

少数方向の投影データを用いた4次元の脳血管画像の再構成の試み(JAMITセッション)

KUNIEDA, Etsuo / 高橋, 元気 / 乳井, 嘉之 / 尾川, 浩一 / 国枝, 悦夫 / TAKAHASHI, Genki / NYUI, Yoshiyuki / OGAWA, Koichi / KAWAGUCHI, Osamu

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会技術研究報告. MI, 医用画像

(号 / Number)

509

(開始ページ / Start Page)

25

(終了ページ / End Page)

28

(発行年 / Year)

2007-01-19

少数方向の投影データを用いた4次元の脳血管画像の再構成の試み

高橋 元気[†] 乳井 嘉之[†] 尾川 浩一^{†‡} 川口 修[‡] 国枝 悦夫[‡]

[†] 法政大学工学部 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

[‡] 慶應義塾大学医学部放射線科 〒160-8582 東京都新宿区信濃町 35

E-mail: [†] genki@ip.k.hosei.ac.jp, ^{†‡} ogawa@k.hosei.ac.jp

あらまし 脳動静脈奇形は非常に複雑な形状をしているので、血流動態によって奇形の位置を正確に把握したい。脳血管の3次元映像化をX線で行う場合、比較的狭い範囲について可能であるが、造影剤の動態を4次元的に再構成するため被ばく量が增大してしまうという問題がある。本研究では、特定の方向について得られたアンジオ画像を用いて血管の3次元映像を再構成する試みを行った。この方法により、患者に対する被ばくを軽減したまま、脳動静脈奇形の部位を正確に取得することができるようになった。

キーワード 脳動静脈奇形, 画像再構成, 血管造影

A trial on a 4-dimensional cerebral angiography with a small number of projection data

Genki TAKAHASHI[†] Yoshiyuki NYUI[†] Koichi OGAWA^{†‡}

Osamu KAWAGUCHI[‡] Etsuo KUNIEDA[‡]

[†] Faculty of Engineering, Hosei University 3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8584 Japan

[‡] School of Med., Keio University 35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8582 Japan

E-mail: [†] genki@ip.k.hosei.ac.jp, ^{†‡} ogawa@k.hosei.ac.jp

Abstract In the arteriovenous malformation (AVM), it is very important to decide the targeted region accurately in the radiosurgery. In order to clarify its region we proposed a new method with a conventional angiography equipment. This method uses cine angiographic data measured at several angles, and reconstructs a four dimensional image with these projection data. In this paper we proposed this new method and showed the validity of this method with some simulations and basic experiments.

Keyword Arteriovenous malformation, Image reconstruction, Angiographic image

1. はじめに

脳動静脈奇形(arteriovenous malformation:AVM)は、動脈と静脈が毛細血管を介さず直接つながっている奇形である。一般に胎児の時期に、血管は動脈・毛細血管・静脈に分かれるが、AVMはこの時期に発生する先天性異常である。AVMでは動脈と静脈が直接つながっているため、奇形部分では血液が異常に速く流れ、正常な血管と比べて壁が薄く、破れやすい。血管が破れると脳出血やクモ膜下出血を生じ、そのために死亡したり、重い後遺症を残すことがある。

従来、脳血管の3次元映像化はX線CTで行われてきたが、AVMは非常に複雑な形状をしており、この放

射線治療のためには正確な形状を把握しなければならない。この際、血流動態を用いることで正確な位置を把握できる可能性がある。X線CTを用いる場合、体軸方向の比較的狭い範囲において、空間分解能の高い画像を得ることが可能である。このため、広範囲にわたる造影剤の動態を4次元的に再構成することは困難である。そこで、本研究では特定の方向について得られたアンジオ画像を用いて血管の4次元映像を再構成する試みを行った。アンジオ画像を用いることで、患者に対する被ばくを軽減したまま、AVMの部位を正確に取得し、空間分解能・時間分解能共に優れた病巣部の3次元映像を再構成することができる。

2. 提案手法

提案手法では、血管の走行を高い分解能で正確に捉えることができるアンジオ画像を投影データとして用いる。放射線による被ばくや造影剤を投与することによる患者の負担を考慮すると、多方向から撮影を行うことは困難である。そこで、投影方向数を6方向程度に限定し、アンジオ画像のみを用いて再構成を行うこととした。Fig.1は角度 θ 、時間 $t=0\sim T$ で撮影されたアンジオ画像を用いて、ある位相 t での3次元画像を再構成するシステムの概略図である。

画像再構成法としては解析的手法と逐次近似的手法が考えられるが、投影方向数に制限があるため、現在CTの再構成アルゴリズムとして主流になっている解析的手法を使用することができない。そこで逐次近似的手法を用いて再構成を行った。逐次近似的手法は投影方向数に制限がある場合にも比較的良好な画像を再構成することが可能である。

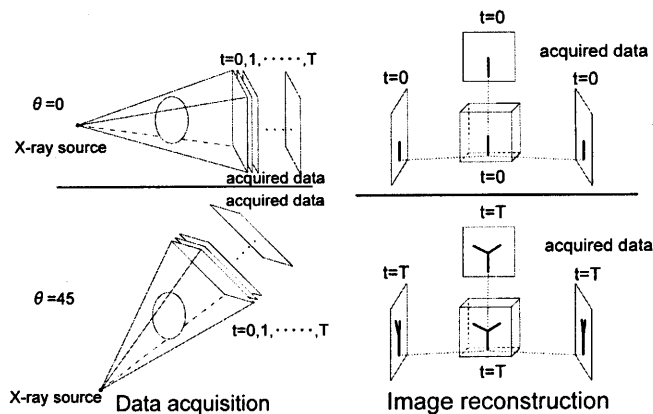


Fig.1 提案システム

3. 再構成法

今回使用する再構成法は以下の2つである。

まず1つ目の手法はMeiha Liらが提案する手法[1](以下、手法1)である。 $i(i=1,2,\dots,m)$ を検出器番号、

$j(j=1,2,\dots,n)$ を画素番号とすると、再構成画像

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ は、解 $\mathbf{t} = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ を用いて、

$\mathbf{x} = \mathbf{g}'(\mathbf{t}) = \frac{d\mathbf{g}(\mathbf{t})}{d\mathbf{t}}$ で求めることができる。ここで、関数 $\mathbf{g}(t)$ は、次のようである。

$$\mathbf{g}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t^q/q & 0 \leq t \leq 1 \\ t - 1/p & t > 1 \end{cases} \quad (1)$$

また、パラメータを $p \approx 1.1, q = p/(p-1)$ とする。

反復回数を $k(k=1,2,\dots,K)$ 、 i 番目の検出器による

解を $\mathbf{v}^{(i)} = (v_1, v_2, \dots, v_n)^{(i)}$ 、 $\mathbf{t} = \mathbf{u}^{(k)} = (u_1, u_2, \dots, u_n)^{(k)}$

としたとき、 $\mathbf{u}^{(k)}$ は以下の式を反復することによって求める。

$$\mathbf{v}^{(i)} = \mathbf{u}^{(k)} \quad (2)$$

$$\mathbf{v}^{(i+1)} = \mathbf{v}^{(i)} + \beta \frac{b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} g'(v_j^{(i)})}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2 g''(v_j^{(i)})} \quad (3)$$

$$\mathbf{u}^{(k+1)} = \mathbf{v}^{(m+1)} \quad (4)$$

ここで、 b_i は投影データ、 a_{ij} は重み係数、 β は緩和パラメータとする。また、(2)式の分母がある任意の値MINより小さい場合、分母の値をMINに置き換える。

2つ目の手法としてML-EM法[2](以下、手法2)を用いた。

4. 実験

4.1. 撮影条件

今回の実験では以下のTable.2のような条件の下で撮影を行った。

Table.2 撮影条件

撮影機器	Innova 3100 : GE Healthcare
撮影画像サイズ	750×750 pixels
撮影方向数	19方向
1秒あたりの撮影枚数	7.5f/sec
投影角	LAO90°～RAO90°
造影剤	1cc
水	5cc
注入速度	0.7cc/sec
Source-Detector間距離	100cm
Source-Object間距離	73cm

撮影装置はInnova 3100を使用し、LAO90°からRAO90°まで10°おきに撮影した全19方向のアンジオ画像を撮影した。

実験装置はFig.2のように、チューブに造影剤1ccを注入し、その後水5ccを0.7cc/secの速さで注入し、ファントムに造影剤が流れている時間的な変化を撮影

した。

また、今回使用したファントムは Fig.3、Fig.4 の 2 種類である。Fig.3 の Phantom1 は容器には何も入れず、その中に円筒にチューブを巻きつけたファントムである。一方 Fig.4 の Phantom2 は外側の容器と球形の容器に水を入れ、球形の容器の中にチューブを脳の血管を模して入れたファントムである。

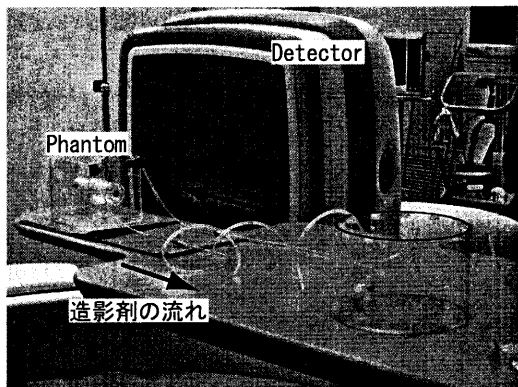


Fig.2 実験装置

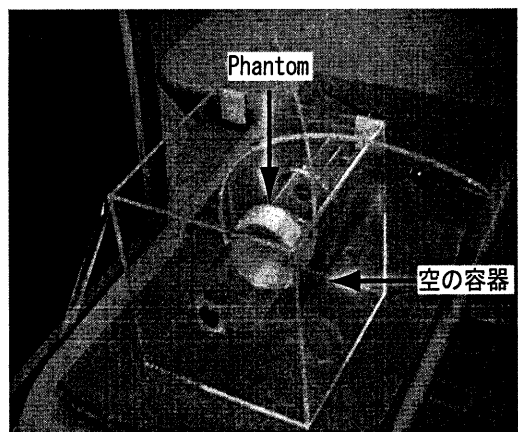


Fig.3 Phantom1



Fig.4 Phantom2

4.2. 収集データ

RAO90°の時の撮影データを Fig.6 に示す。左側が Phantom1、右側が Phantom2 で、上から 25、30、35 フレーム目の撮影データとなっている。

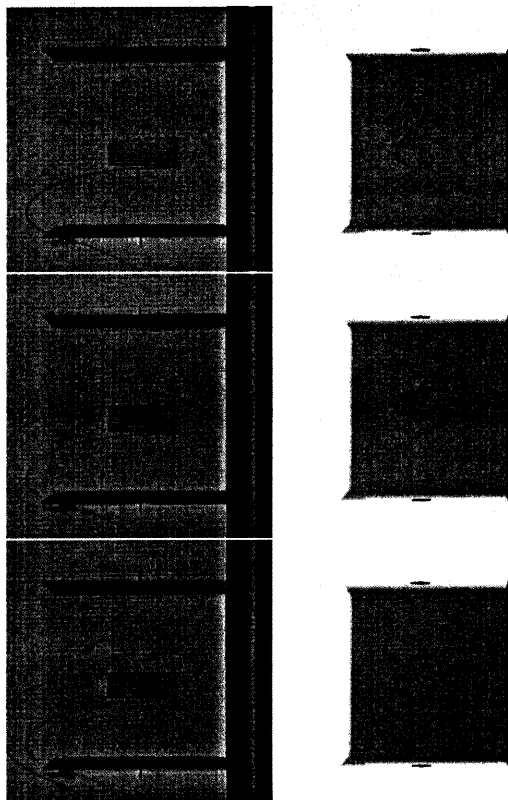


Fig.5 撮影画像(左:Phantom1 右:Phantom2)
上から 25、30、35 フレーム目

25 フレーム目のデータはファントムの中央あたりまで造影剤が流れた画像であり、30 フレーム目のデータは全体に造影剤が流れている状態、35 フレーム目は造影剤が流れ終わり、水に変わっていている状態である。35 フレーム目では、造影剤がまだチューブの内部に残り、徐々に水によって洗い流されていくため若干全体に造影剤が残っている。

4.3. 実験結果

4.2 節で示した 25、30、35 フレーム目のそれぞれにおいて、2 つの手法を用いて再構成を行った。ここでは撮影時のデータサイズを 512×512 に変更し、19 投影の中から 30°ごとに 6 投影を選んで投影データとして用いた。手法 1 は反復回数 10 回目、手法 2 は反復回数 30 回目とした。また、再構成に必要なファントム部分のみを取り出し、他の部分は 0 とする処理を行った。

再構成手法 1 における結果を Fig.6 に、手法 2 における結果を Fig.7 に示す。手法 1 における β と MIN の値はシミュレーションのときに求めた適切な値の β

=1, MIN=32 を用いた。また、Phantom2 における水による吸収の影響を低減するために撮影データに閾値処理を施した再構成結果を Fig.8 に示す。

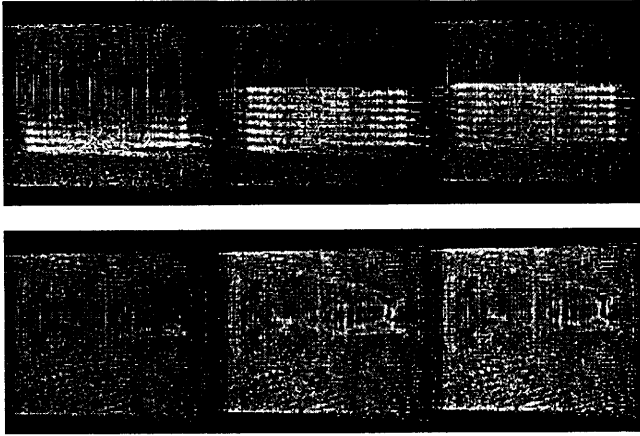


Fig.6 手法1での再構成結果(上:Phantom1 下:Phantom2)
左から 25、30、35 フレーム目

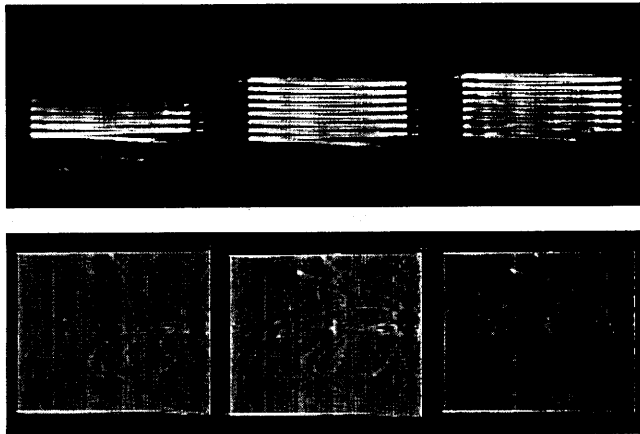


Fig.7 手法2での再構成結果(上:Phantom1 下:Phantom2)
左から 25、30、35 フレーム目

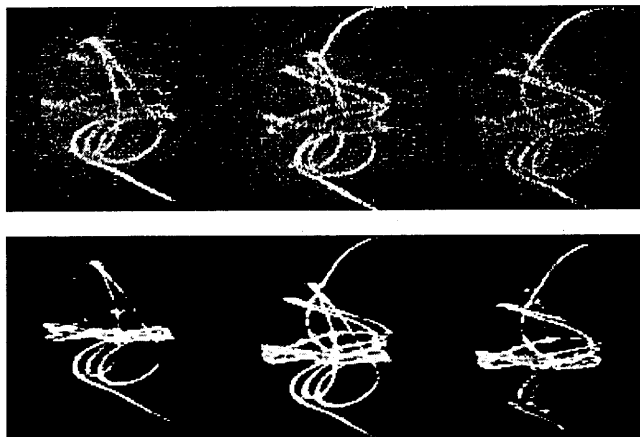


Fig.8 閾値処理後の Phantom2 の結果(上:手法1 下:手法2)
左から 25、30、35 フレーム目

5. 考察

投影データとしてアンジオ画像を用い、逐次近似的な再構成手法を用いることで、特定の位相ごとに3次元画像を再構成することができた。しかし、再構成画像は、アーチファクトにより造影剤の動態を確認することが困難なものもあった。この原因として、アンジオ装置は本来、3次元画像を再構成することを目的としていないため、データ収集時の回転中心軸が一定でないことが考えられる。この影響を低減するために本研究では、中心となる目印を置き補正を行っているが、完全に補正することは難しいため、再構成結果にアーチファクトが残ってしまった。また、Phantom2 は水で満たされているため、閾値処理前の再構成結果は水による吸収の影響によって造影剤の流れているチューブが確認しづらい。

手法1と手法2を比べると、手法1のほうがアーチファクトが多く、手法2のほうが比較的良質な再構成画像が得られた。これについては、手法1は各投影データを1方向ずつ用いて再構成するのに対し、手法2は全投影データを一度に用いて再構成するためと考えられる。しかし、1回の反復計算に必要な時間は手法1は手法2の約1/2しかかからない。また、十分良質な再構成画像が得られる反復計算回数は手法1は10回で十分なのに対し、手法2は30回以上必要のため、手法1のアーチファクトの低減、もしくは、手法2の高速化が今後の課題となる。

6. まとめ

本研究では、血管造影画像を用い、4次元的に画像再構成することを試みた。実験結果では、特定の時間における比較的良質な再構成画像を得ることができた。

今後は臨床データに適用して有効性を検討していく予定である。

文 献

- [1] Meihua Li, Haiquan Yang and Hiroyuki Kudo, "An accurate iterative reconstruction algorithm for sparse objects: application to 3D blood vessel reconstruction from a limited number of projections", Phys. Med. Biol. 47, pp.2599-2609, 2002.
- [2] Kenneth Lange and Richard Carson: "EM Reconstruction Algorithms for Emission and Transmission Tomography": Journal of Computer Assisted Tomography the, 8(2), pp.306-316, April 1984.