

タイトルページ

1 ) 論文種別

原著

2 ) 論文タイトル

硬膜動静脈瘻に対する cone-beam CT, 3D roadmap 機能を活用した  
経静脈的塞栓術

3 ) 全員の著者名

津本 智幸、鶴崎 雄一郎、徳永 聰

4 ) 著者全員の所属施設・部署

九州医療センター 脳血管内治療科

5 ) 連絡著者の氏名・連絡先

津本智幸

〒 810-8563

福岡市中央区地行浜 1 - 8 - 1

TEL: 092-852-0700 / FAX: 092-847-8802

[tsumoto1029@gmail.com](mailto:tsumoto1029@gmail.com)

6 ) キーワード

dural arteriovenous fistula

transvenous embolization

cone-beam CT

3D roadmap

7) 本論文を、日本脳神経血管内治療学会 機関誌「JNET Journal of Neuroendovascular Therapy」に投稿するにあたり、筆頭著者、共著者によって、国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないことを誓約致します。

1 硬膜動静脈瘻に対する cone-beam CT, 3D roadmap 機能を活用した  
2 経静脈的塞栓術

3

4

5 和文要旨

6 目的

7 硬膜動静脈瘻に対する経静脈的塞栓術を確実に施行するための重  
8 要なポイントは、シャントポイントの把握とシャントポイントへの  
9 カテーテルの正確な誘導であると考える。今回、cone-beam CT, 3D  
10 roadmap 機能を活用した経静脈的塞栓術を行ったので有効性、問題  
11 点を報告する。

12 対象と方法

13 硬膜動静脈瘻に対する 8 症例 12 手技の経静脈的塞栓術において、  
14 術中に希釈造影剤を用いて cone-beam CT を撮影してシャントポイ  
15 ントを同定し、3D roadmap 機能を用いてマイクロカテーテルを誘  
16 導した。シャントポイントが限局している症例ではシャントポイ  
17 ントのみを塞栓した。

18 結果

19 同手法を用い、全症例で cone-beam CT からシャントポイントの  
20 同定を行え、8 例中 3 例は限局したシャントポイントであることが  
21 明確となった。8 症例中 6 症例で術中 3D roadmap 機能を使用して  
22 シャントポイントにアプローチした。6 症例中 4 症例では罹患静脈  
23 洞を、2 症例では骨の 3 次元画像を透視画像に投影させた。12 手技  
24 は合併症なく、手技時間は平均 300 分、造影剤使用量は平均 203.9ml、

1 放射線量は平均 3133mGy であった。

## 2 結論

3 希釈造影剤を用いた cone-beam CT により、シャントポイントの  
4 同定が容易になり、3D roadmap 機能を活用することにより、造影  
5 剤の使用量制限、被爆軽減につながったと考えた。またマイクロカ  
6 テーテルのシャントポイントへの誘導の確認が容易となった。

7

## 8 緒言

9 硬膜動静脈瘻 (dural arteriovenous fistula; dural AVF) に対する  
10 経静脈的塞栓術 (transvenous embolization; TVE) を確実に施  
11 行するための重要なポイントは、「シャントポイントの把握」と「シ  
12 ャントポイントへのカテーテルの正確な誘導」であると考える。こ  
13 れらを実現するため、最新の血管撮影装置の技術進歩、特に  
14 Cone-beam CT, 3D roadmap 機能などが有用と考える。

15 Cone-beam CT は、C アームの回転撮影によって得られる CT like  
16 image であり、シャントポイントの同定には空間分解能に優れてい  
17 る High Resolution cone beam CT が有用である。3D roadmap 機能  
18 は、作成した 3D Rotation angiography などの 3 次元画像を透視画  
19 像に投影させる機能である。従来の撮影した 2 次元 DSA 画像を投  
20 影した roadmap では透視方向を変えるごとに DSA を撮影し直す必  
21 要があった。3D roadmap 機能は、透視方向を変えた場合も 3 次元  
22 投影画像が C-arm の変化に追従して移動するため、DSA 画像の撮  
23 影し直しが不要であり、放射線量、造影剤量を制限できる。

24 今回、当科で行った dural AVF における TVE 症例においてこれ

1 ら機能の有効性、問題点を検討する。

2

### 3 対象と方法

4 2014年1月から2015年6月までに経験した8例のdural AVF症  
5 例のうち、12手技にTVEを施行した。血管撮影装置は、Allura  
6 Clarity FD20/20 (Philips Medical systems, Best, The  
7 Netherlands)を用い、術中にhigh resolution Xper CT (HRCT),  
8 Dynamic 3D roadmap機能(Philips Medical systems)を用いながら  
9 TVEを行った。

10 標準手技として第一にシャントポイントの把握を行うための造影  
11 を行う。最もdural AVFの動静脈シャントが描出される血管にカテ  
12 テルを留置し、3倍に希釀した造影剤を2ml/secの速度で22秒間  
13 持続注入しながらHRCTを撮影した。撮影条件はframe rate: 30  
14 frame/second, Scan time: 20 second, Images: 620 images, Inch  
15 size: 8 inchとした。得られた元データを3Dワークステーション  
16 (XtraVision (Philips Medical systems))に転送し、Xper CT  
17 software (Philips Medical Systems)で3次元再構成を行い、  
18 maximum intensity projection (MIP)画像でシャントポイントを同  
19 定した。シャントポイントは動脈内の造影剤の濃淡が変わる部位と  
20 した。

21 第二にTVEのアプローチルートを透視画像上に描出するための造  
22 影を行う。3D rotation angiographyを同じカテルから撮影した。  
23 原液造影剤を血管径に応じて、1.5-3ml/secの速度で5秒間持続注  
24 入しながら撮影した。条件はframe rate: 30 frame/second, Scan

1 time: 4 second, Images: 120 images, Inch size: 13 inch とした。  
2 dural AVF の罹患静脈洞が最も描出されるように通常の血管撮影で  
3 罹患静脈洞が描出されるタイミングを確認し、それを参考に 2-4 sec  
4 の delay time で撮影した。前述と同様に 3 次元再構成を行い、  
5 XtraVision 上で 3D Roadmap 機能を用いて透視画像に投影した。  
6 3D Roadmap 機能で投影する画像は基本的には罹患静脈洞とした。  
7 一方、海綿静脈洞部 dural AVF の 2 手技では、inferior petrosal  
8 sinus (IPS) 経由での治療を企図していたが、アプローチに用いる  
9 IPS が閉塞していた。そこで骨条件の Xper CT 画像を 3 次元再構成  
10 し、jugular foramen, petro-occipital fissure が明瞭に描出され  
11 るようにコントラストを調整し、透視画像に投影した。これらの  
12 landmark を jugular bulb, IPS の目印にしてマイクロカテーテルを  
13 誘導した。

14 シヤントポイントへマイクロカテーテル到達後は、再度 3 倍希釈  
15 造影下での HRCT を撮影し、シヤントポイント近傍にカテーテルが  
16 誘導できているかを確認した。その後、シヤントが限局している症  
17 例では、可能な限りシヤントのみの塞栓 (target embolization) を行  
18 った。

19

## 20 結果

21 8 症例、12 手技の詳細を表 1 に示す。4 手技は全身麻酔で、8 手  
22 技は局所麻酔で TVE を行った。術中、栄養血管から造影しながら  
23 HRCT を撮影し、全症例においてシヤントポイントを同定できた。8  
24 症例中 5 例でシヤントポイントは罹患静脈洞の広い範囲 (diffuse) に

1 及んでおり、3例でシャントポイントは限局(localized)していた。  
2 6症例で術中3D roadmap機能を使用してシャントポイントにア  
3 プローチした。6症例中4症例では罹患静脈洞を、2症例では骨の3  
4 次元画像を透視画像に投影させた。6症例すべてにおいて、透視方  
5 向の変更に応じて3次元画像も自動的に追従した。また局所麻酔で  
6 手技を行った症例では、体動による画像のずれも自動補正されてい  
7 たため、撮影回数は大幅に削減できた。塞栓に関しては、シャント  
8 ポイントが限局していた3例では、罹患静脈洞をすべて塞栓するこ  
9 となく、限局的に塞栓が可能であった。

10 12手技における手技時間は平均300分、造影剤使用量は平均  
11 203.9ml、放射線量は平均3133mGyであった。代表症例2例を提示  
12 する。

13

14 代表症例1

15 症例 58才男性

16 約1ヶ月前から左眼の充血が出現、近位眼科で治療を受けるも改  
17 善せず、近位脳神経外科でMRIを撮影し、左上眼静脈の拡張を指摘  
18 され、当科紹介となった。血管撮影では、右内頸動脈の  
19 meningohypophygeal trunk、左外頸動脈のmiddle meningeal  
20 artery, accessory meningeal artery, artery of foramen rotundum  
21 から、左海綿静脈洞に流入するdural AVFを認めた。流出血管は左  
22 海綿静脈洞から前方に向かう左superior ophthalmic veinのみで  
23 あり、両側のIPSへの流出はなかった(Figure 1A)。

24 左内頸静脈に6F shuttle sheath(COOK MEDICAL, Bloomington,

1 IN, USA))を留置した。ここで骨条件の Xper CT を 3 次元再構成し、  
2 jugular foramen, petro-occipital fissure を IPS の目印に 3D  
3 roadmap を作成し、4F Cerulean G (東海メディカル、愛知)、  
4 Headway 17 マイクロカテーテル (Microvention Terumo, Tustin,  
5 CA, USA) を左 IPS に誘導した (Figure 1B)。IPS の器質化が強く、  
6 途中 basilar plexus を経由して、左海綿静脈洞後半部に入った。シ  
7 ャントポイントは海綿静脈洞の後端に限局していたため、マイクロ  
8 カテーテルを一旦海綿静脈洞後半部から前半部に向け、そこで反転  
9 させてから、後端部にあるシャントポイントに挿入した。外頸動脈  
10 から 3 倍希釈の造影剤を注入しながら撮影した HRCT でマイクロカ  
11 テーテルがシャントポイントに留置されていることを確認し、この  
12 部位を計 9 本のコイルで選択的に塞栓し、シャントは消失した (図  
13 1 C、D、E)。左眼の充血は術後 1 週間で消失した。

14

15 代表症例 2

16 症例 60 才 男性

17 痙攣、意識障害で当院に救急搬送された。MRI T2 weighed image  
18 で左側頭葉に高信号を認め、MRA で左横静脈洞に異常信号を認めた。  
19 血管撮影では 左 occipital artery mastoid branch、左 middle  
20 meningeal artery から左横静脈洞へ流入する dural AVF を認めた  
21 (図 2 A)。左横静脈洞は、心臓側、confluence 側の両端で閉塞し  
22 ている、いわゆる isolated sinus であり、左側頭葉、後頭葉、小脳  
23 の皮質静脈へ逆流を生じていた。左 occipital artery から選択的に  
24 希釀造影し撮影した HRCT でシャントポイントは isolated sinus の

1 心臓側断端に限局していることがわかった (Figure 2B)。

2 右内頸静脈に 6F shuttle sheath を挿入し、4F Cerulean G を中  
3 間カテーテルとして confluence 近傍まで誘導した。左 occipital  
4 artery から造影した isolated sinus の 3DDSA 画像を元に 3D  
5 roadmap を作成し、Echelon 10 マイクロカテーテル (Medtronic,  
6 Irvine, CA, USA)を isolated sinus の confluence 側の断端に向かっ  
7 て進めていった。isolated sinus 壁は堅く、通常のマイクロワイヤ  
8 一では sinus 内に突破できなかったので、慢性動脈閉塞突破用の  
9 Tasure XS 12 ワイヤー (朝日インテック、愛知) で隔壁を突破し、  
10 isolated sinus 内に入ることができた。マイクロカテーテルを  
11 isolated sinus の心臓側断端まで誘導し、そこからコイルを挿入し  
12 ていき、皮質静脈を塞栓することなく、計 11 本のコイルでシャン  
13 トポイントのみを塞栓し、dural AVF は消失した (Figure 2C, D)。

14

## 15 考察

16 今回、dural AVF の 8 症例、12 手技において、Cone-beam CT, 3D  
17 Roadmap 機能を駆使して TVE を行った。シャントポイントの同定  
18 が 3 倍の希釈造影剤を用いた HRCT で正確に行え、3D Roadmap 機  
19 能によって造影剤使用量、放射線被曝の低減を図れたことが大変有  
20 用であった。

21 dural AVF に対する TVE を成功させるために最も重要なことはシ  
22 ャントポイントの同定である。dural AVF の診断モダリティーとし  
23 て、まず用いられるのが MRI であり、特に MRA の元画像では、シ  
24 ャントが流入している罹患静脈洞が高信号に描出され、診断に有用

1 である。しかし、MRA は空間分解能が劣ることでシャントポイント  
2 の同定には制限があること、シャント血流が遅い場合は罹患静脈洞  
3 の描出も難しいことが欠点として挙げられる。やはり dural AVF に  
4 対する検査としては、未だ血管撮影が golden standard であると考  
5 える。また血管撮影も、従来はステレオ撮影、選択的動脈撮影、  
6 3DDSA などを用いてシャントポイントの同定を行ってきたが、これ  
7 らは基本的に血管のみの描出であるため、頭蓋骨、硬膜などの周辺  
8 組織との関係の把握に難渋することもあった。近年、血管撮影装置  
9 が、従来の image intensifier から flat panel detector 時代になり、  
10 通常の撮影に加えて、cone beam CT と呼ばれる血管撮影装置で CT  
11 like image を撮影できるようになり、有用なツールとなった。今回  
12 使用した血管撮影装置では、2-3 倍希釈の造影下に 20 秒スキャン  
13 を行い、このデータを 3D ワークステーションに送り、3 次元構成  
14 を行った。3D ワークステーション上で、3 方向での thin slice の連  
15 続断面を観察することで feeding artery からシャントポイントにつ  
16 ながる部位を造影剤の濃淡が変化する位置として確認することがで  
17 きた。

18 HRCT は特に硬膜動静脈瘻のシャントポイントの同定に有用と考  
19 えられており、いくつかの報告がなされている<sup>1,2,3)</sup>。Hiu らは 14  
20 連続症例で検討を行っているが、7 症例において通常での血管撮影  
21 で確認できなかったシャントポイントの同定を cone beam CT で行  
22 うことができたと報告している<sup>2)</sup>。また脊髄の dural AVF において  
23 も、Aadland らは、14 症例のケースシリーズを報告しており、シャ  
24 ントポイントや周辺組織との関係の把握に有用であったと報告して

1 いる<sup>3)</sup>。

2 シヤントポイントの同定後、次に重要な要素はシヤントポイント  
3 にいかに早く、安全にマイクロカテーテルを誘導できるかである。

4 TVEにおいては栄養血管に留置したカテーテルから血管撮影を行  
5 い、それを roadmap 画像として透視画像に投影しながらマイクロカ  
6 テーテルを進めていき、透視方向を変更した際は、その都度  
7 roadmap 画像を取得し直すことが従来の方法であった。こうすると  
8 撮影回数が多くなり、使用する造影剤量が増えることが容易に予想  
9 される。また、局所麻酔下での血管内治療の場合は、長時間の手技  
10 に伴って、体動が出てくればその都度造影をし直すことになる。

11 今回使用した 3D roadmap 機能は、術中の C アームの操作による  
12 透視方向の変更に応じて、同時に 3 次元画像も追従する機能であり、  
13 透視方向の変更に応じて、その都度 roadmap を作成する必要がなく、  
14 放射線量、造影剤量を制限できる。3D roadmap 機能の使用に関し  
15 ては、脳動脈瘤、頸部内頸動脈狭窄症などの使用が報告されてい  
16 る<sup>4,5)</sup>。3D roadmap に用いた画像としては、3DDSA 画像のみなら  
17 ず、MRA 画像も用いられており、この場合はほぼ造影剤を使用する  
18 ことなく、手技が行われている。我々のシリーズでは、4 症例で罹  
19 患静脈洞の 3DDSA 画像を、2 症例で Cone-beam CT での骨の 3D 再  
20 構成画像を用いているが、前 4 症例では MRA 画像でも罹患静脈洞  
21 が描出されており、MRA 画像の使用も十分可能であったと考える。

22 3D roadmap 機能の欠点として、体動による画像追従性能、カテー  
23 テル挿入などの手技に伴う血管の偏位などが問題になってくる。今  
24 回、局所麻酔で手技を行った症例では、体動による画像のずれも自

1 動補正されており、手動での画像補正は必要なかった。また今回治  
2 療対象としたものが罹患静脈洞、下錐体静脈洞などといった比較的  
3 大きなものであったことも正確な補正を必要としなかった要因と考える。3D roadmap 機能は、透視に写っている骨の情報と3次元画像の骨の情報を3次元的にマッチングさせているため、理論的には  
4 水平、垂直、回転方向の体動にも十分対応できる。しかし、我々が  
5 急性期血行再建術症例でこの機能を使用した際の印象では、不穏時  
6 などの大きな体動には自動補正できないことを経験している。大きな  
7 体動時には透視内に骨の情報が無くなり、マッチングの精度が落  
8 ちるためであり、やはり比較的協力が得られる局所麻酔症例で目的  
9 とする病変が小さすぎない方が安全であると考える。また、頭蓋内  
10 血管や、頸部血管など骨組織に固定されていない動脈の場合は、ワ  
11 イヤーやガイディングカテーテルの留置によって3D roadmap 画像  
12 が真の血管と大きくずれてしまうことを経験する。しかしながら  
13 dural AVFにおけるTVEの場合は、罹患静脈洞はほぼ骨、硬膜組織  
14 に固定されているため、本シリーズでは血管の偏位が問題となるこ  
15 とはなかった。

16 その他の欠点として、Cone-beam CTを撮影する際の被曝線量が  
17 比較的高いことが挙げられる。特に今回紹介した方法ではシャント  
18 ポイントを把握するためのHRCTに加えて、TVEアプローチ描出の  
19 ための3DDSAも必要とした。我々が行った線量測定では、HRCT  
20 を1回撮影するのに128.68mGyを要した。一方、13inchの一側透  
21 視は5.5mGy/minの透視線量であり、HRCT1回撮影はsingle plane  
22 で約23分透視に相当する。一見するとかなりの透視線量のように  
23 24

1 思うが、本技術が導入されるまではシャントポイントの同定のため  
2 に複数回の撮影、頻回な透視を行い、さらにシャントポイントが正  
3 確に同定できなければ長時間の被曝を要する *sinus packing* を行つ  
4 ていたことを考えると、多くの情報が 1 回撮影によって得られる  
5 HRCT は妥当であると考える。今回のシリーズでも平均線量が約  
6 3 Gy であり、平均手技時間が 300 分と比較的長かった割には低線量  
7 であったと考える。

8

## 9 結語

10 dural AVF に対する TVE において、従来はシャントポイントの同  
11 定、シャントポイントへの到達のため、多方向での頻回な撮影を必  
12 要としていたが、血管撮影装置の新機能を活用することにより、造  
13 影剤の使用量制限、被曝軽減につながった。またマイクロカテーテル  
14 のシャントポイントへの誘導の確認が容易となり、限局性シャントポイ  
15 ントを有する症例に対して *target embolization* が可能となった。

16

## 17 利益相反の開示

18 筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

19

## 20 文献

21 1. Eesa M, Sharma P, Mitha AP, et al. Angiographic computed  
22 tomography with selective microcatheterization in delineating  
23 surgical anatomy in the case of a dural arteriovenous fistula. J  
24 Neurosurg 2009; 111:916-918.

1 2. Hiu T, Kitagawa N, Morikawa M, et al. Efficacy of DynaCT  
2 digital angiography in the detection of the fistulous point of  
3 dural arteriovenous fistulas. AJNR 2009; 30:487-491.  
4 3. Aadland TD, Thielen KR, Kaufman TJ, et al. 3D C-arm  
5 conebeam CT angiography as an adjunct in the precise anatomic  
6 characterization of spinal dural arteriovenous fistulas. AJNR  
7 2010; 31:476-480.  
8 4. Munich SA, Theessen H, Johnson AK, et al. "Contrast-Less"  
9 stent-assisted coiling of an A1 aneurysm. J Stroke Cerebrovasc  
10 Dis. 2014; 23(9):2283-2286.  
11 5. Kocer N, Kizilkilic O, Babic D, et al. Fused magnetic  
12 resonance angiography and 2D fluoroscopic visualization for  
13 endovascular intracranial neuronavigation. J Neurosurg 2013;  
14 118: 1000-1002.

15

16

17

18 Figure 1.

19 Representative case 1. Angiography shows the cavernous dural  
20 AVF fed from the left external carotid arteries and drained to the  
21 left superior ophthalmic vein only. There is no drainage to  
22 bilateral IPS (A). Fluoroscopy with real-time roadmap function  
23 shows the microcatheter advanced to the cavernous sinus (B).  
24 High resolution cone-beam CT (HRCBCT) indicates the catheter

1 is around the shunt point (Arrow) (C). Angiography shows  
2 disappearance of the shunt after target embolization (D, E)

3

4 **Figure 2.**

5 Representative case 2. Angiography shows the transverse dural  
6 AVF fed from the left external carotid arteries and drained to the  
7 cortical veins (A). HRCBCT shows the shunt point (Arrow) is  
8 localized near the proximal stump of the sinus (B). Angiography  
9 shows disappearance of the shunt after target embolization (C,  
10 D).

11

12 **Table**

13 Table 1

14 Summary of 12 TVE procedures in this series

Summary of 12 TVE procedures in this series

Case No.	Procedure No.	Age/Sex	Location	Shunt point	Real-time 3D road map	Anesthesia	Target embolizatio	Operation time (min)	Contrast volume (mL)	Radiation dose (mGy)
1	1	66/M	anterior condylar confluence (ACC)	diffuse	affected sinus	local	impossible	258	150	3961.7
	2				affected sinus	general		300	200	4190.9
2	1	55/F	tentorium	localized	affected sinus	general	possible	189	200	2361.5
3	1	58/F	cavernous sinus	localized	bone	local	possible	240	220	3743.9
4	1	77/F	multiple (confluence, transverse-sigmoid sinus,	diffuse	affected sinus	local	impossible	269	250	1966.7
	2				affected sinus	general		394	250	3941.1
	3				affected sinus	general		449	312	2950.2
	4				affected sinus	local		394	245	1843.8
5	1	72/F	cavernous sinus	diffuse	not available	local	impossible	307	173	3051.1
6	1	60/M	transverse sinus	localized	affected sinus	local	possible	169	157	3181
7	1	72/F	cavernous sinus	diffuse	bone	local	impossible	323	121	3510.7
8	1	63/M	cavernous sinus	diffuse	not available	local	impossible	308	169	2895.6
							300 (mean)	203.9 (mean)	3133.2 (mean)	

Fig.1A

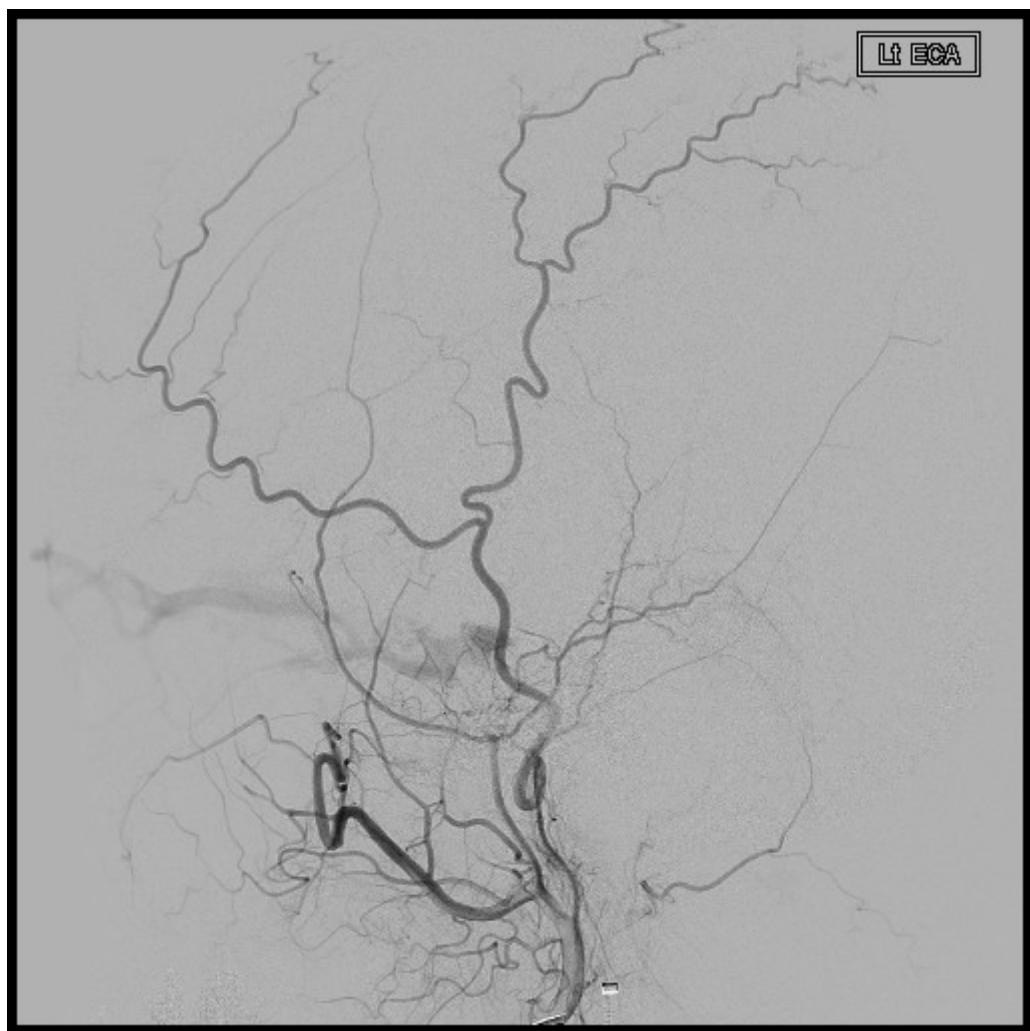


Fig.1B

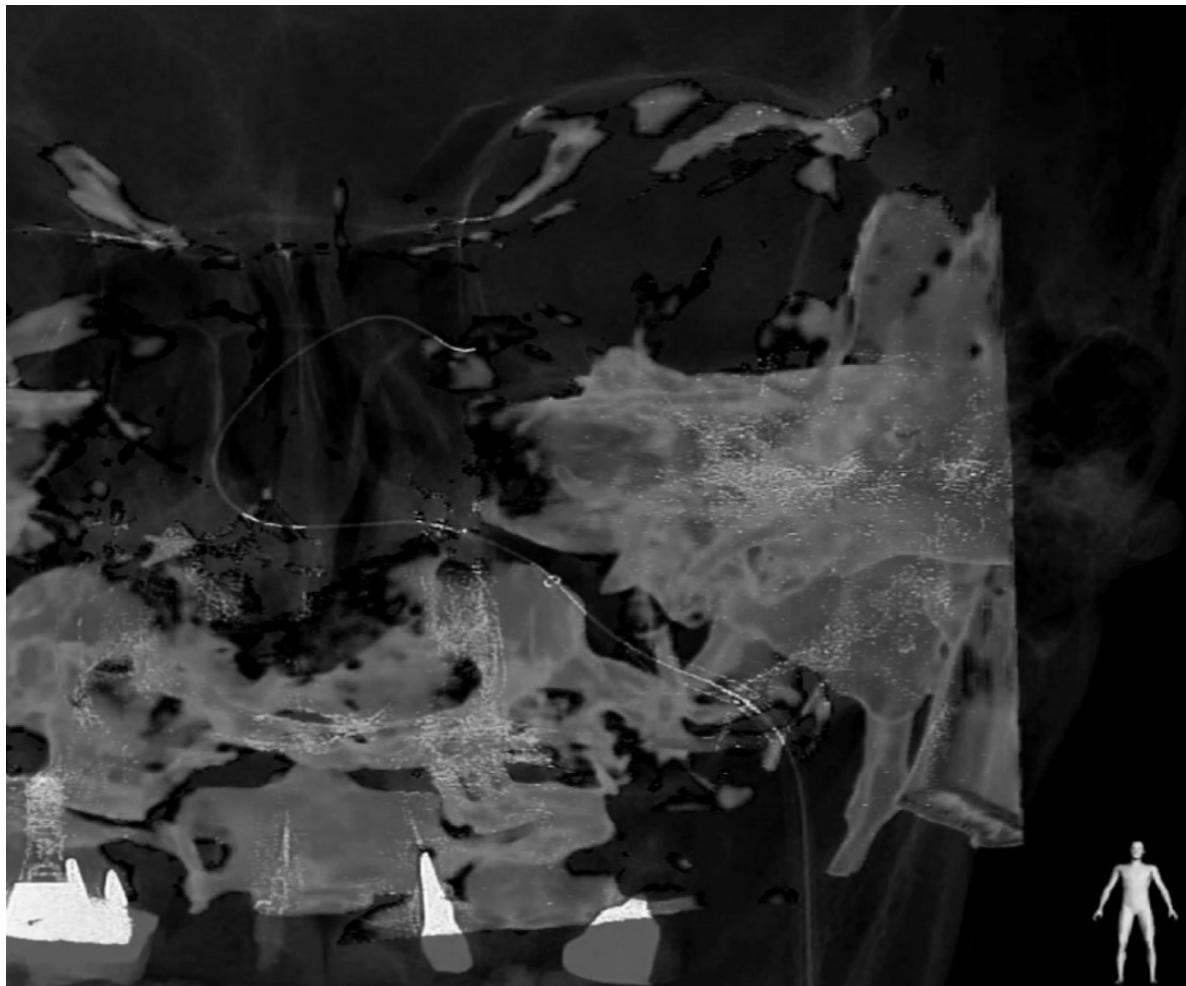


Fig.1C

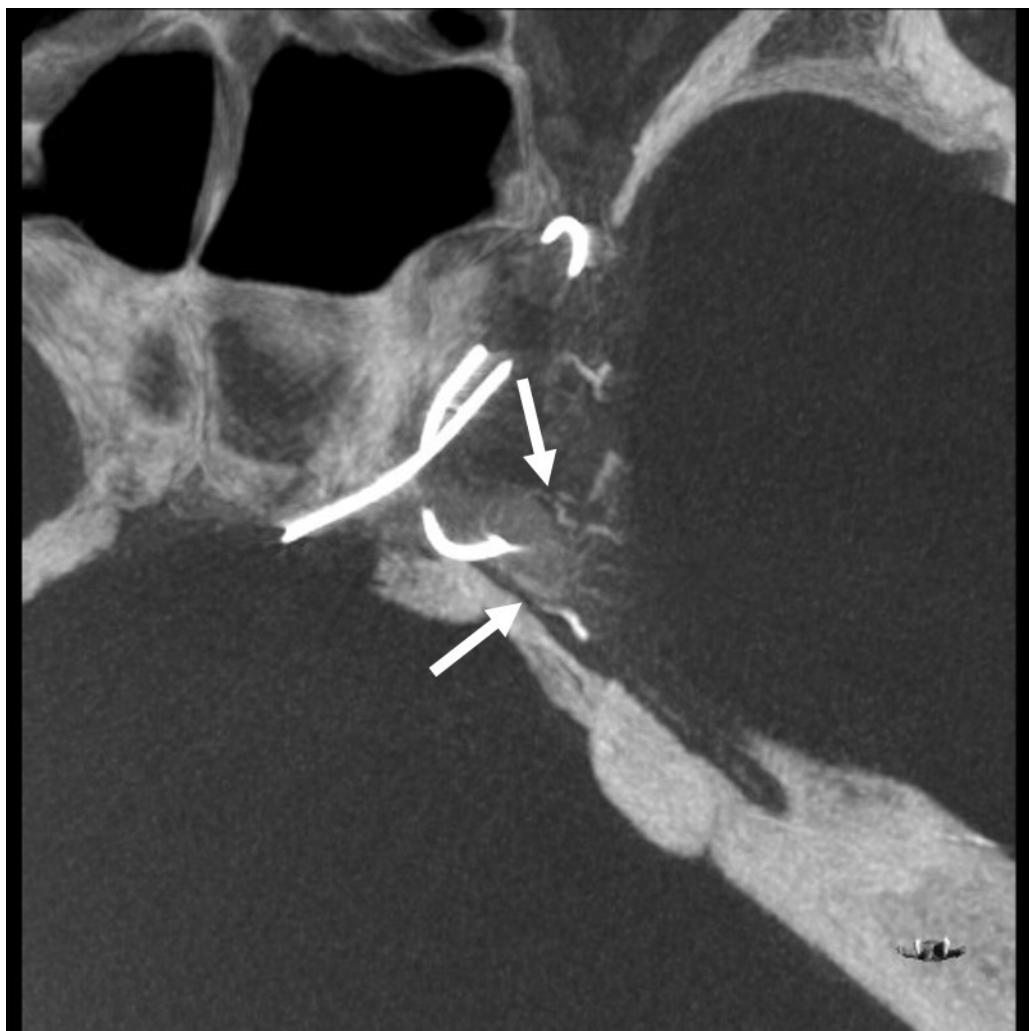


Fig.1D



Fig.1E

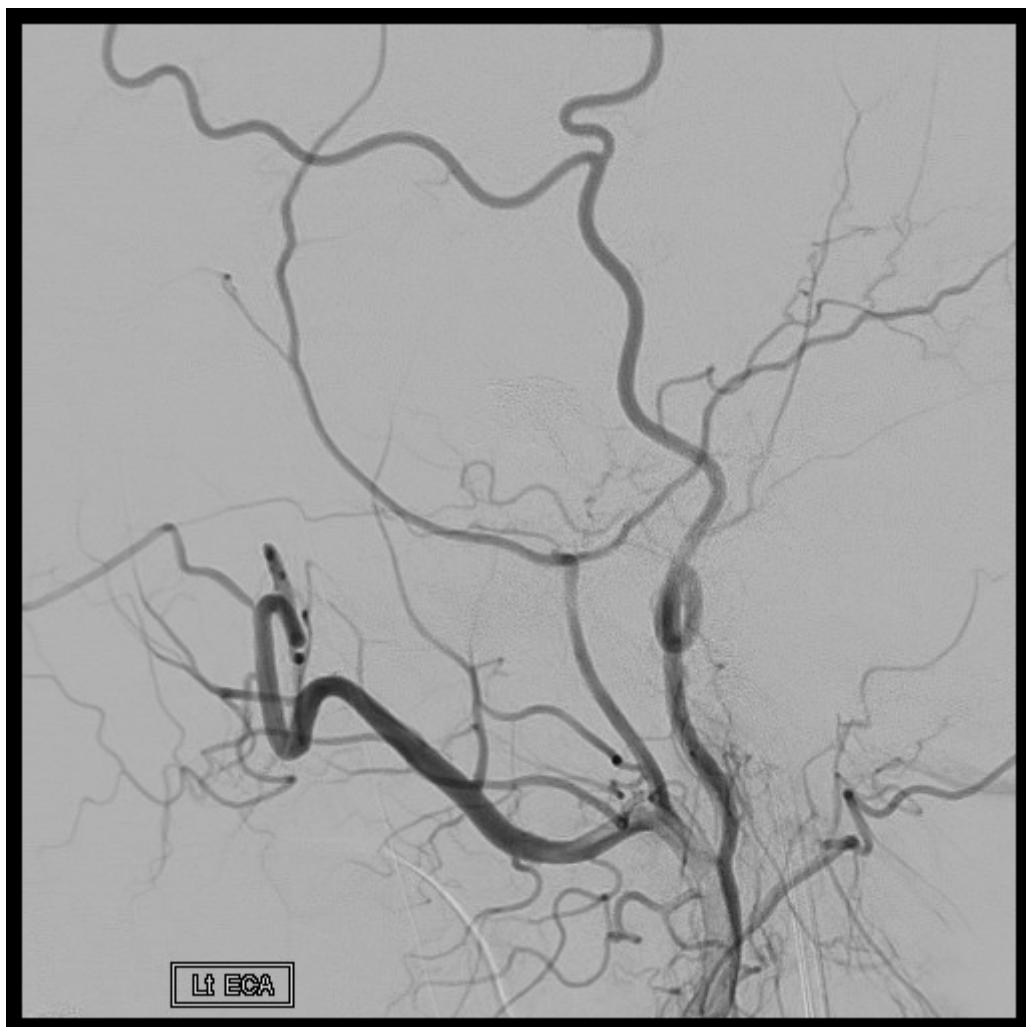


Fig.2A

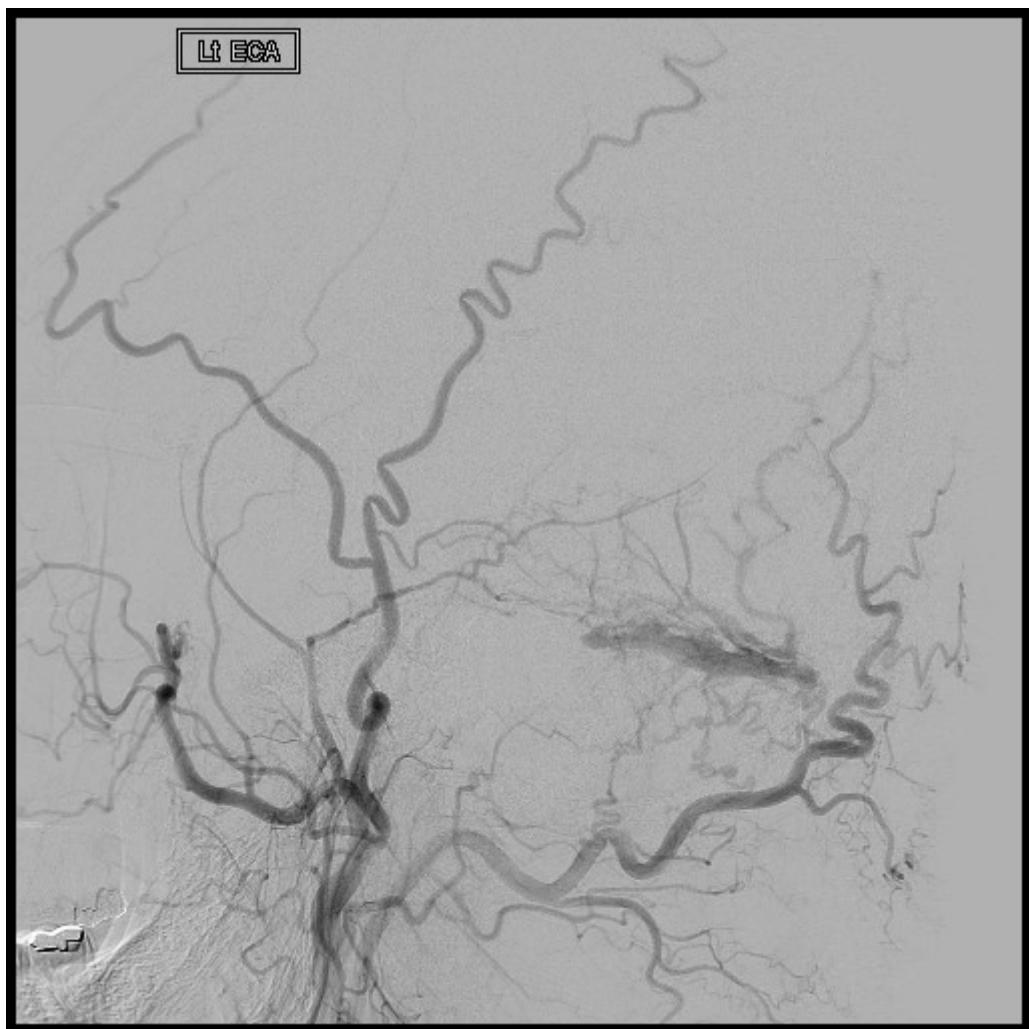


Fig.2B

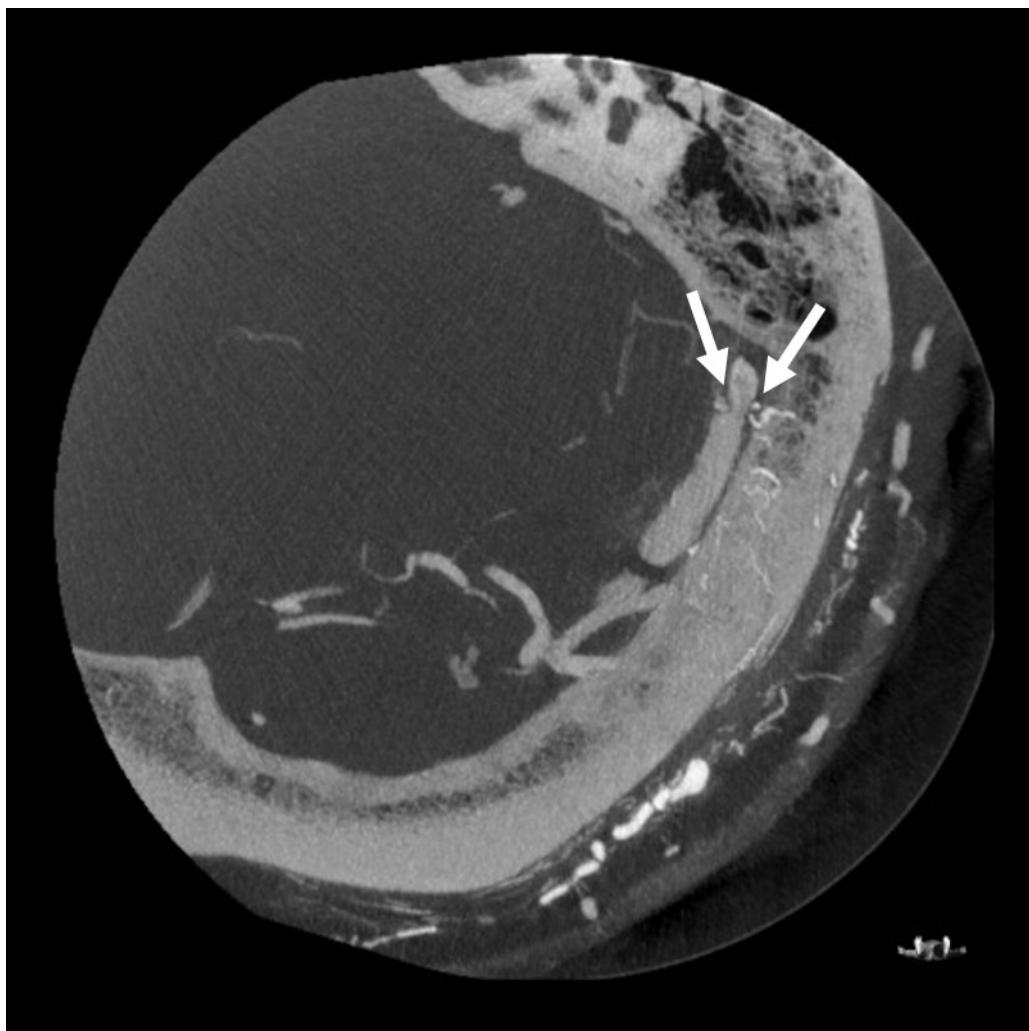


Fig.2C

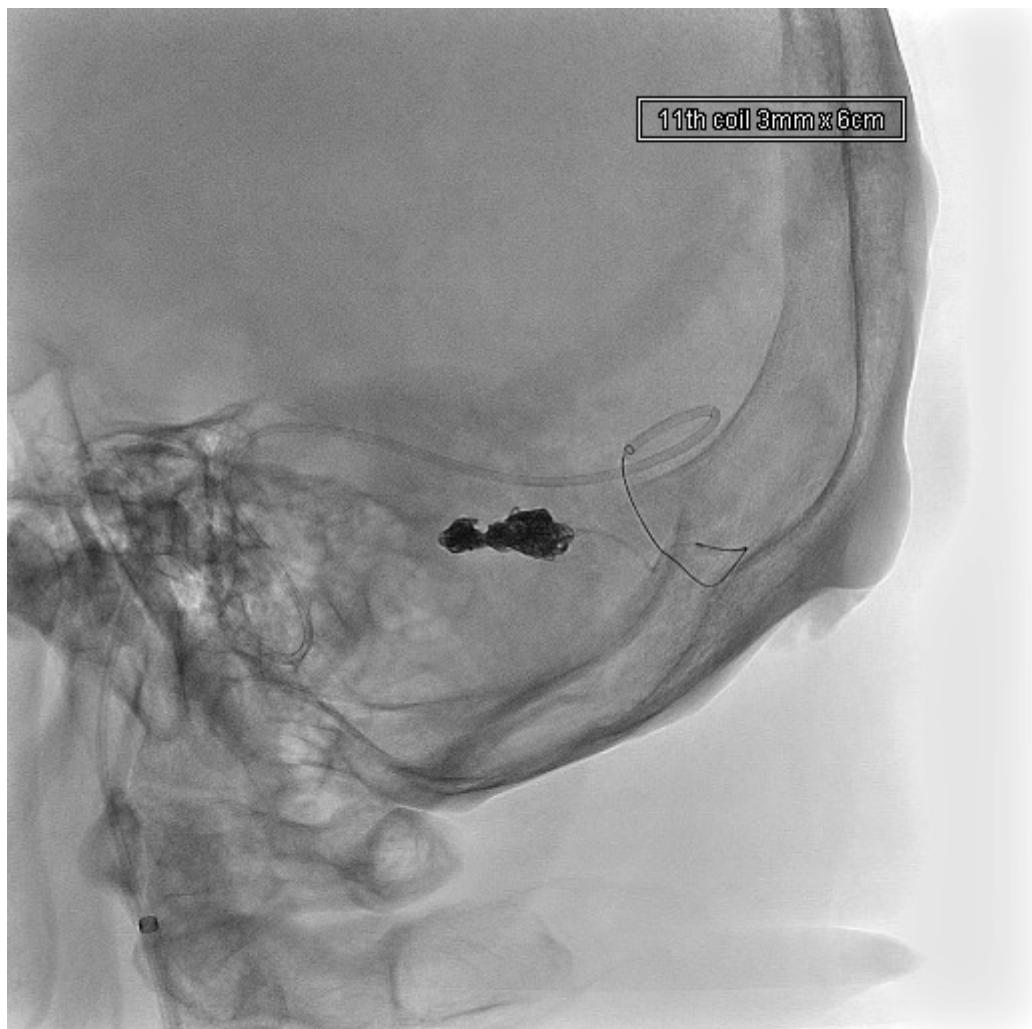


Fig.2D

