional 4D Reconstruction with MSCT ! in Congenital Heart Disease (10 phases/heart beat)

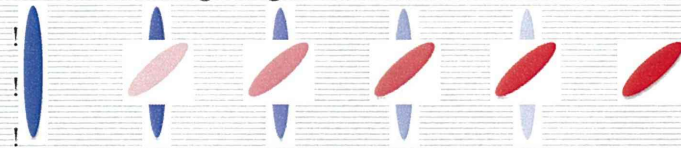


We need clear images for,  
1. 4D MSCT angiography!  
2. cardiac functions!  
3. heart replicas...!

- ✍ In children with CHD, the heart beat is pretty fast and noise of the images is always problematic in 4D reconstruction.!
- ✍ A new method for getting clear 4D images is necessary particularly in children with complex congenital heart disease.. !

## Principles of the Non-rigid Registration ! Image Reconstruction Technique

Conventional rigid registration!

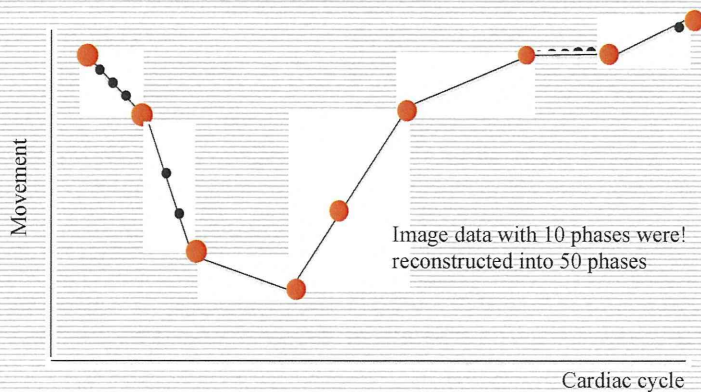


Non-rigid registration algorithm (Physiodynamics, ZioSoft)




- ✍ We assessed whether a new image reconstruction technology utilizing non-rigid registration with supercomputing algorithm reproduces clear 4-D image in children with CHD. !

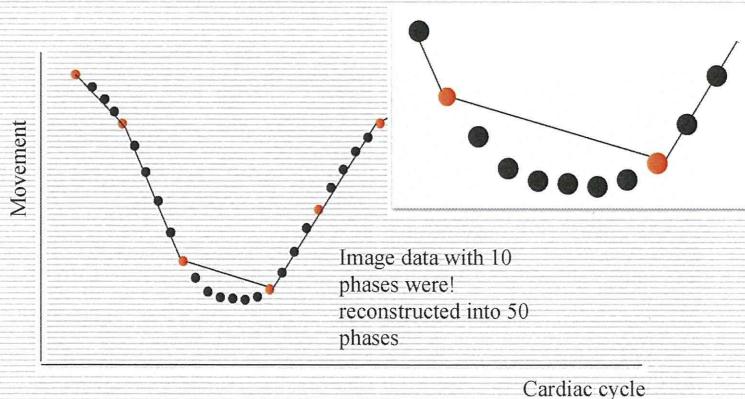
## A Conventional Rigid Registration ! Image Reconstruction




- ✎ Supplementation of the data was performed in a linear manner.!
- ✎ Consequently, images do not look like continuous manner.

 National Cerebral and Cardiovascular Center

## A New Non-rigid Registration Image Reconstruction

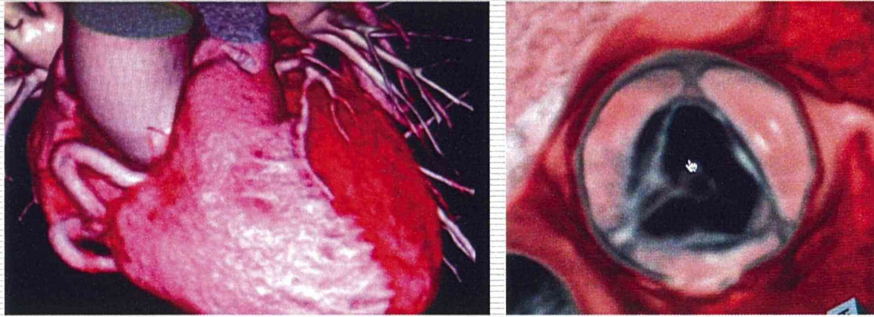


- ✎ Supplementation of the data was performed in a continuous manner.!
- ✎ Consequently, images look like smooth.


 National Cerebral and Cardiovascular Center

## Non-rigid Registration Image Reconstruction ! in Adult Cases !

Images released from ZioSoft Inc.



- ✍ Smooth, continuous and low noise images can be reconstructed.!
- ✍ Even the valve leaflets can be reproduced in the 4D CT angiography.

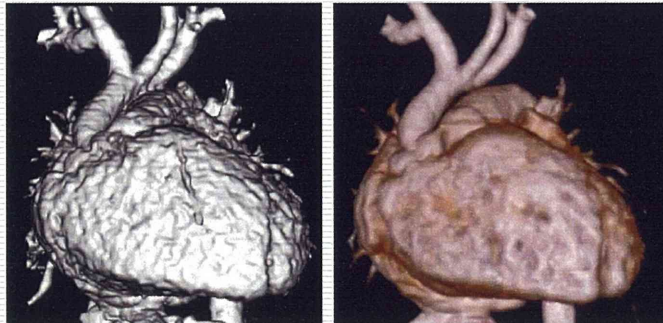
 National Cerebral and Cardiovascular Center

## Non-rigid Registration Image Reconstruction! in a Neonate !


Interrupted Aortic Arch (day 5)

Conventional Registration

Non-rigid Registration



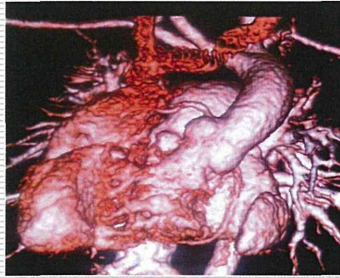
- ✍ The standard 10-phase/heartbeat cardiac CT study was converted into 80- to 100-phase (total 5,240 to 14,290) images using the non-rigid registration algorithm (Phyziodynamics).

 National Cerebral and Cardiovascular Center

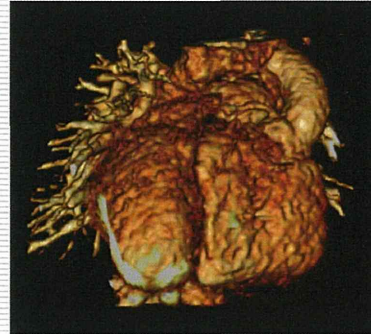
## Non-rigid Registration Image Reconstruction! in Congenital Heart Disease: #2 !

Congenitally corrected transposition of the Great Arteries (6m)


MSCT VR image



Non-rigid Registration



In a 6-month-old infant, image reconstruction was similar to that of neonate.

 National Cerebral and Cardiovascular Center

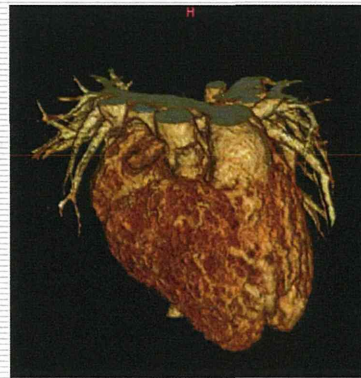
## Non-rigid Registration Image Reconstruction! in A Small Child!

DORV Non-committed VSD (2y)


Conventional Registration



Non-rigid Registration



In a 2-year-old child, image reconstruction was pretty satisfactory and similar to adults.

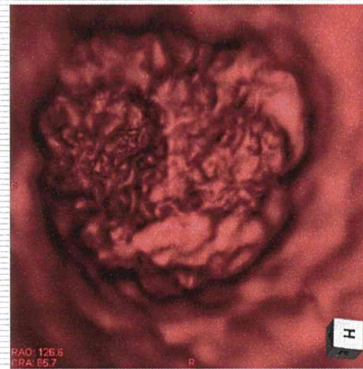
 National Cerebral and Cardiovascular Center

## Non-rigid Registration Image Reconstruction: ! Virtual Endoscopy!

**DORV (2y) RV Outflow Tract**

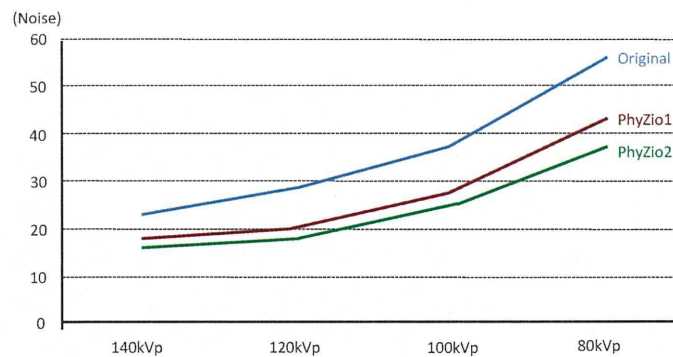


**DORV (2y) PA Valve**



- ✍ Virtual endoscopy with non-rigid registration is feasible in children.!
- ✍ Valve tissues are difficult to reproduce probably because those in children are thinner than adults.

## Noise Reduction in Non-rigid Registration! (data from ZioSoft Inc.)!

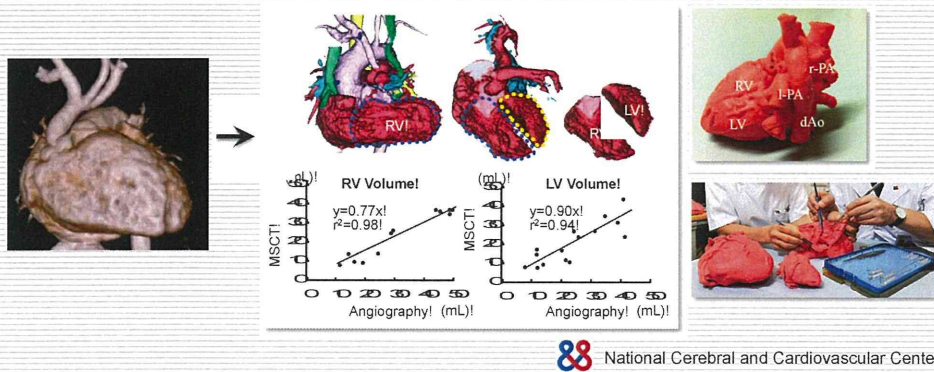



- ✍ PhyZio1 data were generated from 1 neighbor sets and noise reduction of 0.3.
- ✍ PhyZio2 data were generated from 2 neighbor sets and noise reduction of 0.3.
- ✍ Data show 23% and 32 % reduction noise in noise respectively at 80kVp.



## Possible Applications of Non-rigid Registration ! Image Reconstruction!


1. Getting clearer images in volume rendering!
2. Evaluation of cardiac functions in MSCT!
3. Less invasive 4D MSCT angiography instead of catheter-based angiography!
4. Reducing radiation exposure particularly for children!
5. Producing heart replicas for simulation!
6. Precise understanding of anatomy in CHD for surgical operation



 National Cerebral and Cardiovascular Center

## Conclusions!

1. We have preliminary performed a now non-rigid registration 4D image reconstruction technique to see whether this technique works for children with congenital heart disease.!
2. After the NRR, MSCT 10 phase images were reconstructed into 50 to 100 phases (5,120 to 14,290) images.!
3. This technique allows visualization of the heart with smooth, continuous, and less noise, and this technique also allows visualization of inner structures of the heart with virtual endoscopy technique.!
4. The limitation of this technique for children with CHD is a difficulty in visualization of valve movement.!
5. Further improvement in image reconstruction technique is necessary to visualize the fine structures of the heart such as valves in children with congenital heart disease.!

 National Cerebral and Cardiovascular Center

本報告書は、厚生労働省の平成26年度厚生労働科学研究委託事業  
（医療機器開発推進研究事業による委託業務として、  
独立行政法人国立循環器病研究センターが実施した  
平成26年度「超軟質精密心臓レプリカの作成による心臓外科手術トレーニング  
と個別化医療の確立に向けた研究」の成果を取りまとめたものです。

