

原著

内側向き内頸動脈傍前床突起部脳動脈瘤のコイル塞栓術に対する簡易的かつ再現性のある  
マイクロカテーテルシェイピング法

松本博之、西山弘一、井澤大輔、土岐尚嗣

岸和田徳洲会病院 脳神経外科

連絡著者：松本博之

連絡先：岸和田徳洲会病院 脳神経外科

〒596-8522

岸和田市加守町 4 丁目 27-1

TEL: 072-445-9915 (代表)

E mail: hiroyuki.matsumoto@tokushukai.jp

キーワード：catheter shaping, internal carotid artery, paraclinoid aneurysm, coil  
embolization

宣言

「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、国内外の他の雑誌に掲載ないし  
投稿されていないことを誓約致します。」

## 和文要旨

### 目的

内側向き内頸動脈傍前床突起部脳動脈瘤のコイル塞栓術においてマイクロカテーテルの誘導性と留置後の安定性を向上させるため、簡易的かつ再現性のあるマイクロカテーテルのシェイピング方法を考案したので、有用性について報告する。

### 方法

マンドリルになめらかなカーブをつけるために注射針のキャップを使用する。マンドリルをキャップの後端に巻きつけることで一つ目のカーブを作成し、次にキャップの先端近くに巻きつけることで二つ目のカーブを作成する。2次元に形成された pig tail 状のマンドリルを直型マイクロカテーテルの先端から挿入し熱形成する。マイクロカテーテル先端にはプリシェイプ J 型よりも約 6mm 長いカーブが作成される。マイクロカテーテルの動脈瘤内への留置のしやすさと術中の安定性について検討した。

### 結果

連続 34 個の動脈瘤を治療した。マイクロカテーテルの瘤内への誘導はスムーズで誘導中にシェイピングし直した例はなく、留置後も逸脱せず最後まで瘤内での安定性は良好であった。周術期の合併症はなかった。

## 結語

Pig tail 状マンドリルによるカテーテルシェイピング法は簡易的かつ再現性があり、内側向き内頸動脈傍前床突起部脳動脈瘤のコイル塞栓術に有用である。

## 緒言

内側向きの内頸動脈傍前床突起部脳動脈瘤 (paraclinoid internal carotid artery aneurysm; praclinoid ICA AN) は日常臨床においてある程度の頻度で遭遇する脳動脈瘤である。この部位の脳動脈瘤を直達手術で行う際には、術野の確保や母血管の可動性を良くするために、前床突起の削除や硬膜輪 (dural ring) の切開と剥離が必要であり、直達手術の中では侵襲が高く、難易度が高いものの一つである。一方近年ではこの部位の脳動脈瘤はコイル塞栓術で治療される機会が多く、また治療成績もよいと報告されている<sup>1-4)</sup>。コイル塞栓術でのアプローチが容易に思われるが、実際にコイル塞栓術を施行してみると、1) 内頸動脈のサイフォンが3次元的に屈曲しているためマイクロカテーテルが思ったようには動脈瘤内に誘導できない、2) 何とかマイクロカテーテルが動脈瘤内に誘導できても、留置後にマイクロカテーテルがイメージ通りに安定しない、といったことが経験される。我々は内側向きの paraclinoid ICA AN のコイル塞栓術において、術中のマイクロカテーテルの誘導性と留置後の安定性を向上させるため、誰にでも作成できる簡易的な再現性のあるカテーテルのシェイピング方法を考案したので、その有用性について報告する。

## 対象と方法

2013年4月から2019年2月までの間に当施設で306個の脳動脈瘤に対してコイル塞栓術を施行した。このうち連続34例、34個(11%)の内側向きの paraclinoid ICA AN に対して、以下に述べる方法でマイクロカテーテルをシェイピングし、コイル塞栓術を行った。性別は女性31例、男性3例であり、年齢は42歳～80歳(平均62歳)で、全例が未破裂脳動脈瘤である。動脈瘤の最大径は平均  $5.1 \pm 1.9\text{mm}$ 、ドーム/ネック比は平均  $1.38 \pm 0.31$  である。

### マイクロカテーテルのシェイピング方法

今回我々は18G針(TERMO NEEDLE; TERUMO PHILIPPINES, Co., Laguna, Philippines)のキャップを使用した。マンドリルをキャップの後端に巻きつけることでなめらかな約8mmの曲線をつける(図1-A,C)。その後キャップの先端近くを利用してさらに巻き付けることで約3mmの曲線をつける(図1-B,D)。その後カーブを微調整して最終的にマンドリルを図に示すような8mm-3mm-3mm-3mmのpig tail状に形成する(図1-E)。Pig tail状のマンドリルをストレートタイプのマイクロカテーテルの先端から挿入する(図1-F)。この状態で150度に設定されたヒートガンで熱口から2-3cmの位置で90秒間の熱形成を行う(図1-G)。その後常温で30-60秒冷却し、マイクロカテーテルからマンドリルを抜去する。マイクロカテーテルはプリシェイプJ型よりも先端部が約6mm長いカーブをもった形状となる(図2-A,B)。

シェイプされたマイクロカテーテルを用いて通常の手技でコイル塞栓術を施行した。ネックが広くコイルが母血管に逸脱する症例では適時バルーンアシストテクニックを併用し、ネックが広くバルーンアシストではコイルの逸脱を防ぐことができない症例ではステントアシストテクニックを併用した。術中のマイクロカテーテルの瘤内誘導に要した時間と誘導の際のリシェイプの回数、術中の安定性、術中のキックバックによる逸脱の有無、バルーンアシストの頻度、術直後の脳動脈瘤の塞栓状態について検討した。

## 結果

全例ガイドワイヤー先行で動脈瘤内にマイクロカテーテルが誘導留置された。留置するまでにマイクロカテーテルを変更したり、再度先端部のシェイピングの形状を変えた症例はなかった。ガイドワイヤーでマイクロカテーテルを挿入し始めてマイクロカテーテルが動脈瘤内に誘導留置されるのに要した時間は 50 秒～300 秒（中間値；90 秒）であった。コイル挿入中にキックバックでマイクロカテーテルが瘤外に完全に逸脱した例はなく、最後までマイクロカテーテルの安定性は良好であった。コイルの逸脱を防ぐためにバルーンアシストを要した症例は 12 例（35%）であり、ステントアシストを要した症例は 3 例であった。術直後の塞栓状況は **complete occlusion** が 25 例（73.5%）、**dome filling** が 3 例（8.8%）、**neck remnant** が 6 例（17.6%）であった。周術期の合併症は認めなかった。

## 代表症例 1（図 3）

55歳女性 脳ドックで内側下向きの右 paraclinoid ICA AN を指摘され、精査加療目的で紹介となった。脳血管撮影で 5mm-3mm-3mm の形状不整の内側下向きの右 paraclinoid ICA AN を認めた (図 3-A,D)。動脈瘤のネックはサイフォンの屈曲部に近く、脳動脈瘤の大きさもそれほど大きくないため、瘤内へのマイクロカテーテルの誘導が困難であり、また留置後のカテーテルの不安定性が予想された。術中のコイルやカテーテルの逸脱に備えてバルーンアシストを考慮した上で、SL10 straight (Stryker, Kalamazoo, MI, USA) の先端をピッグテール状マンドリルでシェイピングした。全身麻酔下に 6 Fr. ENVOY (Codman & Shurtleff, Raynham, MA, USA) を内頸動脈錐体部手前に誘導留置した。アシスト用に HyperGlide 4mm-10mm (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) をネックの遠位部に待機させておいた。マイクロガイドワイヤー (Transend EX soft tip; Stryker, Kalamazoo, MI, USA) 先行で瘤内にマイクロカテーテルを誘導留置した。カテーテルは inflow zone からドームの奥にまで入り、ネック対側とサイフォンの血管壁との2か所で支点を作って安定した (図 3-B,E)。Galaxy complex fill 4mm-10cm (Codman & Shurtleff, Raynham, MA, USA) でフレームを作成した後、カテーテルがキックバックしないよう注意しながらコイルをサイズダウンし、flame coil 内に filling coil を充填した。ED extra soft 3mm-6cm (Kaneka Medix Corp., Osaka, Japan), ED extra soft 2mm-3cm, ED extra soft 2mm-2cm 挿入までカテーテルは安定し、キックバックすることなくコイルを挿入できた。ED extra soft 1.5mm-2cm を挿入していく際に途中でカテー

テルがネックから逸脱しそうになったが、マイクロカテーテルのシェイピングの形状がフィットしていたため、カテーテルコントロールで容易にリポジション可能であり、最後までマイクロカテーテルが逸脱することなく、コイルを挿入することができた。挿入し終えた時点でマイクロカテーテル先端が完全に母血管に押し出されたため、手技を終了した。術中にカテーテルの逸脱やコイルの逸脱がなかったため、待機させていたバルーンは使用することはなかった。最終確認で完全閉塞を得ることができた（図 3-C,F）。

#### 代表症例 2（図 4）

43 歳男性 脳ドックで内側下向きの左 paraclinoid ICA AN を指摘され、精査加療目的で紹介となった。脳血管撮影で 4mm-3.5mm-3mm の内側下向きの左 paraclinoid ICA AN を認めた。全身麻酔下に 6 Fr.ENVOY を左内頸動脈錐体部手前に誘導留置した。SL10 straight をピッグテール状マンドリルでシェイピングし、Transend EX soft tip 先行で直接瘤内に誘導留置した。動脈瘤はやや小さかったが、マイクロカテーテルはネック対側とサイフォンの血管壁との 2 か所で支点を作って安定したため、シンプルテクニックでコイル塞栓術を施行することにした。Galaxy complex etrasoft 3mm-6cm でフレームを作成したが、カテーテルは瘤内で極めて安定していた。その後 Target helical US 2mm-2cm (Stryker, Kalamazoo, MI, USA) を 2 本、Target helical nano 2mm-2cm、Target helical nano 1.5mm-2cm 各々 2 本挿入したが、コイル挿入中マイクロカテーテルは安定していた。Target helical nano 1mm-2cm を挿入中にマイクロ

カテーテルが瘤外に押し出されそうになったが、容易に自然とリポジションされ、逸脱することはなかった。挿入し終えた時点でマイクロカテーテルが完全に母血管に押し出されたため、手技を終了した。最終確認で完全閉塞を得ることができた。

## 考察

注射針のキャップを用いたマイクロカテーテルシェイピング法は、作成方法が簡易的かつ形状の再現性も高く、内側向きの paraclinoid ICA AN に対するコイル塞栓術において非常に有用であった。

内側向きの paraclinoid ICA AN に対するコイル塞栓術においては、carotid siphon の屈曲の程度や、動脈瘤のネックの位置により、動脈瘤内へのマイクロカテーテル誘導の難易度やマイクロカテーテル留置後の安定性が異なる。carotid siphon の屈曲が 3 次元的であり、また母血管走行と動脈瘤の突出方向の軸が垂直にずれているため、マイクロカテーテルの推進力が動脈瘤内への誘導方向に伝わりにくく、動脈瘤内にガイドワイヤーやマイクロカテーテルを誘導するのが困難となる。苦勞して動脈瘤内にマイクロカテーテルが留置できても、術中にカテーテルが血管壁でうまく支点を持たないと、留置後に動脈瘤内でマイクロカテーテルが安定しにくい。動脈瘤が小さくなるほど、またネックが infraclinoid portion (ICA C3-4) に近づくほど、マイクロカテーテルの誘導が困難となり、留置後の安定性も不良となる傾向がある。マイクロカテーテルが瘤内で安定しないと、コイル挿入中にマイクロカテーテルは容易に母血管に逸



脱して動脈瘤の遠位に流されてしまう。コイル挿入中に一旦マイクロカテーテルが母血管に逸脱してしまうと、特に小さな動脈瘤においては、カテーテルの再挿入は容易ではない。よって内側向きの **paraclinoid ICA AN** のコイル塞栓術においては、マイクロカテーテルの適切なシェイピングが重要な要素となる。現在各社からプリシェイプのマイクロカテーテルがラインナップされており、動脈瘤の部位や形状に応じて使用されている。プリシェイプのマイクロカテーテルの形状が血管走行や動脈瘤の突出方向と上手く合わない場合には、動脈瘤の形状や突出方向、血管走行に応じて、術者が **straight type** のマイクロカテーテルに独自のシェイピングを行うこともしばしばある。

マイクロカテーテルのシェイピング方法や有用性に関する論文は比較的少ない。Kwon らは内頸動脈傍前床突起部の脳動脈瘤 (**paraclinoid aneurysm**) の突出方向に応じたカテーテルのシェイピングの有用性を報告している<sup>1)</sup>。彼らは、内側方向に突出したタイプに対しては独自に形成した **pigtail** の形状が適しており、上方向に突出したタイプに対しては独自に形成した **S** 型やプリシェイプの **C** 型あるいは直型が適していると述べている。しかし独自のシェイピング方法の詳細については記載されていない。最近では **Ishibashi** らが術前に **3D** プリンターによって血管形状のシミュレーションモデルを作成し、それを参考にしながらオーダーメイドの **3D** シェイプのカテーテルを作成する方法を報告している<sup>5)</sup>。彼らは現時点ではまだ **3D** プリンターの普及は少なく、シミュレーションモデルを作成するのに時間がかかるのが問題であると述べている。

内側向きの paraclinoid ICA AN に対するコイル塞栓術においては、術前に脳動脈瘤の位置とサイフォンの屈曲走行を 3D 画像で観察し、個々に応じた術者独自のテーラーメイドの 3D 形状のマイクロカテーテルシェイピングが行われることが多い。しかし血管壁とマイクロカテーテルの支点の位置が術前のシミュレーション通りには一致せず、作成した 3D 形状がかえってマイクロカテーテル留置後の不安定要素となることもしばしば経験される。そのため術中にバルーンで無理やりマイクロカテーテルを固定しながらコイルを挿入するといったことも必要となる。

我々も内側向きの paraclinoid ICA AN に対しては症例毎に 3D 形状にこだわってマイクロカテーテルの先端部にシェイピングを行っていた時期があったが、上手く動脈瘤内に収まらず、結局プリシェイプ J 型カテーテルが最も収まりがよいことを経験してきた。一方でプリシェイプ J 型カテーテルは誘導後に安定しやすいが、カテーテル先端部分の長さが少し短いため、マイクロカテーテル留置後にカテーテルの先端が動脈瘤のネックぎりぎりのところで安定してしまい、マイクロカテーテルの先端部が十分にドーム内に収まらないこともしばしば経験してきた（図 5-A）。この状態で塞栓術を行うと、コイル挿入中にマイクロカテーテルのわずかなキックバックでマイクロカテーテルが容易に母血管に逸脱してしまうことも分かった。我々は、マイクロカテーテル先端が十分にドーム内に入り、かつコイル挿入中もマイクロカテーテルがネック対側の血管壁を支点にすることで母血管に逸脱するのを防ぐためには、プリシェイプ J 型マイクロカテーテルの先端部の長さをもう少し長くする方がよいとい

う結論に至った（図 5-A）。我々は SL10 のプリシェイプ J 型マイクロカテーテルの形状を参考に、先端部のカーブを約 6mm 長くした形状を考案した（図 2-A,B）。これによりマイクロカテーテルは動脈瘤壁、ネック対側、サイフォンの血管壁のどこかで 2 か所以上の支点を持つことができ（図 5-A）、マイクロカテーテル留置後の安定性が向上し、マイクロカテーテルの母血管への逸脱が軽減できることが分かった。この形状を作るために、マンドリルを図 1 のように pig tail 状に形成する必要があった。当初は用手的にマンドリルを曲げて形状を作成していたが、滑らかなカーブを作成することが困難であった。しかし注射針のキャップにマンドリルを巻き付けることによってマンドリルになめらかなカーブをつけることが容易となった。また注射針のキャップを用いることで、誰が形成しても均一なマンドリル形状を作成することができるようになり、再現性のあるマイクロカテーテルの先端形状を容易に作成できるようになった。この方法で形成したマイクロカテーテル先端部はプリシェイプ J 型と同様に 2D 形状であり、複雑な 3D 形状にする必要はなく、動脈瘤の大きさやサイフォン部の血管走行に応じてその都度シェイピングを変える必要もない。ネック対側とサイフォンの任意の壁で 2 か所の支点が作れるよう自由度をもたせているため、様々な内側向きの paraclinoid ICA AN に対して適応範囲が広いと考えている。我々は全例で動脈瘤内へはマイクロガイドワイヤーを先行させてマイクロカテーテルを誘導しているが、慎重に誘導すれば危険は少なく、誘導時間も早く、留置後もマイクロカテーテル先端部は動脈瘤のドーム内に十分に収まった位置で安定した。またコ

イル挿入中のマイクロカテーテルの安定性も極めて良好であり、コイル挿入中にマイクロカテーテルがキックバックしても、ネック対側の血管壁を支点とすることで動脈瘤から逸脱することなく、動脈瘤内に自然とマイクロカテーテルがリポジションされた。術中はカテーテル先端部が最後まで粘り強く動脈瘤内に残存し、完全に逸脱してしまふことはなかった。このため、我々のシリーズではバルーンはあくまでも瘤外に出てくるコイルを抑え込むために使用し、待機例を除いたバルーンの使用率は約 35%であった。また術直後の complete occlusion も 73% で達成でき、カテーテルが安定することでパッキング率が向上したものと思われる。前述の Kwon らの報告では<sup>1)</sup>、内側向きの paraclinoid ICA AN に対して彼らの考案した pig tail shaping のカテーテルを用いてもバルーンの使用率は 54% であり、complete occlusion の比率は 53% であることから、我々のシリーズの塞栓率がやや高い傾向にあった。

術後に回収したマイクロカテーテルの形状を観察すると、様々な 3D 形状を呈しており (図 5-B,C)、これは術中に各々の血管走行に応じて、マイクロカテーテルが自ら形状を 3D 形状に変化させてフィットしたものと思われた。我々の考案したシェイプは 2D 形状でかつ長さに余裕を持たせた形状であるため、マイクロカテーテルの形状の自由度が高く、マイクロカテーテル自身が血管走行に応じてフィットしやすくなったと考えられる。カテーテルシェイピングにおいては注意すべき点もある。マイクロカテーテルのシェイピングは熱形成の方法が一般的であり、日本ではスチームシェイプやヒートガンがよく使用されている。Adachi らが熱形成後のマイクロカテ

ーテルの先端部を手術用顕微鏡で観察した結果によると、熱によりマイクロカテーテルの先端部が損傷されたり、少し短縮する可能性があるため、注意が必要である<sup>6)</sup>。今後さらに症例を蓄積する必要がある。今回我々は身近にある注射針のキャップを使用したのが、径がよく似たものであれば他のものでも代用できると思われる。

## 結語

注射針キャップを用いた pig tail 状マンドリルによる shaping 法は簡易的であり、誰にでも再現性のあるシェイピングが可能である。マイクロカテーテル先端部分の曲がりをも長くした 2D タイプのシェイピングにより、マイクロカテーテルと血管壁の支点の自由度が高くなり、ネック対側とサイフォンの血管壁での支持力がアップされ、最後まで安定したコイル塞栓術が可能である。様々な内側向きの paraclinoid ICA AN に対して適応範囲が広く、極めて有用なシェイピングであると思われる。

## 利益相反開示

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

## 文献

1) Kwon BJ, Im SH, Park JC, et al. Shaping and navigating methods of microcatheters for endovascular treatment of paraclinoid aneurysms. Neurosurgery 2010; 67: 34-40.

2) Sorimachi T, Ito Y, Morita K, et al. Long-term follow-up of intra-aneurysmal coil embolization for unruptured paraclinoid aneurysms. *Neurol Res.* 2012 Nov;34(9):864-70. doi: 10.1179/1743132812Y.0000000084. Epub 2012 Aug 9.

3) Wang Y, Li Y, Jiang C, Jiang F, et al. Endovascular treatment of paraclinoid aneurysms: 142 aneurysms in one centre. *J Neurointerv Surg.* 2013 Nov;5(6):552-6. doi: 10.1136/neurintsurg-2012-010494. Epub 2012 Oct 19.

4) Wang Y, Li Y, Jiang C, et al. Could the types of paraclinoid aneurysm be used as a criterion in choosing endovascular treatment? Neuro-radiologists' view. *Acta Neurochir (Wien).* 2013 Nov;155(11):2019-27. doi: 10.1007/s00701-013-1830-x. Epub 2013 Aug 8.

5) Ishibashi T, Takao H, Suzuki T, et al. Tailor-made shaping of microcatheters using three-dimensional printed vessel models for endovascular coilembolization. *Comput in Biol Med* 2016; 77: 59–63.

6) Adachi A, Kobayashi E, Kado K, et al. The optimal conditions for microcatheter shaping. *J Neuroendovascular Ther* 2016; 10: 236–242

## 図の説明

### Fig. 1

Winding a mandrel to the back end of the 18-G needle cap to create a primary curve (A and C). Next, winding a mandrel near the tip of the 18-G needle cap to create a secondary curve (B and D). Two-dimensional and two-stage curves, such as a pigtail, are easily created (E). Inserting the pigtail-shaped mandrel from the tip of the straight microcatheter (F) and holding it over the heat gun (G).

### Fig. 2

A mandrel is formed into a pigtail-like shape in order to take a curve of sufficient length at the tip of the preshaped J microcatheter, and then the mandrel is inserted from the tip of the straight microcatheter (A).

When the mandrel is removed from the tip of the microcatheter after heat shaping, a microcatheter with a longer curve of the tip is created as compared with the preshaped J microcatheter (B).

### Fig. 3

Angiography shows a medially directed paraclinoid ICA aneurysm, and a balloon catheter has already been placed (A and D).

The microcatheter placed in the aneurysm has two contact points (arrows), with the ICA wall opposite to the aneurysmal neck and the wall of the carotid siphon (B and E).

The aneurysm has disappeared on postoperative angiography (C and F).

**Fig. 4**

Angiography shows a medially directed paraclinoid ICA small aneurysm (A and D).

The microcatheter placed in the aneurysm has two contact points (arrows), with the ICA wall opposite to the aneurysmal neck and the wall of the carotid siphon (B and E).

The aneurysm has disappeared on postoperative angiography (C and F).

**Fig. 5**

The yellow line has only one support point, and the tip cannot reach the aneurysmal dome sufficiently, while the blue line has two support points (red circles), and the tip is sufficiently inserted into the aneurysmal dome (A).

The tip of the microcatheter removed after coil embolization demonstrates a 3-dimensional shape according to the vascular structure (B and C).



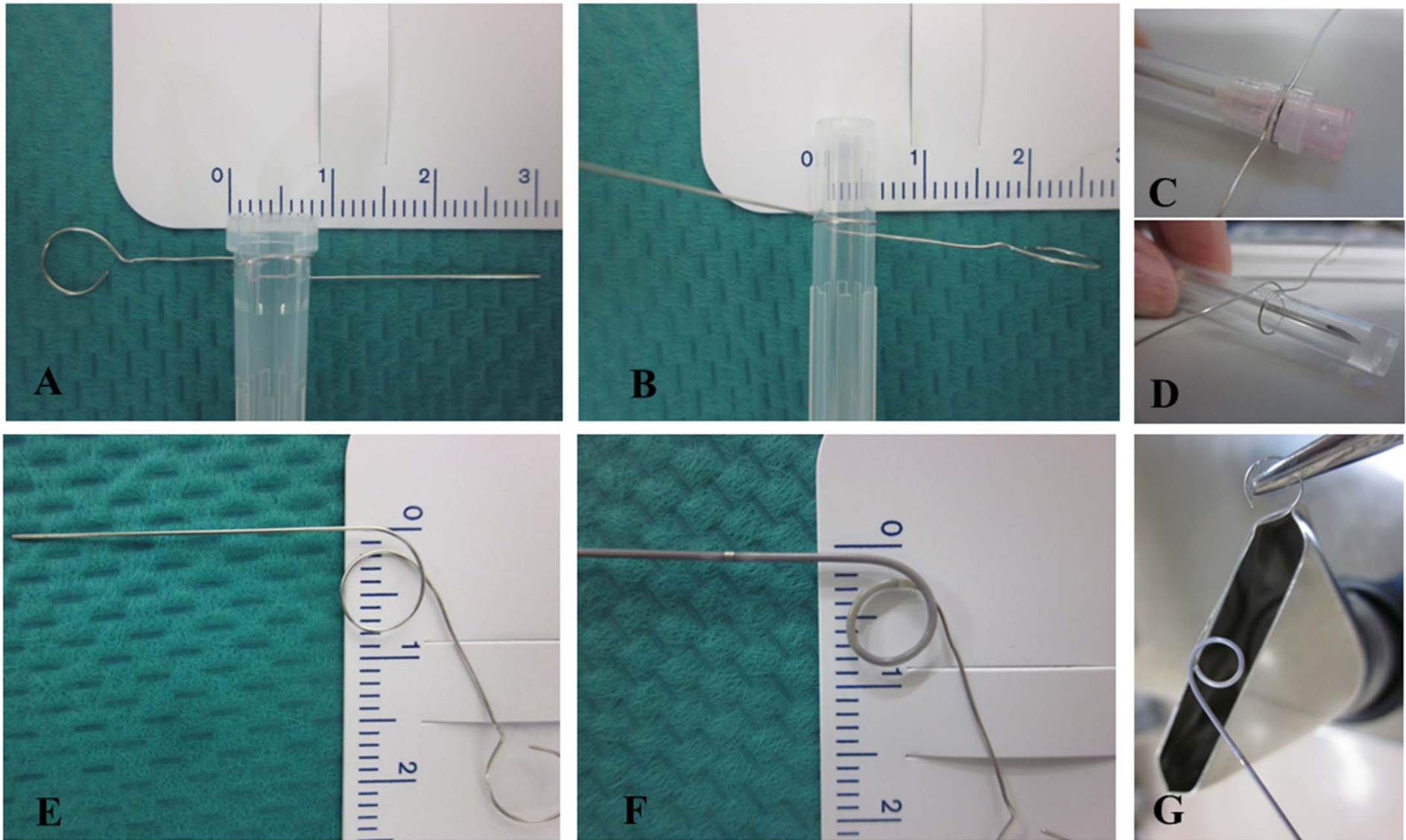


Fig.1

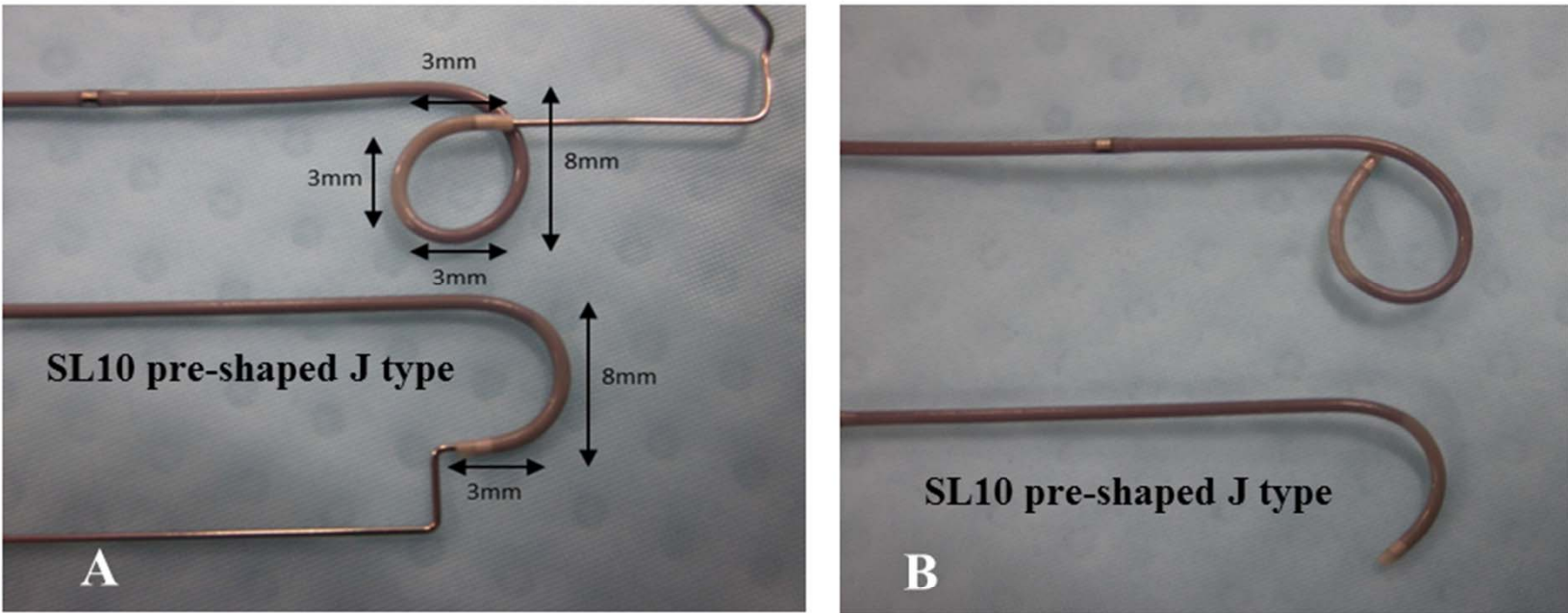


Fig.2

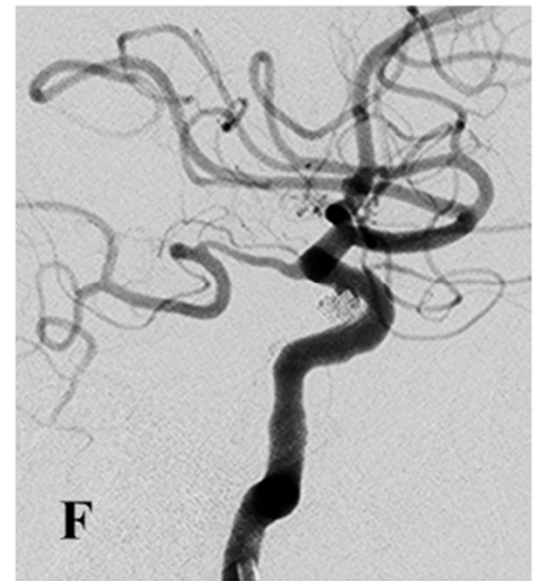
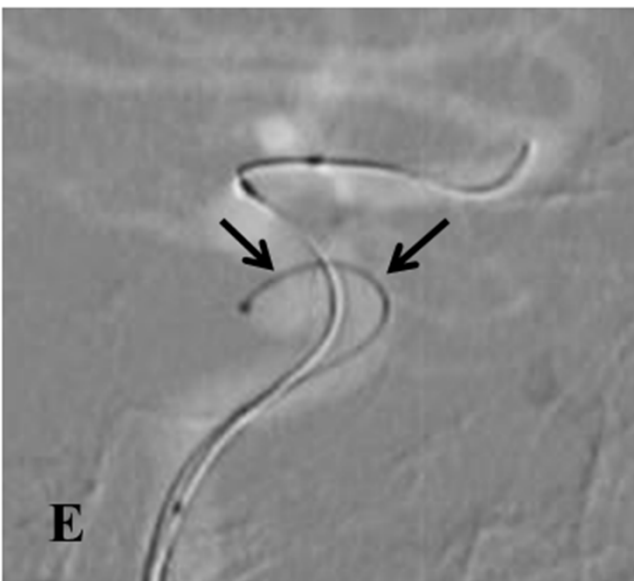
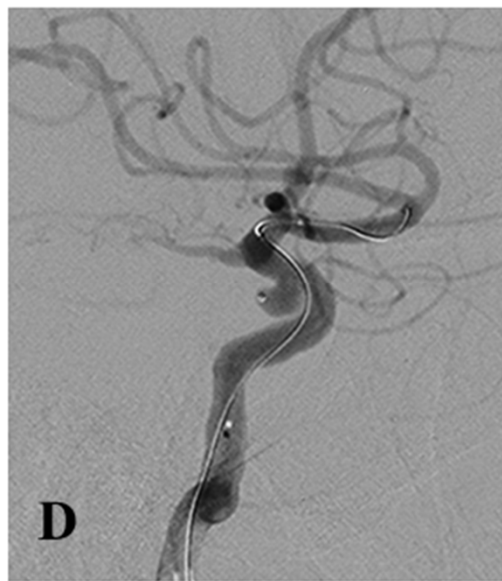
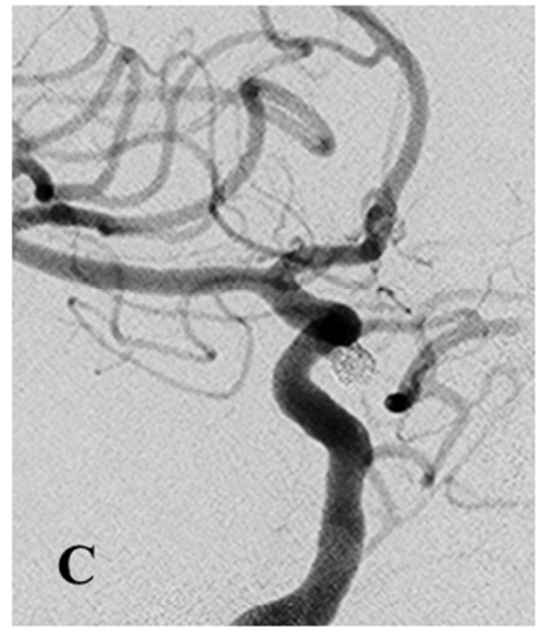
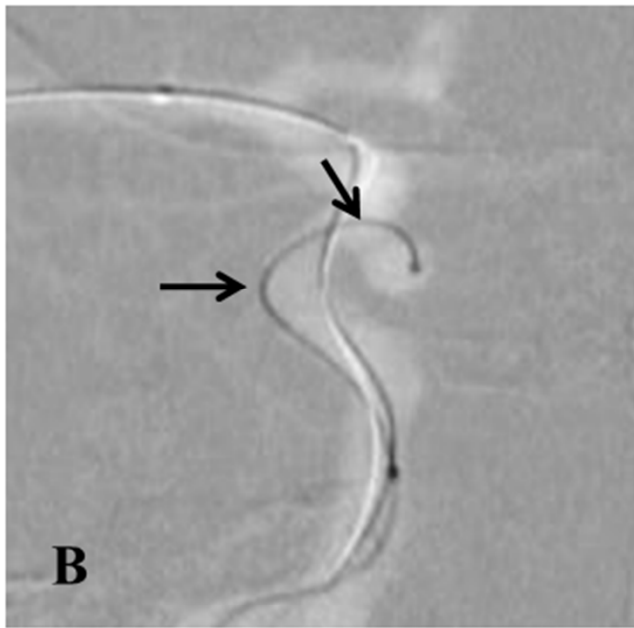
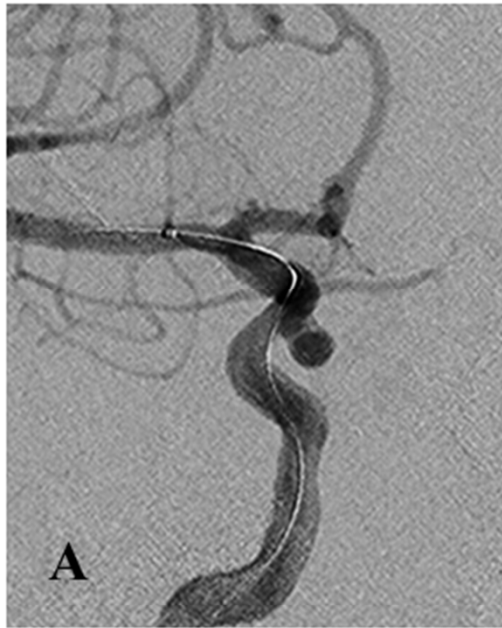


Fig.3

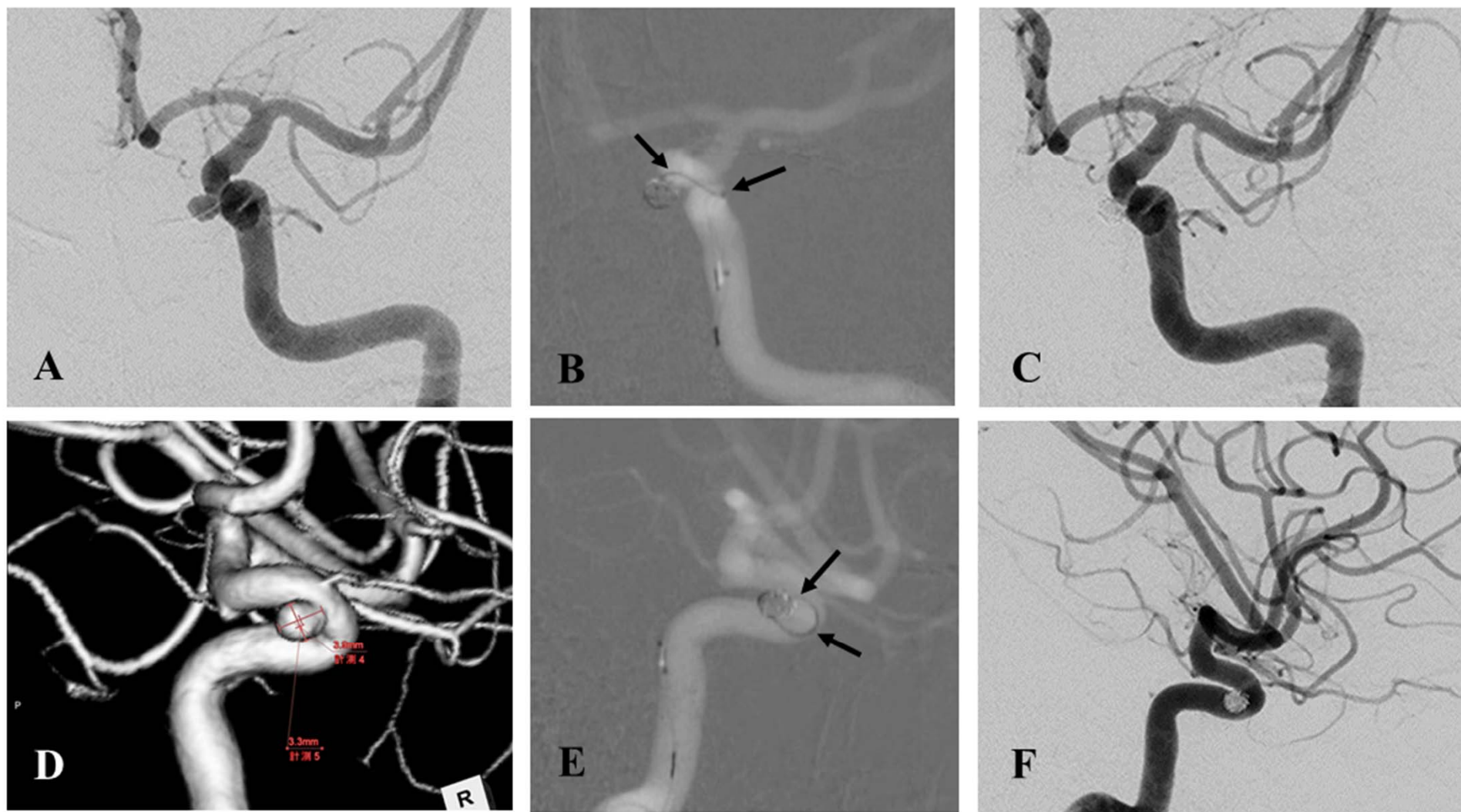


Fig.4

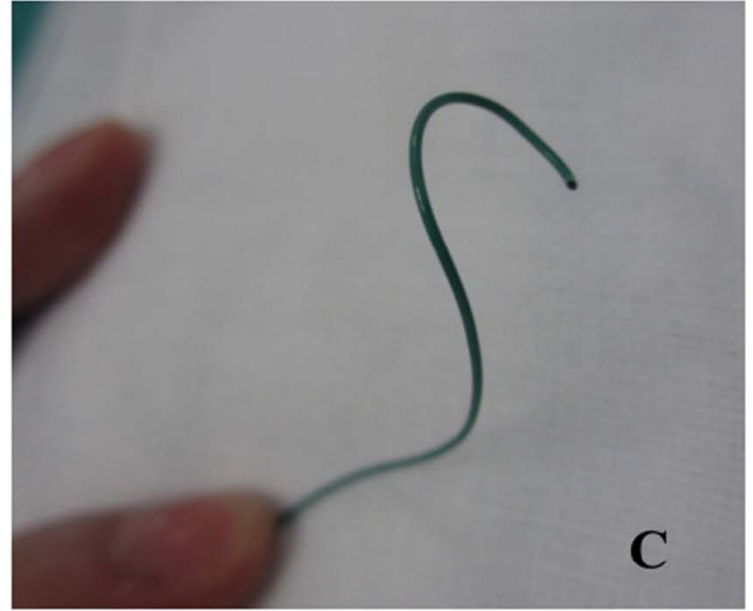
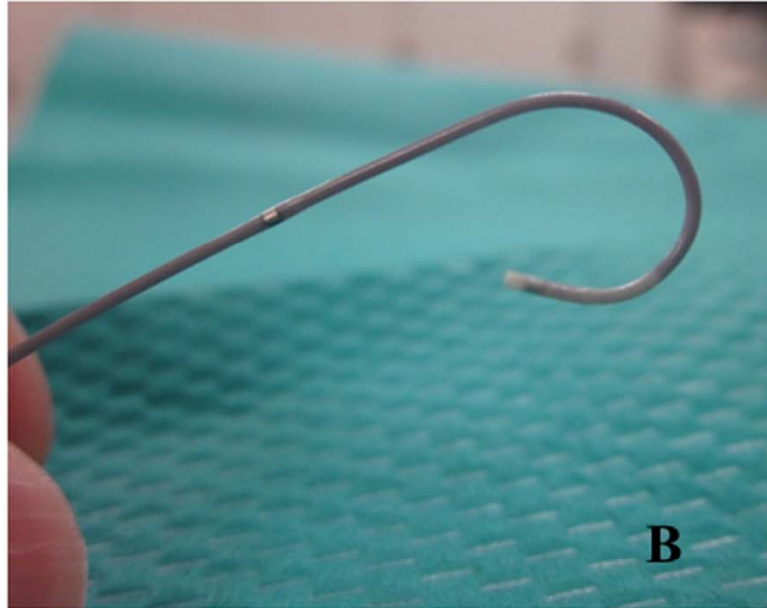
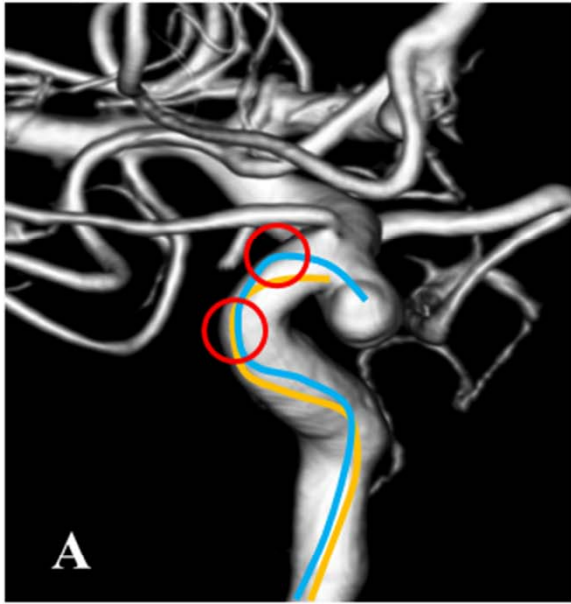


Fig.5